

Impactos del cambio climático en la economía rural de México: un enfoque de equilibrio general

Alan Hernández Solano

Desarrollo y Alimentación Sustentable, A.C.

Antonio Yúnez Naude

El Colegio de México

Agosto 2016

IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ECONOMÍA RURAL DE MÉXICO: UN ENFOQUE DE EQUILIBRIO GENERAL

Alan Hernández Solano^{*†}
Antonio Yúnez Naude[‡]
Agosto 2016

Resumen

En este artículo se reportan los resultados de un modelo de equilibrio general aplicado y microeconómico (MEGAM) para estimar los efectos del cambio climático (CC) sobre la economía de las cinco regiones rurales de México. El modelo se aplica por región y se caracteriza por la desagregación de los hogares en cinco categorías, principalmente a partir de la tenencia de la tierra. Los hogares se modelan como productores y consumidores y se considera la falla de mercados que explica que algunos hogares produzcan alimentos para la subsistencia familiar. Las simulaciones se hacen a partir de los impactos directos estimados en la literatura del CC sobre la productividad del maíz. Los resultados muestran que los efectos económicos del CC serán heterogéneos por región y grupo de hogar. La zona más afectada será la Sur-sureste donde los ingresos reales de los hogares se reducirán en 8%, siguiéndole la Centro-occidente (5.5%) y Noroeste (3.9%), mientras que en el Centro y Noreste éstos aumentarán en 5.8% y 1.3%, respectivamente. Además, el CC pondrá presiones adicionales al presupuesto federal y a la seguridad alimentaria: se necesitarán 3.221 mil millones de pesos para restaurar el bienestar de los hogares y el excedente del maíz producido se reducirá en 31%.

Palabras clave: Agriculture; Income distribution; Global Warming.

JEL Codes: O13, O15, Q54

* Desarrollo y Alimentación Sustentable A.C. (DAS A. C.). Correo electrónico: amhernandez@colmex.mx.

† Estamos muy agradecidos con Kai Sonder por proporcionarnos los datos sobre los impactos directos del Cambio Climático sobre los rendimientos del maíz.

‡ El Colegio de México, A.C. Correo electrónico: ayunez@colmex.mx

Es complejo el estudio de los efectos del cambio climático (o CC en adelante) en la economía rural de países en desarrollo como México, no sólo por los retos que hay para predecirlo, sino por las características de la producción en el campo. Respecto a lo último, la economía rural en esos países está basada en las actividades productivas de sus hogares que, al mismo tiempo, son unidades de consumo. O sea que en el medio rural del mundo en desarrollo no se aplica la separación entre producción y consumo que se hace en la teoría económica tradicional. Lo anterior se explica en parte por los elevados costos de transacción que enfrentan los agentes rurales en los mercados de bienes, laborales, financieros, etc. Características adicionales del medio rural de países como México es la heterogeneidad entre sus hogares y la diversidad agroecológica de su geografía.

La economía del desarrollo ha avanzado al incorporar tales especificidades de la economía rural, primero a partir de modelos de hogar productor y después con base en modelos multisectoriales con enfoque microeconómico (Taylor y Adelman 1996).

La presente investigación considera estas aportaciones a partir de la construcción de un modelo de equilibrio general aplicado y microeconómico o MEGAM para llevar a cabo simulaciones sobre CC y con ello estudiar los posibles efectos directos e indirectos de dicho fenómeno en la economía rural de México, distinguiendo a sus hogares a partir de los activos que poseen y a sus regiones rurales. Al parecer, esta es la primera vez que se hace un estudio empírico con estas características (Lopez-Feldman 2013).

Además de la presente introducción, el artículo cuenta con 5 secciones. En la siguiente se realiza una revisión de la literatura sobre el tema. En la sección 3 se presentan las principales ecuaciones y características del MEGAM. En la sección 4 se describen los

datos utilizados. En la sección 5 se muestran los resultados más relevantes de los efectos del CC sobre la economía de las regiones rurales de México. Por último, en la sección 6 se realiza una reflexión general de los resultados obtenidos y de las limitaciones del modelo utilizado y se concluye.

Revisión de la literatura

Debido a que la agricultura depende directamente de las condiciones climáticas se espera que el calentamiento global afecte fuertemente su productividad, lo que traerá efectos económico-sociales de magnitudes considerables, así como en la seguridad alimentaria (Barker 2007; Adams, Hurd, Lenhart y Leary 1998).

El estudio de los efectos económicos en el medio rural del CC se inició a partir de la estimación de funciones de producción del sector agrícola considerando cambios en temperatura, precipitación y niveles de dióxido de carbono, para predecir los nuevos niveles de producto de dicho sector. Entre los principales enfoques utilizados están los métodos econométricos que usan datos sobre clima, producción, factores empleados, insumos, etc. También están los experimentos en laboratorios, en donde se varían las condiciones climáticas y las diferencias encontradas en los retornos de los cultivos se atribuyen a dichos cambios (Mendelsohn y Dinar 1999). Una de las limitaciones de estos métodos es que sobreestiman los efectos del CC debido a que no consideran adaptaciones de los productores para mitigar los problemas generados por este fenómeno; por ejemplo: sustitución de cultivos, cambios en las fechas para plantar, utilización de nuevas tecnologías, etc.

Posteriormente Mendelsohn, Nordhaus y Shaw (1994) propusieron una metodología basada en el Modelo Ricardiano que, a partir de estimaciones sobre el CC, se calculan los impactos de éste sobre los retornos generados por el mejor uso de la tierra¹. En estos modelos se consideran los efectos directos del clima sobre los cultivos, la sustitución de actividades y el cambio en tecnología e insumos en las mismas, así como otras posibles adaptaciones. Sin embargo, en estas investigaciones se asume que los precios son constantes, lo que las lleva a ignorar algunos efectos relevantes que traerían consigo los cambios en la productividad agrícola causados por el CC como modificaciones en el costo de vida y en los ingresos.

Los estudios empíricos sobre los efectos del CC en la agricultura mexicana son recientes. Con base en un Modelo Ricardiano Mendelsohn, Arellano-Gonzalez, y Christensen (2010) estiman que en el periodo 2070-2100 el valor de la tierra en granjas de México disminuirá entre un 42% y 54%. Usando la misma metodología, Lopez-Feldman (2013) concluye que los efectos del CC sobre la pobreza en México varían de acuerdo a la región rural considerada; se espera que en 2100 la zona más afectada sea la del Centro y la menos la del Noroeste del país.

Otro estudio empírico es el de Meza-Pale y Yúnez-Naude (2015), en el que estiman económicamente funciones de producción y concluyen que cambios previstos en precipitación afectarían negativamente la producción de maíz por parte de los hogares rurales que lo producen, y que la magnitud del efecto varía de acuerdo al tamaño de la parcela, condiciones agroecológicas regionales, así como del régimen hídrico utilizado. Usando un enfoque econométrico similar, Gay, Estrada, Conde, Eakin y Villers (2006)

encuentran que para el 2020 la producción de café en Veracruz se reducirá en un 34% debido a los cambios en temperatura y precipitación.

Con la finalidad de mejorar las estimaciones de los efectos del CC a partir de modelos de equilibrio parcial como los ricardianos, se han utilizado modelos de equilibrio general aplicados. Estos modelos se han usado para estimar los efectos del CC en distintos ámbitos, como el PIB, la desigualdad o incidencia de la pobreza. En general y para el caso de la agricultura, las simulaciones del CC se hacen de dos formas: por el lado de la producción, mediante choques exógenos en los rendimientos de los cultivos (Ahmed, Diffenbaugh y Hertel 2009; Hertel, Burke y Lobell 2010) o por el lado del consumidor, como choques en los beneficios recibidos por la producción (Mideksa 2010).

El modelo de equilibrio general para la economía mundial desarrollado en la Universidad de Prudue y por Hertel (llamado GTAP por sus siglas en inglés “Global Trade Analysis Project”) ha sido usado para estimar los efectos del CC sobre un grupo de países, que incluyen a México. Es el caso del trabajo de Ahmed, Diffenbaugh y Hertel (2009) que predice que de la población mexicana en 2001, un 1.8% caerá en pobreza debido a los choques climáticos extremos esperados durante el periodo 2071-2100 y que los hogares asalariados urbanos serán más perjudicados que los auto-empleados agrícolas. Por su parte, según las estimaciones arrojadas por el estudio de Hertel, Burke y Lobell (2010) a partir del GTAP y para 2030, este último grupo es el más sensible al CC y sufrirá cambios en pobreza de -11%, 0% y 18% bajo escenarios de productividad baja, media y alta, correspondientemente. Las diferencias en los resultados se deben, entre otras cosas, a que Hertel aplica los choques en productividad por tipo de cultivo y simula todos los países a

la vez, mientras que Ahmed considera los efectos del CC sobre la agricultura de manera agregada y su modelo se corre país a país.

