

Costos y beneficios del maíz Bt en México:

Un análisis de equilibrio general

Proyecto 164357, Fondo CONACYT - CIBIOGEM

Reporte Final a la

Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM)

George A Dyer

Desarrollo y Alimentación Sustentables, A.C.

Antonio Yúnez-Naude

El Colegio de México / Desarrollo y Alimentación Sustentables, A.C.

Javier Becerril

Universidad Autónoma de Yucatán

Octubre 26, 2017

Costos y beneficios del maíz Bt en México:

Un análisis de equilibrio general

Reporte Final

Resumen Ejecutivo

Se dice que los cultivos genéticamente modificados (GM) ofrecen grandes beneficios a los pequeños productores en áreas en desarrollo alrededor del mundo (Qaim, 2005), que su adopción generalizada reduciría la pobreza, propiciaría el desarrollo rural sustentable y contribuiría al ingreso, la seguridad alimentaria y el ambiente (Qaim, 2005, 2009; Fedoroff et al, 2010). Aquí nos planteamos dilucidar los posibles efectos de la liberación comercial del maíz Bt en la economía rural mexicana. Dado que esta tecnología no se ha liberado comercialmente en México, el nuestro es, necesariamente, un análisis ex ante, basado en la simulación de posibles escenarios. Como elemento central del proyecto desarrollamos un modelo con características singulares que combinan las ventajas de dos importantes tradiciones de modelación: los modelos de agentes y los modelos de equilibrio general aplicado. Utilizamos el modelo para conocer la posible distribución de los costos y beneficios de la adopción de maíz Bt entre distintos sectores de la población rural mexicana. Más precisamente, consideramos las posibles repercusiones de la adopción en la producción y el ingreso a partir de diversos supuestos sobre las presuntas diferencias agronómicas entre las tecnologías Bt y convencional.

Dada la naturaleza hipotética del caso del maíz Bt en México, evaluamos la sensibilidad de los resultados a supuestos sobre su productividad, así como sobre la institucionalidad y geografía de su posible liberación. Un aspecto fundamental del análisis de sensibilidad plantea supuestos contrastantes sobre un posible aumento de 4.5% en la productividad asociado al maíz Bt. A saber, un primer escenario supone un aumento neutro (i.e., *factor neutral*) en la productividad, es decir, un aumento que no implica, desde el punto de vista agronómico, cambios cuantitativos en el uso de los tres factores productivos: mano de obra, tierra y capital. Un segundo escenario, por su parte, supone un aumento idéntico al anterior salvo en que el maíz Bt, simultáneamente, reduce en 5% las necesidades de mano de obra, es decir, las asociadas a la aplicación de agroquímicos en el control plagas. Un aspecto adicional de este análisis de sensibilidad explora variaciones en la magnitud del cambio en productividad, simulando y contrastando aumentos no-neutrales de entre 3.5 y 5.5% en productividad, es decir, variaciones de un punto porcentual alrededor del supuesto original del segundo escenario.

La comparación del segundo escenario con un tercero analiza la sensibilidad del modelo a condiciones institucionales particulares. En específico, el segundo escenario supone competencia perfecta en el mercado del grano, mientras que el tercero supone un mercado no del todo competitivo. En el tercer escenario, pues, las empresas comercializadoras agrícolas no modifican su demanda del grano, lo cual implica que los excedentes deben comercializarse en el mercado local.

En atención a las restricciones vigentes a la posible liberación de maíz GM en el centro de diversidad del cultivo, suponemos que la liberación y adopción de variedades Bt ocurre exclusivamente en el norte de México. En este sentido, un último aspecto del análisis de sensibilidad aborda las implicaciones de la variación geográfica en las condiciones de producción del maíz en el norte del país, incluyendo la extensión de la superficie sembrada y la disponibilidad de distintos factores productivos. Esto se logra desagregando los resultados de cada escenario para cinco zonas maiceras del norte de México: Chihuahua, Sinaloa irrigada, Sinaloa de temporal, Sonora y Tamaulipas.