Los estudios de impactos de choques exógenos a partir de modelos de equilibrio general aplicados (MEGA) a México se iniciaron a principios de la década de los años 1990, a partir del interés por conocer los posibles efectos del Tratado de Libre Comercio de América del Norte o TLCAN. Dentro de los que se enfocaron en la agricultura mexicana destacan los de Robinson et. al (1993) y de Levy y Van Wijnbergen (1994). La principal limitación de las estimaciones de los efectos de equilibrio general del TLCAN en la agricultura mexicana es que en la especificación de estos MEGA se ignoró el hecho de que parte de la producción agrícola en México se lleva a cabo por hogares rurales con actividades y fuentes de ingreso diversificadas que enfrentan elevados costos de transacción y que toman decisiones de producción y consumo simultáneamente. Lo anterior explica en parte por qué sus predicciones no sucedieron; por ejemplo, la producción de maíz en México no se desplomó ante la reducción en su precio debida al TLCAN. Taylor, Dyer y Yunez-Naude (2005), con base en un MEGA microeconómico para la región rural del Centro-occidente de México que toma en cuenta el doble carácter de productores y consumidores de sus hogares rurales, proponen una explicación al porque estos agentes siguieron produciendo el grano, no obstante la reducción de su precio.

En la literatura hay otros estudios con base en MEGA a México relacionados con la presente investigación. Uno de ellos es el de Boyd e Ibararán (2011) que simula los efectos del CC en la economía mexicana en su conjunto y el otro es el de Yúnez-Naude y Rojas-Castro (2008) enfocado a los impactos que podría ocasionar la reducción del suministro de

agua para irrigación en la agricultura del país. El modelo de estos últimos autores distingue la agricultura irrigada de la de temporal, más no a agricultores comerciales de los que producen y consumen, es decir a los hogares rurales productores.

Modelo

A diferencia de los estudios reseñados y con la excepción del modelo de Taylor, Dyer y Yunez-Naude (2005), la presente investigación se basa en un modelo de equilibrio general aplicado y microeconómico (MEGAM en adelante). Son tres las principales contribuciones del presente estudio. 1) Es el primer modelo de este tipo para estimar los posibles impactos del CC en la economía rural mexicana, 2) Captura las especificidades de la economía rural de países en desarrollo: es decir la coexistencia de productores comerciales y de unidades de producción y consumo de algunos hogares rurales. 3) Esta distinción y la desagregación de las distintas regiones rurales del México permiten considerar, respectivamente, efectos diferenciados entre distintos tipos de productores y diferencias regionales de los efectos del CC. Asimismo, la base de datos usada es representativa de los hogares rurales de México y los resultados pueden ser la base para el diseño de políticas focalizadas, entre otras para promover la adaptación al CC. Por último, aunque el MEGAM se inspira en el de Taylor, Dyer y Yúnez-Naude (2005), se aplica con datos más recientes (de 2007) y a cada una de las cinco regiones rurales de México, mientras que el de estos autores usa datos de 2002 y se aplica a sólo la región Centro-occidente.

El MEGAM consiste en un conjunto de micro-modelos de hogares productores integrados en un modelo de equilibrio general. A partir de características de la economía

de los hogares (como la posesión de tierra agrícola, costos de transacción), se dividieron a estos agentes en cinco grupos con los rasgos que siguen. Dos tipos de hogar sin tierra, el primero sin actividades agropecuarias pero que incluye a miembros de la familia que participan en el mercado de trabajo agrícola, y el segundo dedicado a ellas rentando este factor de producción para la producción agrícola. Y tres grupos de hogar con tierra agrícola: productores de subsistencia con tamaño de predios menor o igual a 2 has., con predios mayores de 2 has. y hasta 5 has., y productores agrícolas con una superficie de tierra mayor a 5 has.²

Como sucede en la realidad, en el MEGAM todos los hogares productores contratan factores en el mercado y usan factores familiares en su producción (tierra, trabajo y capital). Los que lo hacen en predios de hasta 2 has. son de subsistencia, en el sentido que producen alimentos (maíz en particular) para el consumo familiar. El resto de los productores agrícolas producen el grano para el auto-consumo y para el mercado. En consecuencia, los hogares de subsistencia toman sus decisiones a partir de un precio implícito o sombra del maíz, mientras que para el resto el precio del grano es exógeno, determinado por el mercado.

A continuación se describen las principales características del MEGAM a partir de los tres bloques de ecuaciones que lo componen.³

Consumo

Las preferencias de consumo de cada tipo de hogar h se representan mediante una función de utilidad tipo Cobb-Douglas:

$$(1) \quad U_h(X_1^h, X_2^h, \dots, X_n^h) = \prod_{i=1}^n (X_i^h)^{\alpha_{i,h}}$$

Donde: X_i^h es la cantidad del bien i ($i=1, \dots, n$) consumida por el hogar h y $\alpha_{i,h}$ se estima como la proporción del ingreso destinada al consumo de dicho bien en el año base.

Cada hogar h tiene asociada una cantidad de dotaciones iniciales de factores de producción: tierra (\bar{L}_h), trabajo asalariado (\overline{WL}_h), capital (\bar{K}_h) y factores familiares (\overline{FF}_h). Los ingresos de tales agentes provienen de los factores que venden en los mercados, de los beneficios por su uso en sus actividades productivas, así como de las transferencias (\bar{Y}_h) que reciben del gobierno y de instituciones privadas. Si w_l y w_{wl} son los precios de la renta de la tierra y del trabajo asalariado, que como se verá son los mismos entre sectores y hogares, y $w_{i,h,k}$ y $w_{i,h,ff}$ son los precios del capital y de los factores familiares utilizados en la actividad i del hogar h , entonces se tiene que el problema del consumidor del hogar h se expresa como:

$$(2) \quad \max_{X_i^h} \prod_{i=1}^n (X_i^h)^{\alpha_{i,h}}$$

Sujeto a:

$$(3) \quad \sum_{i=1}^n p_i X_i^h \leq (\sum_{i=1}^n \alpha_{i,h}) \{ w_l * \bar{L}_h + w_{wl} * \overline{WL}_h + \sum_{i=1}^n (w_{i,h,k} * \bar{K}_{i,h} + w_{i,h,ff} * \overline{FF}_{i,h}) + \bar{Y}_h \}$$

En donde: p_i es el precio del i -ésimo bien ($i=1, \dots, n$) y $\bar{K}_{i,h}$ ($\overline{FF}_{i,h}$) es la cantidad de la dotación de \bar{K}_i (\overline{FF}_i) utilizada en la actividad i por el hogar h . En el modelo se supone que el porcentaje del ingreso total gastado en bienes producidos en la economía se realiza en la misma proporción ($\sum_{i=1}^n \alpha_{i,h}$) que en el año base.

En el caso de los productores con predios de menos de 2 has. (denominados *sp*) se agrega la restricción de subsistencia en el consumo de maíz:

$$(4) \quad Q_{\text{maíz}}^{sp} = X_{\text{maíz}}^{sp} + V_{\text{maíz}}^{sp}$$

$Q_{\text{maíz}}^{pp}$ es la producción del grano por parte del hogar en cuestión y $V_{\text{maíz}}^{sp}$ es la cantidad de grano usada como insumos intermedios en sus actividades productivas, destacando el que se usa para alimentar los animales del hogar. En este caso el precio sombra es endógeno al hogar y es la base para asegurar el cumplimiento de tal restricción.

Producción

En el MEGAM se distinguen 18 actividades productivas de los hogares: 6 agrícolas, 3 ganaderas (ganado mayor, equinos y de traspatio), migración a los Estados Unidos de América (EUA) y al resto de México y 3 no agrícolas (actividades relacionadas con la construcción, comercio y servicios y otras). La tecnología usada en la producción de cultivos cíclicos (maíz, frijol y otros cultivos) se distingue por el acceso al agua (riego y temporal) y el resto de las actividades agrícolas está formada por la producción de cultivos perennes (café, caña de azúcar y otros).⁴

La producción de los bienes producidos por los hogares ($i=1, \dots, n$) se hace a partir del uso de insumos intermedios y factores. El uso de insumos se modela con base en una función Leontief de coeficientes fijos, que se anidan en una función de producción tipo Cobb-Douglas (Q_i^h) para los factores, la cual difiere por tipo de hogar (h), con lo que se captura una diferencia tecnológica adicional.

Así para producir el bien i el productor h resuelve el siguiente problema de optimización:

$$(5) \quad \max_{FD_{i,f}^h} p_i * \left(A_{i,h} \prod_f (FD_{i,f}^h)^{\beta_{i,h,f}} \right) - \sum_f w_{i,h,f} * FD_{i,f}^h$$

Donde $FD_{i,f}^h$ son las demandas del factor f (tierra, trabajo y capital contratados en el mercado, y los factores familiares usados), $A_{i,h}$ es el factor de productividad y $\beta_{i,h,f}$ es la proporción con la que el factor f contribuye en el valor agregado de la actividad i , por lo que $\sum_{f=1}^4 \beta_{i,h,f} = 1$.

Por último, en el MEGAM la emigración de miembros del hogar hacia los EUA o al resto de México se consideran como actividades del mismo y al igual que el resto, se modelan mediante una función tipo Cobb-Douglas. Sin embargo, debido a que en ambos casos no se tiene información sobre el salario que reciben dichos trabajadores, no fue posible obtener los parámetros para calibrar las funciones de producción. Por lo que se utilizaron las elasticidades obtenidas en el trabajo de Taylor, Dyer y Yúnez-Naude (2005) quienes las estimaron econométricamente. Se debe señalar que las estimaciones utilizadas corresponden a la zona Centro-occidente, la cual posee características intermedias entre el resto de la zona rural.

Restricciones de equilibrio general

Las ecuaciones de cierre del MEGAM incluyen el equilibrio en el mercado de bienes y factores. Con respecto al primero, si i es el i -ésimo bien entonces se debe cumplir que:

$$(6) \quad \sum_{h=1}^5 (Q_i^h - (X_i^h + V_i^h)) = MS_i$$

Donde MS_i corresponde al excedente en el mercado de bienes rurales y V_i^h es la cantidad del bien i usada como insumo intermedio en las actividades del hogar h .

Con base en el funcionamiento de la economía rural mexicana, en el MEGAM los precios de los bienes son exógenos al hogar. La excepción es el precio sombra del maíz para los hogares de subsistencia, que es endógeno, con el que este tipo de hogar iguala su producción con su consumo. Lo anterior implica que el resto de los hogares pueden tener déficits o superávits en la producción y consumo propio del grano.

El equilibrio en el mercado del factor f se expresa mediante la ecuación:

$$(7) \quad \sum_{h=1}^5 \left(FS_f^h - \sum_{i=1}^n FD_{i,f}^h \right) = 0$$

FS_f^h representa la oferta del factor f por parte del hogar h la cual corresponde a las dotaciones iniciales con las que cuenta ($\bar{L}_h, \bar{W}L_h, \bar{K}_h$ o $\bar{F}F_h$) y $FD_{i,f}^h$ es la demanda del factor f realizada por el hogar h para la producción del bien i .

Con respecto a los precios de los factores, en el MEGAM se considera que la tierra y el trabajo asalariado son móviles entre actividades, por lo que existe un solo precio para cada factor ($w_{i,h,f} = w_f, f=l, wl$). En cuanto al resto de los factores, se asume que los factores propios y el capital son fijos en cada sector y hogar lo que implica que existe un precio sombra en cada caso ($w_{i,h,f}, f = k, ff$). Para estos factores la ecuación 7 se reduce a $FS_{i,f}^h = FD_{i,f}^h$ donde $FS_{i,f}^h$ es la cantidad inicial del factor f utilizada por el hogar h en la actividad i .

Datos

La información utilizada para calibrar el MEGAM proviene principalmente de las matrices de contabilidad social (o MCS) elaboradas por Hernández-Solano (2015) para cada una de las cinco regiones en que el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) divide al sector rural de México: Sur-sureste, Centro, Centro-occidente, Noroeste y Noreste. Estas matrices se construyeron con datos de la Encuesta Nacional a Hogares rurales de México 2007 o ENHRUM, con la cual se recabó información socio-económica representativa de los hogares rurales de México (de los ubicados en localidades de entre 500 y 2,499 habitantes según INEGI).

Las MCS regionales comparten la misma estructura, lo que permite la comparación entre ellas de los resultados sobre los efectos del CC. En las MCS (y en el MEGAM) los hogares están agrupados en cinco tipos y sus actividades en diez y ocho (ver arriba, sección sobre el modelo). Entre las actividades agrícolas de los hogares destaca el maíz, ya que es en las cinco regiones el principal cultivo para la mayoría de sus hogares. En las MCS (y en el MEGAM) las actividades y fuentes de ingreso son para cada grupo de hogar, que les da un carácter microeconómico. Como se ha mencionado los factores de producción se clasifican en cuatro tipos: trabajo asalariado, tierra y capital, que se rentan en la región y los propios del hogar que incluyen al trabajo familiar, la tierra y al capital fijo. Las cuentas exógenas de las MCS incluyen al gobierno, al resto de México y del mundo.

A partir de las MCS construidas, en el capítulo dos de su tesis, Hernández-Solano realiza un análisis detallado sobre la estructura de la economía de cada una de las regiones rurales de México en el año 2007, y en particular, sobre la composición de la producción

regional, y la generación y distribución de los ingresos de los hogares. En lo siguiente se retoman algunos de sus resultados, que son indispensables para el análisis y entendimiento de las estimaciones sobre los efectos económicos del CC obtenidas en el presente artículo.

Los resultados correspondientes a los ingresos per-cápita por región y tipo de hogar, muestran la gran desigualdad económica existente entre las regiones rurales de México. Se observa que el Noreste es la zona con mayores ingresos per-cápita los cuales ascienden a \$20,150.12 por año, mientras que los obtenidos en el Sur-sureste son los menores (\$9,357.58). En el resto de las regiones, las personas obtienen en promedio un ingreso de \$10,461.70 en el Noroeste, \$12,174.53 en el Centro y \$12,640.01 en el Centro-occidente. De igual manera, se observa una fuerte desigualdad dentro de las regiones, siendo los hogares propietarios de parcelas de más de 5 has. quienes obtienen los mayores ingresos per-cápita en cada región y los hogares que no producen productos agrícolas los menores, la excepción se da en el Sur-sureste, donde los hogares propietarios de menos de 2 has obtienen los menores.

En cuanto a las fuentes de ingreso de los hogares rurales, es importante analizar el rol que juegan las transferencias monetarias producto del trabajo realizado fuera de la localidad y en EUA. Los datos indican que las primeras contribuyen fuertemente en los ingresos de los hogares sin tierra en todas las regiones excepto la Noreste; su aporte es del 8.1-15.1%, 20.1-33.8%, 14.8-15.8%, 17.3-25.2% y del 3.0-6.1% en el Sur-sureste, Centro, Centro-occidente, Noroeste y Noreste, respectivamente. En contraste, para el resto de los hogares, estas transferencias representan a lo más el 15.2% de su ingreso.

Por otro lado, la relevancia de las remesas provenientes de EUA varía fuertemente dentro de/entre las regiones rurales. En el Sur-sureste éstas son de especial importancia para los hogares que arriendan la tierra y los pequeños y medianos propietarios con aportaciones a sus ingresos del 7.2%, 8.5% y 20%, respectivamente. En el Centro-occidente, una de las regiones caracterizada por la migración a USA, éstas lo son para los hogares que arriendan la tierra (18.9%), los no productores agrícolas (20.8%) y los pequeños propietarios (16.2%). En cuanto al Centro, se tiene que las remesas de EUA aportan cerca del 14.3% de los ingresos de los hogares no productores, mientras que en el Noreste lo hacen con el 24.1% y el 7.9% para los que arriendan la tierra. En contraste con los resultados anteriores, se tiene que la contribución de las remesas en los hogares de la región Noroeste es pequeña, de a lo más 3.4%.