La distribución actual de variedades mejoradas de maíz en México supone límites concretos a la posible adopción de variedades Bt en distintas zonas del país en un futuro inmediato, incluso si esta tecnología lograra expandir la frontera del maíz mejorado en el país. Estimaciones econométricas, realizadas como parte de este estudio, sugieren diferencias importantes en el grado actual de adopción de variedades mejoradas de maíz en las distintas regiones de México, así como en la tasa (i.e., cambios en el grado) de adopción de dichas variedades. En particular, la proporción de productores que siembra maíz mejorado, así como su tasa de adopción, ha sido mayor en el noroeste que en el noreste de México. Como una primera aproximación, suponemos, sin embargo, que todos los productores maiceros en el norte de México estarán en capacidad de adoptar la tecnología Bt tras su liberación. Aunque tal supuesto, sin duda, sobre-estima el potencial de adopción de dicha tecnología, su ventaja consiste en mostrar de forma clara el límite superior de los posibles efectos de su liberación.

Los resultados del modelo sugieren que la adopción de variedades Bt de maíz podría tener efectos muy heterogéneos, mostrando variaciones importantes en la producción de distintas zonas—i.e., aumentos de entre 4.7 y 15% en el volumen de la producción. Sus implicaciones en el ingreso neto del sector maicero podrían ser igualmente variables, pero su impacto en el ingreso total, tanto de productores maiceros como de la población en general, parecería consistentemente escaso, salvo en la zona irrigada de Sinaloa, donde el ingreso total de productores podría aumentar 2.6%. Sin embargo, la materialización de tales beneficios dependería de la presencia de mercados perfectos para el grano. La concentración de la demanda del grano, por parte de grandes empresas comercializadoras con amplio

poder de mercado, podría, en un caso extremo, limitar el aumento en la producción de maíz a entre 0.0 y 2.9%, así como generar pérdidas en el ingreso de hasta 4.1% para productores y 3.1% para otros agentes en la región. Incluso en estas condiciones, los productores se verían forzados a adoptar la tecnología para optimizar su ingreso.

En resumen, la incertidumbre en torno a las posibles implicaciones de la tecnología Bt en la productividad del maíz en México, así como su dependencia en las condiciones agronómicas, institucionales y geográficas imperantes, demuestran la necesidad de considerar la política maicera, en su conjunto, para vislumbrar los posibles costos y beneficios de su liberación comercial. Aspectos institucionales de su comercialización, en particular, podrían tener efectos importantes en los precios de la semilla y el grano, con repercusiones cruciales en la distribución de dichos costos y beneficios.

Aquí cabe mencionar que las limitaciones del presente estudio incluyen no solo i) la incertidumbre en torno a las implicaciones de la tecnología Bt en la productividad de distintos factores al nivel de la unidad productiva, sino también, ii) la falta de consideración de los efectos indirectos (o de equilibrio general) en la estimación econométrica, realizada en otros países, de dichas implicaciones y iii) la ausencia de estudios longitudinales, incluso en otros contextos, que nos permitan considerar la importancia relativa de dichos efectos indirectos en las decisiones de productores que adoptan o no adoptan la tecnología. Otras limitaciones importantes incluyen la cantidad y calidad limitadas de los análisis disponibles de la política maicera en México y sus implicaciones. El siguiente paso en el análisis de los costos y beneficios potenciales de la tecnología GM en el sector maicero mexicano consistiría en reducir la amplia incertidumbre asociada al tema.

1. Introducción

Los costos y beneficios de los cultivos genéticamente modificados (GM) han sido objeto de muy diversos análisis a lo largo de las últimas dos décadas (Lusk et al., 2005; Smale et al., 2006a,b; Qaim 2009; Carpenter 2003a,b; Finger et al., 2014). Quizás la mayoría han sido análisis ex post a nivel de la unidad productiva, basados en el registro de observaciones de campo durante el proceso de adopción de esta tecnología. Otros, por el contrario, han sido análisis ex ante, particularmente al nivel de la economía de una región entera, basados en la simulación de escenarios futuros.

La diversidad de estos análisis refleja el alcance de las preguntas planteadas en cada estudio y la importancia de la información disponible en un momento determinado. Aquí, por ejemplo, nos planteamos dilucidar la distribución de los posibles costos y beneficios de la adopción de maíz Bt en México entre distintos sectores de la población. Pero, dado que esta tecnología no se ha liberado comercialmente en México, nuestro análisis es, necesariamente, ex ante.