En lo que respecta a la producción, el trabajo de Hernández-Solano indica que la zona rural con mayor producción es la Centro-occidente con un monto de 90,003.98 millones de pesos (mdp) y la de la menor es el Noroeste con 13,507.26 mdp. Por su parte, la producción del Sur-sureste es de 86,607.76 mdp, la del Centro de 46,609.91 y la del Noreste de 27,588.06 mdp.

Los resultados muestran que las actividades agropecuarias son las que más aportan a la producción del Sur-sureste con un 43.1%, lo mismo para el Centro (48%), Noreste (49.9%) y Centro-occidente (63%), mientras que en el Noroeste lo hacen los comercios y servicios (49.3%). Además, la actividad agropecuaria contribuye con un 46.2% en la producción de la región anterior, y en el resto de las regiones, el aporte de los comercios y servicios fluctúa en un 33.4-45.5%.

Es interesante resaltar que en el Sur-sureste, Centro y Centro-occidente la agricultura es la que posee mayor peso (más del 72%) en las actividades agropecuarias, mientras que en el Norte lo hace junto a la ganadería. También se observa que la producción de maíz es la actividad que más aporta (del 67.7% al 88.9%) a la producción agrícola rural y cuando se considera el régimen hídrico empleado en el cultivo de dicho grano, se tiene que en el Sur-sureste, Centro y Noreste la mayor parte del producto se obtiene bajo temporal, en el Noroeste bajo riego y en el Centro-occidente la producción bajo ambos sistemas es semejante.

En cuanto a las actividades relacionadas con la explotación de los recursos naturales (destacando la recolección de leña), se observa que éstas sólo son relevantes en el Sur-sureste y Noreste, con una aportación del 12.6% y 16.6% a la producción regional, ya que en el resto de las regiones contribuye con menos del 6%.

Los resultados sobre las características de la producción en el plano del hogar, indican que la de maíz es muy importante para los hogares con tierra agrícola, la cual representa entre el 15.6% y 58.2% de su producción, la única excepción se da para los pequeños propietarios del Noroeste en cuyo caso representa el 2%. En contraste, la producción de este grano contribuye con a lo más el 5.8% de la producción de los hogares que rentan la tierra.

Finalmente, se obtiene que aunque la ganadería es una actividad importante para los hogares rurales, el aporte que ésta hace a su producción varía entre las regiones: aporta del 11.6% al 19.4% en el Sur-sureste, Centro y Centro-occidente, y del 30% al 63.4% en el Norte. Además, la mayoría de la producción ganadera por hogar se debe a la cría del ganado

mayor, que representa del 61.4% al 98.7% del producto ganadero total. Por su parte, el ganado de traspatio y el equino representa menos del 25.65% y 18.8%, respectivamente. Sin embargo, se debe tener en cuenta que en el ámbito regional, la contribución de las dos actividades anteriores a la producción regional es despreciable, de menos del 2.6% en el caso de la ganadería de traspatio y 1.7% de la equina.

La segunda fuente de información utilizada en este artículo son las estimaciones de los efectos del CC sobre la productividad del maíz de riego y temporal por separado y por región rural de México. Los cálculos se obtuvieron del trabajo de Sonder (2013) quién utiliza las predicciones del CC correspondientes a los modelos MIROC 3.2 y CSIRO MK 3.5 para alimentar un modelo de simulación de cultivos, que le permite comparar, por régimen hídrico, los rendimientos del maíz correspondientes a las condiciones climáticas del periodo 1950-2000 con los estimados a partir del clima predicho para 2040-2069.⁵ Además, al utilizar dos predicciones del CC el autor obtiene dos escenarios sobre los efectos de este fenómeno en los rendimientos de la gramínea.⁶

Para la presente investigación los cambios en la productividad del maíz de riego (temporal) correspondientes a cada región se calcularon como la suma ponderada de los obtenidos por Sonder para cada uno de los estados que la integran, donde los ponderadores utilizados fueron la producción registrada en cada estado en el año 2007.

Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 1. Al respecto hay dos consideraciones relevantes. 1) las estimaciones indican que el CC afectará la productividad del maíz de manera diferente entre las regiones: se espera que el Centro y Noreste sean beneficiadas, mientras que en el resto la productividad se reduzca. 2) aunque en términos

cualitativos los efectos predichos por los dos modelos usados por Sonder son los mismos, en general y cuantitativamente, los estimados bajo el MIROC son más pronunciados que los que resultan de la aplicación del CSIRO. Aunque para la presente investigación se hicieron dos conjuntos de simulaciones basadas en los dos escenarios, en lo que sigue se reportan los resultados obtenidos bajo el modelo MIROC. Lo anterior porque los signos de los impactos de equilibrio general son los mismos y debido a que con el uso de las predicciones basadas en el MIROC se enfatizan los efectos del CC y se enriquece la discusión sobre los impactos microeconómicos del fenómeno.

[Cuadro 1]

Resultados

En esta sección se reportan los principales resultados de equilibrio general sobre las posibles repercusiones del CC en la economía rural de México, a partir de las estimaciones que este fenómeno podría traer en la productividad del maíz según lo discutido en la sección previa. Partiendo de un sistema económico en equilibrio, los resultados de la simulación de choques en dicha productividad muestran cómo se propagan los efectos directos del CC en la producción de maíz sobre la economía hasta alcanzar el nuevo equilibrio.

En el cuadro 2 se reportan los impactos en el ingreso neto real de los hogares rurales por tipo y región, que muestran que el efecto del cambio climático será heterogéneo en estos dos planos.⁷ Así entonces: decrece el ingreso real de los hogares de las regiones Sureste, Centro-occidente y Noroeste —sobre todo en la primera región—y aumenta en el

Centro y Noreste (última columna del cuadro). Los efectos del CC también difieren entre hogares: crece el de los hogares de las dos últimas regiones mencionadas y decrece en las otras tres. El crecimiento del ingreso de los hogares de la región Centro es mayor que el del Noreste. Por su parte, los hogares más afectados negativamente por el CC serían los minifundistas del Sur-sureste (-14.2%), los medianos del Centro-occidente (-14.3) y los grandes del Noroeste (-14 al -9%). Los hogares que toman en arriendo tierra para la producción agrícola y los que no tienen actividad agrícola son los menos impactados, independientemente de la región en donde se localicen. Como se verá más adelante, estas modificaciones implican que si el gobierno pretende compensar la pérdida de bienestar causada por el CC, la medida variará de región a región y entre hogares.

[Cuadro 2]

Sur-sureste.

En esta región se espera que el CC reduzca la productividad del maíz de temporal y de riego en 33% y 15.5%, respectivamente. Las estimaciones de los impactos económicos de este choque en la producción de sus hogares se reportan en el cuadro 3.

[Cuadro 3]

Los hogares productores con acceso al mercado de maíz; es decir, los comerciales, tomadores de precios fijados en el mercado regional que tienen predios de más de 2 has. y los que toman tierra en arriendo, se ven afectados directamente ante el cambio en productividad, con una consecuente reducción en la producción del grano. Este efecto directo lleva a disminuir la demanda de los factores usados en dicha actividad, provocando

una reducción en el salario, la renta de la tierra y los precios sombra de los factores del hogar y, en consecuencia, cambios indirectos en la producción de la gramínea y del resto de las actividades desarrolladas por los hogares. La producción de este último grupo de actividades compensa en parte el efecto negativo del CC en la productividad del maíz y provoca la sustitución de éste cultivo por otros aumentando su producción. Lo mismo sucede a la de otras actividades del hogar. En cuanto a lo último, crece la extracción de recursos naturales, la migración nacional e internacional en todos los grupos de hogar y las actividades no agropecuarias de los hogares no propietarios.⁸

Así entonces, la diversificación de las actividades y fuentes de ingreso de los hogares comerciales y las vinculaciones económicas entre ellos y el resto de los hogares del Sureste provocan efectos indirectos que modifican el impacto directo inicial o parcial del choque simulado. En última instancia, en el nuevo equilibrio en la región el salario disminuye en un 3.2% y la renta de la tierra en 17.2%, lo que incrementa la producción de las actividades de los hogares comerciales, excepto la de la gramínea (cuadro 4). Asimismo, los ingresos reales de estos hogares disminuyen: en .7% para los productores agrícolas sin tierra, 4.4% para los grandes propietarios y 12.1% para los medianos (cuadro 2).

[Cuadro 4]

Al igual que los hogares comerciales, en los de subsistencia (con predios menores a las 2 has.), el impacto directo del choque negativo en la productividad en el cultivo del maíz ante el CC los lleva a reducir su producción del grano. Dicho cambio genera impactos indirectos que se propagarán sucesivamente dentro y fuera de la economía del hogar. Uno

de ellos es la caída en el salario y en la renta de la tierra que genera que, frente a la reducción en la productividad del maíz, la producción del resto de las actividades se incrementa. La excepción es la ganadería, ya que esta decrece, sobretodo la cría de animales en el traspatio de la vivienda de los hogares. Ello debido en parte a que dicha producción se desalienta ante el aumento del precio sombra del maíz y el uso de este bien para alimentar a los animales (cuadro 4).

No obstante que, salvo el caso de la ganadería, los signos de los cambios de equilibrio general provocados por el CC simulado son los mismos para todo tipo de hogar, las magnitudes en cuanto a la producción de maíz difieren, tanto para el irrigado como para el de temporal. En efecto la de los productores comerciales baja entre 37 y 42% (maíz de temporal) y entre 20 y 24% (maíz irrigado), mientras que la de los de subsistencia disminuye en bastante menos: 32% para maíz de temporal y 11% para el irrigado. Lo anterior se debe a que el último tipo de agricultores toma sus decisiones a partir del precio sombra del maíz, mientras que para los comerciales el precio del grano es exógeno, fijado en el mercado de la región. O sea que, ante el choque en productividad simulado crece el precio sombra del maíz. Sin embargo, el aumento es insuficiente para compensar el choque inicial, ni sus efectos de equilibrio general. Al mismo tiempo, el aumento en el precio sombra del maíz explica por qué la producción por parte de los hogares de subsistencia se reduce menos respecto al resto. En el agregado, el ingreso real de los hogares minifundistas disminuye en 14.2% (cuadro 2).

El choque climático a través de la productividad del maíz no afecta directamente a los hogares que no producen bienes agrícolas, pero están lejos de permanecer aislados del

fenómeno. El efecto de equilibrio general indica que crecen sus actividades relacionadas con el comercio y servicios, su extracción de recursos naturales y otras actividades. Al final el efecto neto es un pequeño aumento del .1% en su ingreso real (cuadro 2).

Conviene agregar que no sólo los hogares no agrícolas aumentan la extracción de recursos naturales, ya que el resto también lo hace. El hallazgo podría significar que la reducción en la producción de maíz causada por el CC induciría a una mayor explotación de las selvas del Sur-sureste, situación que agravaría la sobreexplotación de sus recursos naturales del pasado y presente.

Por último, la reducción en la productividad del maíz impulsaría levemente la emigración al resto de México y a los EUA (cuadro 3).

Centro

A diferencia del Sur-sureste, en el centro rural de México es positivo el efecto estimado del CC sobre la productividad del maíz: sube en 11.9% para la de temporal y en 71.4% la de riego. La simulación de estos cambios con base en el MEGAM muestra que aumentará el ingreso real de los hogares rurales de la región, pero en diferentes proporciones, y en el agregado, el ingreso real regional se incrementará en un 5.8% (segundo renglón cuadro 2).

Los efectos micro sobre la producción para los hogares agrícolas comerciales (los que rentan la tierra y los medianos y grandes propietarios) son los que siguen. El cambio en productividad del maíz impacta directamente su producción aumentándola, lo que impulsa la demanda de factores para producirlo y sus precios de mercado. A su vez, esto genera efectos indirectos que disminuyen la producción del resto de las actividades de estos grupos

de hogar. En el nuevo equilibrio se tiene que la renta de la tierra se incrementa en 71.4% y el salario en 5% (cuadro 4). Por último se tiene que los ingresos reales de los productores comerciales aumentan en un 1%, 4.6% y 9.8%, respectivamente (cuadro 2).

Al igual que en el caso de los productores comerciales el aumento en la productividad del maíz impulsa directamente su producción por parte de los hogares de subsistencia. Estos cambios desencadenan una serie de efectos indirectos que se propagan hasta alcanzar el nuevo equilibrio, en donde se reduce el precio sombra del grano en un 26.1%, mientras que la renta de la tierra y el salario se incrementan. Ello provoca que la mayoría de los sectores se contraigan (tercera columna del cuadro 5) a excepción del maíz, la ganadería equina y los comercios y servicios. La producción del grano aumenta en 3.8% bajo temporal y 87.3% bajo riego. A primera vista este resultado parece contradictorio; lo que sucede es que el incremento en productividad supera los efectos negativos de los mayores precios de los factores y de la reducción del precio sombra del maíz. Estos resultados son equiparables a los encontrados para la región Sur-sureste, en el sentido que los cambios en el precio sombra del maíz explican las diferencias en el efecto de equilibrio general para los distintos hogares productores del grano. En el caso del Centro, la caída en tal precio explica en parte el por qué la oferta de este bien por parte de los hogares de subsistencia crece menos respecto al resto de los hogares.

Por último, se tiene que el efecto final sobre el ingreso real de los hogares de subsistencia es un aumento en 9.4%, mientras que el de los no productores agrícolas sube ligeramente, en .7% (cuadro 2).

[Cuadro 5]

Centro-occidente

Al igual que en el Sur-sureste los resultados muestran que el CC afectaría negativamente la productividad del maíz en esta zona, reduciéndola en 27.5% la de temporal y en 21.8% la de riego. Como resultado de este fenómeno con el MEGAM construido se estima que el ingreso regional real se contraerá en 5.5%. Sin embargo, en el plano micro-económico los efectos en ingreso diferirán de acuerdo al tipo de hogar (tercer renglón cuadro 2), así como los relacionados con su producción (cuadro 6).

[Cuadro 6]

Los resultados muestran que los impactos estimados del choque simulado en las actividades de los hogares del Centro-occidente son del mismo signo respecto a los de la región Sur-sureste. Es decir, se reduce la producción de maíz de todo tipo de hogar (aunque el impacto es mayor para los hogares del Sur-sureste), excepto la de riego de subsistencia y aumenta la de otros cultivos; cae la producción ganadera de los hogares de subsistencia y aumenta la del resto de los hogares con esta actividad; aumenta la actividad comercial y de servicios, así como la extracción de recursos naturales y la emigración.

El declive de la producción de maíz por parte de los hogares de subsistencia con predios de temporal es menor al del resto de los hogares agrícolas, debido, como se discute arriba para el caso de la región Sur-sureste, al cambio en su precio sombra. Lo anterior no aplica al caso del maíz irrigado, en el sentido que el efecto del CC es un aumento en su oferta del 3.35% por parte de los hogares de subsistencia del Centro-occidente (que se reduce para los hogares comerciales). Lo anterior se explica en parte porque la caída en los salarios y el aumento en el precio sombra del grano para los hogares de subsistencia

más que compensa el impacto negativo que genera inicialmente la reducción en la productividad del cultivo. O sea que, para el cultivo de maíz en tierras irrigadas por parte de este tipo de productor, el efecto de equilibrio general es contrario a lo que sucede con el maíz de temporal.

Por su parte, los menores precios de mercado de los factores de producción estimulan al resto de las actividades de los hogares de subsistencia, salvo a la ganadería, la cual se contrae por el mayor precio sombra de uno de sus principales insumos: el maíz (cuadro 4).

En el nuevo equilibrio la renta del trabajo asalariado y de la tierra disminuyen en un 5.3% y 9.7%, respectivamente (cuadro 4) y los ingresos reales se reducen para todos los grupos de hogar con la excepción de los de subsistencia (cuadro 2). Lo último debido a varias razones, tales como el relativamente bajo decremento en la producción de maíz de los hogares de subsistencia y el crecimiento del resto de sus actividades no ganaderas, incluyendo el aumento en su oferta de maíz irrigado (cuadro 6).

Noroeste

Para el Noroeste, la predicción de los efectos del CC en la productividad en el cultivo del maíz es que ésta se reducirá como en el Sur-sureste y Centro-occidente: en este caso en 28.4% para el de temporal y en 27.5% para el de riego. Como en las otras dos regiones mencionadas, el choque simulado reduce la producción del grano de los hogares que lo cultivan: la de temporal de los hogares de subsistencia y de los que tienen predios de más de 5 has., y la de maíz irrigado en los últimos hogares y en los medianos (cuadro 7).