Al mismo tiempo, la diversidad de los análisis realizados en otros países sugiere consideraciones metodológicas que no pueden ignorarse, pues es indudable que la selección de fuentes de información y métodos utilizados incide en las conclusiones de cada análisis (Lusk et al., 2005; Smale et al., 2006a,b). Lo anterior es relevante aquí pues este estudio se basa en la simulación de escenarios a nivel regional a partir de un modelo de agentes en el contexto de la economía rural mexicana, lo cual implica una compilación y síntesis de resultados existentes a diversas escalas, particularmente la de la unidad productiva. Es evidente que, dada la escasez de información en la materia en México, los métodos y supuestos de nuestro análisis deben justificarse con particular claridad.

Comenzamos este reporte describiendo los tipos de análisis realizados sobre el tema en contextos similares al nuestro, sus fundamentos metodológicos y sus resultados. También explicamos cómo dichos resultados han sido utilizados en el análisis de las consecuencias de la tecnología GM a nivel de la economía en su conjunto. En una segunda sección presentamos la metodología utilizada en este proyecto, incluyendo el modelo y la naturaleza de los escenarios analizados. El reporte y discusión de los resultados de dichos escenarios se presentan en la sección 3, seguidos de algunas reflexiones sobre el tema a manera de conclusión, en la sección 4.

Análisis a nivel de la unidad productiva

El nivel más elemental de análisis, en la materia que nos compete, es el de la unidad productiva, y el análisis más básico a este nivel consiste en un ejercicio de contabilidad, comúnmente denominado presupuesto parcial (i.e., *partial budget*). La finalidad del presupuesto parcial es comparar los flujos materiales y pecuniarios (i.e., ingresos y gastos) derivados del uso de tecnologías alternativas, es decir, variedades convencionales y GM de un cultivo particular (Smale et al., 2006a, b). Dicho análisis ofrece información relevante en torno a la adopción de la tecnología GM, pero el alcance de las inferencias basadas en esta información es limitado. Por una parte, los presupuestos parciales no siempre se acompañan de pruebas estadísticas de diferencias entre medias para ambas tecnologías (véase, p.ej., Qaim y Zilberman, 2005; Qaim y Traxler, 2005). Por otra parte, incluso cuando dichas pruebas se realizan, no es posible atribuir con certeza las diferencias a una u otra tecnología debido a la falta de independencia de las variables en cuestión (Smale et al., 2006a,b). Por ejemplo, posibles diferencias en los rendimientos observados de una variedad convencional y otra GM de un mismo cultivo pueden deberse tanto a la tecnología contenida en la semilla como al uso diferenciado de insumos productivos entre tecnologías (Smale et al., 2006a,b).

Un análisis más sofisticado consiste en la explicación estadística de las implicaciones de distintas tecnologías a través de una regresión multivariada, controlando el efecto que múltiples variables independientes, incluyendo la adopción de variedades GM, tienen sobre una variable dependiente particular, comúnmente el rendimiento del cultivo o, en algunos casos, los ingresos del productor. Estudios de esta índole, realizados en otros países, generalmente presentan regresiones econométricas de forma reducida, lo cual significa que la ecuación estimada no contempla las relaciones funcionales entre las variables dependiente e independientes sino, exclusivamente, los efectos finales de éstas últimas en la primera (Smale et al., 2006a). Salvo casos aislados, dichas estimaciones no se fundamentan en un modelo teórico (económico) formal, lo cual limita la interpretación de sus resultados, por ejemplo, en torno al efecto de la tecnología GM en la productividad del cultivo.