[Cuadro 7]

Nuevamente, los cambios en el precio sombra del grano explican en parte porque los hogares de subsistencia reducen menos su producción respecto a los comerciales grandes. El declive en el cultivo del maíz se compensa parcialmente por el crecimiento de otras actividades agrícolas y pecuarias de los tres grupos de hogar en los que decrece la producción del grano (la excepción es la cría de ganado mayor por parte de los hogares con predios medianos, que decrece ligeramente). Parte de la explicación de lo anterior es que la reducción en la oferta de maíz reduce los salarios y la renta de la tierra en la región y ambos fenómenos impulsan al resto de las actividades, incluyendo las de los hogares no productores y la emigración (cuadro 4).

Como resultado final de todos estos impactos del CC, el ingreso real de todos los grupos de hogar disminuye, con la excepción de los que arriendan tierra, cuyo ingreso sube ligeramente (cuarto renglón del cuadro 2).

Noreste

Las estimaciones de los efectos del CC sugieren que la productividad del maíz en la región Noreste será la menos afectada, ya que se espera que sólo la del maíz de temporal aumente, y muy ligeramente en un 6.1%. Lo anterior sugiere que el impacto del CC en la región será bajo, lo cual se constata con los resultados de la simulación usando el MEGAM de la región (cuadro 8).

[Cuadro 8]

En efecto, el ingreso real de todos los hogares del Noreste aumenta ligeramente y mucho menos que el del Centro, la otra región rural en donde es positivo el efecto del CC

sobre la productividad del maíz (quinto renglón del cuadro 2). Asimismo, como en el Centro, la producción del grano crece, pero a tasas más bajas y lo mismo sucede con el resto de las actividades de los hogares, que decrecen en proporciones más bajas que las experimentadas en el Centro (cuadro 8).

Discusión y conclusiones

La investigación empírica cuyos resultados se han presentado ha sido posible en parte por la existencia de una encuesta representativa de los hogares rurales de México, que proporciona la información indispensable para construirle las bases de datos necesarias a un estudio de equilibrio general; es decir, para la elaboración de matrices de contabilidad social rurales.

El enfoque de equilibrio general aplicado y microeconómico adoptado en la presente investigación es un aporte al estudio de los posibles efectos del CC en la economía rural de países en desarrollo, ya que: 1) con él pueden estimarse los posibles efectos directos e indirectos que traería consigo las modificaciones en la productividad de cultivos alimenticios básicos como el maíz en México a causa del CC, y no sólo eso, ya que los impactos indirectos pueden ser mayores a los directos, efectos que no son incorporados en los modelos de equilibrio parcial; 2) la desagregación regional del presente estudio da cuenta de las diferencias en este plano existentes en México y con ello se aproxima a la diversidad agroecológica de los impactos del CC; y 3) su carácter microeconómico permite capturar, y modelar, la heterogeneidad en el funcionamiento de los hogares rurales, así

como su condición de productores y consumidores y los costos de transacción a los que se enfrentan.

Uno de los hallazgos del estudio es la heterogeneidad regional de los efectos del CC, así como las diferencias inter e intra regionales en los impactos del fenómeno entre hogares. Destaca el Sur-sureste por ser la región con menor ingreso per cápita, mayor incidencia de la pobreza y porque es una de las más ricas en recursos naturales de México. No obstante que el impacto negativo del CC en la productividad del maíz en esta región es similar al de las otras dos regiones en las que el efecto es también negativo (cuadro 1), el ingreso real de sus hogares cae más: -8% en el Sur-sureste, -5,5% en el Centro-occidente y -3,9% en el Noreste (cuadro 2). Al anterior debe añadirse que, a diferencia de las dos últimas regiones, todos hogares del Sur-sureste aumentan la extracción de recursos naturales (cuadro 3), lo que profundizaría el deterioro ambiental que ha caracterizado a esta región del país. Estas diferencias en los resultados también implican la posibilidad de que se profundicen las marcadas diferencias existentes entre las regiones rurales de México.

La desagregación por grupos de hogares del MEGAM construido permite conocer los efectos micro del CC que dan forma a los macro. En las regiones rurales afectadas negativamente por el CC (Sur-sureste, Centro-occidente y Noroeste) las estimaciones muestran que la mayoría de sus hogares reducirían la producción del cultivo más importante en la dieta nacional y sufrirían reducciones en sus ingresos reales. La excepción son los no productores agrícolas establecidos en el Sur-sureste, los productores que rentan la tierra en el Noroeste y los pequeños propietarios del Centro-occidente. En cuanto a las zonas Centro y Noreste, se tiene que el ingreso real de todos los hogares se incrementaría

por el efecto positivo en la productividad del maíz a causa del CC, aunque en diferentes proporciones.

Una manera de vincular los resultados obtenidos con la política pública es calculando las transferencias de ingreso necesarias para que el bienestar de los hogares se mantenga sin cambios ante el choque en productividad causada por el CC. La estimación se basa en una aproximación llamada variación compensada, cuyos resultados están en el cuadro 9.

[Cuadro 9]

Además de especificar a qué tipo de hogares habrá que otorgarles transferencias monetarias para que mantengan su bienestar, definido a partir de su grado de utilidad, el cuadro muestra el total por región y grupo de hogar de gastos que el gobierno deberá realizar para obtener este resultado, tomando en cuenta las transferencias negativas de ingreso a aquellos hogares beneficiados por el CC. En estos términos, resulta que la región que requeriría una transferencia más elevada sería el Sur-sureste (de más de 6 mil millones de pesos, alrededor de 321 millones de dólares de EUA). El total de recursos gubernamentales requeridos para mantener el ingreso de los hogares rurales sería de más de 5.5 mil millones de pesos (casi 290 millones de dólares). Los hogares que más requerirían apoyo para mantener su ingreso serían los de subsistencia: la transferencia monetaria total sería de 3.221 mil millones (casi 170 millones de dólares).

Estos fondos para compensar la pérdida de ingreso de los hogares rurales se añadirían al resto del gasto público. Esto significa presiones presupuestarias adicionales dentro del contexto crítico actual de las finanzas públicas mexicanas (Tello 2015).

Los impactos de equilibrio general del CC estimados a partir del MEGAM tienen también implicaciones sobre la seguridad alimentaria del país. Una manera de exponerlas es calculando los cambios en los excedentes de maíz producido por los hogares rurales provocados por el CC simulado (cuadro 10). Los resultados muestran que el aumento de dicho excedente en las regiones en donde crece la productividad en el cultivo del grano (Centro y Noreste) es insuficiente para compensar su caída en el resto de las regiones rurales, de tal forma que el CC reduciría en 31% el excedente de maíz producido en las regiones rurales del país, lo que equivale a más de 360 mil toneladas.

[Cuadro 10]

En última instancia, los resultados de las simulaciones efectuadas proporcionan insumos para el diseño de políticas de desarrollo rural que tomen en cuenta los impactos del CC y en consecuencia para el diseño de medidas de adaptación ante el fenómeno.

Como es frecuente en los proyectos de investigación académica, el presente permite plantear temas de estudios futuros. En el diseño del MEGAM se podría eliminar el supuesto de que el trabajo familiar no sea móvil entre actividades o construir un modelo dinámico. También podría llevarse a cabo un análisis de sensibilidad a partir de distintas especificaciones funcionales y estimar económicamente algunos de los parámetros requeridos, incluyendo los de las funciones de la migración.

La base de datos usada también hace posible construir un MEGAM cien por ciento desagregado; es decir, a partir de un modelo microeconómico de cada hogar rural o de agentes. Lo anterior evitaría posibles sesgos provocados por la agregación ex ante de grupos de hogar y haría posible agruparlos conforme a los efectos de las simulaciones.

Las simulaciones sobre los efectos del CC en la producción agrícola se hicieron sólo para la productividad del maíz, porque no hay estimaciones para las regiones consideradas de otros cultivos de importancia en México. Tampoco hay cálculos de tales impactos que detallen con mayor precisión diferencias agroecológicas.

A lo anterior hay que añadir que para simular los posibles efectos de procesos de adaptación, se requieren los estudios cuantitativos correspondientes para la construcción de escenarios con fundamentos empíricos y, con ello estimar con rigor los efectos de equilibrio general de políticas que promuevan dicha adaptación.

Empero, se considera que la modelación llevada a cabo en la presente investigación es un avance respecto a estudios previos de equilibrio parcial, y sus resultados pueden contribuir al conocimiento de los posibles impactos del CC en la economía rural de México y de otros países en desarrollo.

Notas

¹ La estimación se realiza sobre el valor de la tierra, ya que se asume que éste es proporcional a los retornos generados por el mejor uso de la tierra.

² Los hogares propietarios de parcelas también rentan tierra agrícola.

³ El MEGAM se construyó usando el paquete computacional *General Algebraic Modeling System* o GAMS. El interesado puede solicitar a los autores el código del modelo.

⁴ La distinción es también fundamental en la estimación de los efectos de equilibrio general en la productividad agrícola causada por el CC.

⁵ El *Model for Interdisciplinary Research on Climate* (MIROC) fue desarrollado en el *Center for Climate System Research of the University of Tokyo*, el *National Institute for Environmental Studies* y el *Frontier Research Center for Global Change*. El model CSIRO MK 3.5 fue elaborado por la *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*.

⁶ Aunque existen estimaciones para México de los efectos del CC sobre los rendimientos de varios productos agrícolas (SAGARPA y FAO 2012), no fue posible utilizarlas debido a que las regiones tomadas en cuenta en dicho estudio difieren a las consideradas en el presente artículo.

⁷ El ingreso neto real se estimó mediante la utilización de un índice de precios al consumidor (IPC) que se calculó a nivel hogar. El periodo base corresponde a la economía sin los choques del CC y el periodo posterior a la economía afectada por dicho fenómeno. La canasta utilizada se tomó como la cesta de consumo de cada hogar correspondiente al periodo en presencia del CC.

⁸ Los efectos en la migración son los mismos para todo tipo de hogar debido a que el parámetro de la función correspondiente a esta actividad no varía entre hogares (lo anterior aplica al resto de las regiones).

Cuadro 1. Cambios (%) en la Productividad Debidos al CC

Región	Maíz irrigado		Maíz de temporal	
	CSIRO	MIROC	CSIRO	MIROC
Sur-sureste	-7.0%	-15.5%	-11.6%	-33.0%
Centro	30.6%	71.4%	32.1%	11.9%
Centro-occidente	-30.0%	-21.8%	-4.7%	-27.5%
Noroeste	-21.9%	-27.5%	-23.9%	-28.4%
Noreste	0.0%	0.0%	13.5%	6.1%

Fuente: Estimaciones propias a partir de los cálculos de Sonder (2013).

Cuadro 2. Efectos del CC sobre los Ingresos Reales de los Hogares

Región	Hogares sin tierra		Hogares con tierra			Regional
	Arriendan	No productores	Menor a 2 has.	Entre 2 y 5 has.	Más de 5 has.	
Sur-sureste	-0.7%	0.1%	-14.2%	-12.1%	-4.4%	-8.0%
Centro	1.0%	0.7%	9.4%	4.6%	9.8%	5.8%
Centro-occidente	-1.1%	-0.8%	11.8%	-14.3%	-10.6%	-5.5%
Noroeste	0.1%	-1.5%	-3.4%	-8.7%	-14.9%	-3.9%
Noreste	0.5%	0.2%	2.4%	2.7%	2.0%	1.3%

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3. Efectos del CC sobre la Producción de las Actividades en la Región Sur-Sureste

Actividad	Hogares sin tierra		Hogares con tierra		
	Arriendan	No productores	Menor a 2 has.	Entre 2 y 5 has.	Más de 5 has.
Maíz de temporal	-39.7%	-	-31.9%	-36.9%	-42.2%
Maíz de riego	-	-	-10.7%	-23.5%	-19.8%
Frijol de temporal	-	-	1.2%	1.3%	1.1%
Frijol de riego	-	-	2.0%	3.0%	-
Otros cultivos cíclicos de temporal	0%	-	1.1%	1.0%	1.0%
Otros cultivos cíclicos de riego	-	-	2.2%	-	0%
Café	-	-	1.0%	1.1%	1.0%
Caña de azúcar	-	-	-	-	-
Otros cultivos perenes	-	-	1.2%	1.0%	1.1%
Ganadería mayor	0.2%	-	-1.0%	0%	0%
Ganadería de traspatio	10.7%	-	-71.4%	0%	0%
Ganadería equina	0%	-	-100.0%	0%	0%
Actividades relacionadas con la construcción	-	-	-	-	-
Comercios y servicios	0%	6.6%	0%	0%	0%
Recursos naturales	1.3%	2.0%	1.1%	1.0%	1.1%
Otras actividades	3.1%	5.4%	0%	0%	0%

Migración doméstica	0.1%
---------------------	------

Migración a USA	0.4%
-----------------	------

Nota: Un guion (-) significa que el hogar en cuestión no desarrolla la actividad en el año base (aplica al resto de los cuadros de la presente sección).

Fuente: Estimaciones propias (aplica al resto de los cuadros).

Cuadro 4: Cambios en Precios Sombra y de Factores por Región

Región	Precio sombra del maíz	Salario	Renta de la tierra
Sur-sureste	60.8%	-3.2%	-17.1%
Centro	-26.2%	5.0%	71.4%
Centro-occidente	172.5%	-5.3%	-9.7%
Noroeste	40.6%	-7.9%	9.2%
Noreste	-5.8%	1.9%	2.2%

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 5. Efectos del CC sobre la Producción de las Actividades en la Región Centro

Actividad	Hogares sin tierra		Hogares con tierra		
	Arriendan	No productores	Menor a 2 has.	Entre 2 y 5 has.	Más de 5 has.
Maíz de temporal	12.65%	-	3.79%	14.39%	15.96%
Maíz de riego	-	-	87.31%	131.79%	122.70%
Frijol de temporal	-22.56%	-	-3.10%	-3.44%	0%
Frijol de riego	-	-	-3.10%	-2.48%	-
Otros cultivos cíclicos de temporal	0%	-	-16.63%	-3.17%	-2.74%
Otros cultivos cíclicos de riego	-	0%	-3.47%	-2.99%	-
Café	-	-	-2.17%	-2.12%	-2.17%
Caña de azúcar	-	-	-	0%	-
Otros cultivos perenes	-	-	-2.94%	-3.16%	-5.99%
Ganadería mayor	-0.48%	-	-1.06%	-5.12%	0%
Ganadería de traspatio	0%	-	0%	-21.70%	0%
Ganadería equina	0%	-	36.41%	-1.79%	-5.77%
Actividades relacionadas con la construcción	-	-	0%	-	-
Comercios y servicios	-0.29%	-1.44%	0.31%	0%	-0.04%
Recursos naturales	-2.12%	0%	-2.15%	-2.10%	-2.55%
Otras actividades	-	0%	0%	-	-

Migración doméstica	-0.18%
Migración a USA	-0.65%

Cuadro 6. Efectos del CC sobre la Producción de las Actividades en la Región Centro-Occidente

Actividad	Hogares sin tierra		Hogares con tierra		
	Arriendan	No productores	Menor a 2 has.	Entre 2 y 5 has.	Más de 5 has.
Maíz de temporal	-31.72%	-	-7.47%	-33.40%	-30.73%
Maíz de riego	-23.07%	-	3.35%	-25.60%	-25.02%
Frijol de temporal	-	-	0%	1.46%	0%
Frijol de riego	-	-	1.44%	1.41%	1.72%
Otros cultivos cíclicos de temporal	0%	0%	1.85%	1.90%	1.37%
Otros cultivos cíclicos de riego	-	-	6.71%	2.25%	1.47%
Café	-	-	-	-	-
Caña de azúcar	-	-	1.33%	1.18%	1.28%
Otros cultivos perenes	1.34%	-	1.82%	1.17%	1.24%
Ganadería mayor	2.29%	-	-1.89%	0.11%	1.68%
Ganadería de traspatio	9.74%	-	-100.00%	0%	0%
Ganadería equina	0.60%	-	0%	0%	0.08%
Actividades relacionadas con la construcción	0%	-	0%	0%	-
Comercios y servicios	0.09%	0.09%	0%	0.34%	0%
Recursos naturales	0%	1.16%	0%	0%	0%

Otras actividades	0%	0%	-	-	-
Migración doméstica		0.20%			
Migración a USA		0.73%			