La solución a esta limitación particular yace en la estimación de funciones de producción para cada tecnología, lo cual deriva en la obtención de parámetros directamente asociados a la productividad de factores específicos, i.e., mano de obra, capital o tierra. La forma funcional utilizada en una estimación particular es determinante. Una forma funcional ampliamente usada para representar la producción agrícola es la función Cobb-Douglas (Huang et al., 2002; Qaim & de Janvry; Yorobe & Quicoy, 2006; Mutuc et al. 2011), que es la función utilizada en nuestro modelo (véanse Apéndices 1 y 2). Diversos

autores argumentan que, para evitar sesgos en su estimación, es necesario no introducir el uso de la tecnología GM directamente en la función de producción sino en una función adicional denominada de control de daño (Qaim y de Janvry, 2005; Mutuc et al., 2011). Sin embargo, son pocos los estudios que reportan la estimación de funciones de producción con estas características. Una limitación adicional es que, en la mayoría de los casos, no se estiman funciones separadas para cada tecnología, sino una sola en que la característica GM se incluye como variable independiente. No obstante que la función resultante identifica el efecto de la tecnología GM en la producción, su efecto en la productividad de los distintos factores no puede distinguirse.

Análisis a nivel de la economía en su conjunto

El análisis de los efectos de una tecnología al nivel de la unidad de producción ignora, necesariamente, sus efectos a otros niveles—por ejemplo, al nivel del mercado o de la economía en su conjunto. Más específicamente, el análisis al nivel de la unidad productiva ignora diversos efectos en los precios que inciden en el contexto económico bajo el cual ocurre el proceso de adopción. Las implicaciones de cambios en los precios en el resto de la economía influyen sobre las mismas decisiones de la unidad productiva que adopta la tecnología. En otras palabras, los efectos indirectos de la tecnología GM suscitan una respuesta, por parte de los productores, que los análisis econométricos a nivel de la unidad productiva no controlan y rara vez consideran. En este sentido, podemos decir que los análisis econométricos realizados hasta la fecha omiten variables fundamentales que determinan el proceso de adopción y sus repercusiones en la producción y el ingreso. Como explicaremos más adelante, la omisión de variables, en general, introduce sesgos en la estimación de las ventajas de los cultivos GM.

Por otra parte, los efectos al nivel de la economía son, naturalmente, el objeto de estudio de modelos de la economía en su conjunto, que incluyen a los modelos de equilibrio general aplicados (MEGA) (Hertel, 1997). Dichos modelos incorporan, como parte fundamental de su estructura, funciones de producción para diversos sectores agrícolas—y en el caso de análisis de la tecnología GM, para distintas variedades de un mismo cultivo (e.g., Huang et al., 2004). En este sentido, los MEGA no constituyen una metodología alternativa al análisis econométrico de la tecnología GM, sino complementaria. Por una parte, estos modelos abordan las implicaciones de dicha tecnología al nivel de la economía en su conjunto, que el análisis econométrico al nivel de la unidad productiva ignora; por otra parte, el análisis

econométrico de cambios en la productividad es un insumo esencial para los modelos de equilibrio general.

Análisis a nivel de la economía publicados hasta la fecha se basan en modelos de la economía de uno o varios países, e incluso de la economía global. Se han realizado análisis de la liberación de cultivos GM en China (Huang et al., 2004; Anderson y Yao, 2003), Asia (Hareau et al., 2004), Africa Occidental (Elbehri y Macdonald, 2004), Africa Sub-Sahara (Anderson y Jackson, 2005a), Australia y Nueva Zelanda (Anderson y Jackson, 2005b) y la Unión Europea (van Meijl y van Tongeren, 2002), entre otras regiones, así como a nivel global (Anderson et al., 2004, 2005, 2008; Frisvold y Reeves, 2007; Frisvold et al., 2006).

La escala geográfica de los análisis anteriores permite a sus autores abordar temas fuera del alcance de estudios a otros niveles, como son los efectos de la tecnología GM en el comercio internacional y sus beneficios para los consumidores. Otros temas, sin embargo, requieren un grado de detalle difícil de alcanzar con un MEGA, como es la distribución de costos y beneficios al interior de un país. En general, estos modelos suponen la existencia de productores y consumidores representativos (Hertel, 1997), de forma que tanto las decisiones de amplios grupos de agentes como las repercusiones en su ingreso resultan uniformes, lo que constituye una simplificación de la realidad con implicaciones en el diseño de políticas.