Cuadro 7. Efectos del CC sobre la Producción de las Actividades en la Región Noroeste

Actividad	Hogares sin tierra		Hogares con tierra		
	Arriendan	No Arriendan productores	Menor a 2 has.	Entre 2 y 5 has.	Más de 5 has.
Maíz de temporal	-	-	-28.40%	-	-44.23%
Maíz de riego	-	-	-	-27.50%	-45.13%
Frijol de temporal	-	-	-	-	-
Frijol de riego	-	-	-	0%	0%
Otros cultivos cíclicos de temporal	0%	0%	0%	-	13.03%
Otros cultivos cíclicos de riego	-	-	25.95%	18.51%	0%
Café	-	-	-	-	-
Caña de azúcar	-	-	-	-	0%
Otros cultivos perenes	-	-	0%	-	0%
Ganadería mayor	10.29%	-	0%	-0.17%	11.81%
Ganadería de traspatio	216.35%	-	0%	0%	0%
Ganadería equina	0%	-	0%	0%	0%
Actividades relacionadas con la construcción	0%	1.38%	-	-	-
Comercios y servicios	0%	0.56%	0%	0%	0%
Recursos naturales	0%	8.86%	0%	0%	0%
Otras actividades	0%	3.47%	0%	-	-
Migración doméstica			0.30%		
Migración a USA			1.10%		

Cuadro 8. Efectos del CC sobre la Producción de las Actividades en la Región Noreste

Actividad	Hogares sin tierra		Hogares con tierra		
	Arriendan	No productores	Menor a 2 has.	Entre 2 y 5 has.	Más de 5 has.
Maíz de temporal	7.66%	-	5.34%	7.31%	6.65%
Maíz de riego	-	-	-	-	-
Frijol de temporal	-0.80%	-	-0.33%	-0.26%	-0.34%
Frijol de riego	-	-	-	-	-0.28%
Otros cultivos cíclicos de temporal	-0.01%	-	-	-0.93%	-0.46%
Otros cultivos cíclicos de riego	-	-	-	0%	-0.34%
Café	-	-	-	-	-
Caña de azúcar	-	-	-	-	-
Otros cultivos perenes	-	-	-0.45%	-0.72%	-0.28%
Ganadería mayor	-0.01%	-	-0.23%	-0.32%	-0.29%
Ganadería de traspatio	0%	-	0%	0%	0%
Ganadería equina	-0.03%	-	0%	0%	-0.36%
Actividades relacionadas con la construcción	0%	0%	0%	-	-
Comercios y servicios	-0.01%	-0.10%	0%	-	-0.02%
Recursos naturales	-0.27%	-0.28%	-0.27%	0%	-0.26%
Otras actividades	-	-	-	-	-

Migración doméstica	-0.07%
Migración a USA	-0.25%

Cuadro 9. Variación Compensada para Mantener el Bienestar ante el CC (miles de pesos)

Región	Hogares sin tierra		Hogares con tierra			Regional
	Arriendan	No productores	Menor a 2 has.	Entre 2 y 5 has.	Más de 5 has.	
Sur-sureste	52,784.9	-4,193.8	4,519,308.9	1,392,802.4	139,000.8	6,099,703.1
Centro	-31,315.5	-32,737.1	-985,751.3	-285,762.3	-212,636.6	-1,548,202.8
Centro-occidente	102,380.6	64,872.7	-290,794.1	293,832.3	705,578.3	875,869.9
Noroeste	-1,662.7	57,759.7	5,236.2	25,070.9	73,423.3	159,827.3
Noreste	-13,361.0	-7,437.5	-27,415.8	-14,890.8	-15,672.1	-78,777.1
México rural	108,826.4	78,264.0	3,220,583.9	1,411,052.4	689,693.8	5,508,420.4

Cuadro 10. Cambios en el Excedente de Producción del Maíz a Causa del CC

Región	Porcentaje
Sur-sureste	-87.2%
Centro	131.9%
Centro-occidente	-40.2%
Noroeste	-56.2%
Noreste	8.7%
México rural	-31.0%

Nota: Las regiones presentan un superávit comercial de maíz en 2007.

Bibliografía

- Adams, R. M., B. H. Hurd, S. Lenhart, & N. Leary. 1998. "Effects of global climate change on agriculture: an interpretative review." *Climate Research* 11: 19-30.
- Ahmed, S. A., N. S. Diffenbaugh, & T. W. Hertel. 2009. "Climate volatility deepens poverty vulnerability in developing countries." *Environmental Research Letters* 4(3): 034004.
- Barker, T., O. Davidson, W. Davidson, S. Huq, D. Karoly, V. Kattsov, ... & D. Wratt. 2007. *Climate change 2007: Synthesis report*. Valencia: IPCC, Noviembre.
- Boyd, R., & M. E. Ibararán. 2011. "El costo del cambio climático en México: análisis de equilibrio general de la vulnerabilidad intersectorial." *Gaceta de Economía* 16: 115-133.
- Gay, C., F. Estrada, C. Conde, H. Eakin, & L. Villers. 2006. "Potential impacts of climate change on agriculture: A case of study of coffee production in Veracruz, Mexico." *Climatic Change* 79: 259-288.
- Hernández-Solano, A. 2015. "Pobreza y cambio climático: El caso de México." PhD dissertation, El Colegio de México.
- Hertel, T. W., M. B. Burke, & D. B. Lobell. 2010. "The poverty implications of climate-induced crop yield changes by 2030." *Global Environmental Change* 20: 577-585.
- Levy, S., & Van S. Wijnbergen. 1994. "Labor markets, migration and welfare Agriculture in the North-American Free Trade Agreement." *Journal of Development Economics* 43: 263-278.
- Lopez-Feldman, A. 2013. "Climate Change, Agriculture and Poverty: A Household Level Analysis for Rural Mexico." *Economics Bulletin* 33: 1126-1139.
- Mendelsohn, R., & A. Dinar. 1999. "Climate change, agriculture, and developing countries: does adaptation matter?." *The World Bank Research Observer* 14: 277-293.

- Mendelsohn, R., J. Arellano-Gonzalez & P. Christensen. 2010. "A Ricardian analysis of Mexican farms." *Environment and Development Economics* 15: 153-171.
- Mendelsohn, R., W. D. Nordhaus, & D. Shaw. 1994. "The impact of global warming on agriculture: a Ricardian analysis." *The American economic review* 84: 753-771.
- Meza Pale, P., & A. Yúnez-Naude. 2015. "The Effect of Rainfall Variation on Agricultural Households: Evidence from Mexico." Paper presented at 29th International Conference of Agricultural Economists, Milan, 8-14 August.
- Mideksa, T. K. 2010. "Economic and distributional impacts of climate change: The case of Ethiopia." *Global Environmental Change* 20: 278-286.
- Robinson, S., M. E. Burfisher, R. Hinojosa-Ojeda, & K. E. Thierfelder. 1993. "Agricultural policies and migration in a US-Mexico free trade area: A computable general equilibrium analysis." *Journal of Policy Modeling* 15: 673-701.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) de México & United Nations, Food and Agriculture Organization (FAO). 2012. *México: El Sector Agropecuario ante el Desafío del Cambio Climático*. México.
- Sonder, K. 2013. "Impacto del cambio climático sobre la producción de maíz en México." Working paper, Programa Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional (MasAgro), Sagarpa, CIMMYT, El Batán, Mexico.
- Taylor, J. E., G. A. Dyer, & A. Yúnez-Naude. 2005. "Disaggregated rural economywide models for policy analysis." *World Development* 33:1671-1688.
- Taylor, J. E., & I. Adelman. 1996. *Village economies: The design, estimation, and use of villagewide economic models*, 1st ed. New York: Cambridge University Press.

Tello, C. 2015. “Notas sobre presupuesto base cero”. *Cuadernos de Investigación en Desarrollo*.
Universidad Nacional Autónoma de México-UNAMI.

Yúñez-Naude, A., & L. G. Rojas-Castro. 2008. “Perspectivas de la agricultura ante reducciones en la disponibilidad de agua para riego: Un enfoque equilibrio general.” In H. R. Guerrero García Rojas, A. Yúñez-Naude, & J. Medellín-Azuara, Coord. *El agua en México: Consecuencias de las políticas de intervención en el sector*. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica (FCE), pp. 183-211.