No obstante que el supuesto de la existencia de agentes representativos es común en los MEGA, este no es inherente al análisis al nivel de una economía. El modelo que aquí utilizamos para analizar los posibles efectos de la adopción de maíz Bt en México es, precisamente, un MEGA, pero a su vez, un modelo de agentes (Dyer et al., 2014). Esto significa que el modelo considera las implicaciones de dicha tecnología en las relaciones económicas de múltiples unidades productivas y, simultáneamente, sus repercusiones en la economía en su conjunto (Dyer et al., 2006). El modelo también considera agentes que, no siendo productores agrícolas, están ligados al sector agrícola a través de otros mercados (Dyer et al., 2006; Dyer y Taylor, 2011; Dyer et al., 2012).

Ya que los resultados de nuestro análisis dependen de diversos supuestos en torno a los efectos de la tecnología en la productividad de la unidad productiva, a continuación abordamos, nuevamente, los análisis publicados en torno a este último tema para conocer sus limitaciones.

Limitaciones metodológicas de análisis a nivel de la unidad productiva

Entre los contados estudios que han revisado los métodos utilizados para dilucidar el impacto económico de los cultivos GM a nivel de la unidad productiva destacan los realizados por Smale et al. (2006a,b). Estos autores identifican diversas limitaciones metodológicas en la literatura sobre el tema. Algunas de estas, como la omisión de variables y problemas asociados de endogeneidad y selección, son francas deficiencias respecto a lo que es considerado una buena práctica econométrica, pues existen métodos convencionales para su detección y corrección. Otras limitaciones, como la ausencia de consideración del contexto institucional en el proceso de adopción, son, desafortunadamente, comunes en el análisis econométrico (Sahai, 2003; Witt et al., 2006). Por otra parte, deficiencias en el muestreo y levantamiento de encuestas han derivado en el uso de contra-factuales inapropiados para evaluar las ventajas comparativas de cada tecnología. En principio, dicha evaluación requiere de comparar variedades GM con sus isóneas no-GM. En la práctica, sin embargo, las repercusiones de su adopción dependen de múltiples factores adicionales, como la disponibilidad de variedades alternativas y, más en general, el contexto en que ocurre el proceso de adopción. Son escasos los estudios que consideran estas diferencias (Smale et al., 2006a,b).

La importancia de problemas de selección y endogeneidad (de variables erróneamente consideradas independientes) radica en el sesgo que introducen en la magnitud o, incluso, el sentido de los efectos estimados. El sesgo de autoselección ocurre cuando la adopción de una tecnología novedosa está influenciada por características de los productores que no pueden observarse directamente, como es su capacidad empresarial. Si esta capacidad no es considerada, sus efectos pueden atribuirse, erróneamente, a la tecnología (Smale et al., 2006a,b). Efectivamente, estudios que han abordado el problema han constatado la ocurrencia de autoselección en la adopción de los cultivos GM, lo cual sugiere la presencia, en otros estudios, de sesgos en la estimación de sus efectos sobre el rendimiento e ingreso (Mutuc et al., 2011; Yorobe y Smale, 2012).

Un problema relacionado es el sesgo de locación (Yorobe y Smale, 2012). Cuando la liberación de variedades GM, así como el análisis de sus consecuencias, se restringe a zonas donde sus ventajas son superlativas, suele concluirse, erróneamente, que estas son representativas de zonas más amplias (Smale et al., 2006a,b). Desafortunadamente, son escasos los estudios que han abordado este problema (Yorobe y Smale, 2012).

Por otra parte, una deficiencia particular de muchos presupuestos parciales consiste en reportar sólo márgenes brutos de ganancia, que excluyen costos asociados al uso de mano de obra, capital y tierra (Smale et al., 2006a). Otra deficiencia común a todo tipo de análisis es el énfasis en transacciones de mercado y, consecuentemente, la falta de consideración de insumos y factores familiares y sus costos de oportunidad, que frecuentemente difieren de los precios del mercado (Smale et al., 2006a). También importante es el énfasis exclusivo en el cultivo de interés, dejando de lado los efectos indirectos de la adopción de la tecnología en otras actividades de la unidad productiva, como es el empleo fuera del campo (Smale et al., 2006a). Una excepción al punto anterior es el análisis de Yorobe y Smale (2011) para hogares productores en Filipinas, donde se reporta el efecto de la adopción de maíz Bt en el ingreso neto en el cultivo, el ingreso fuera del campo y el ingreso total del hogar (véase abajo).

Limitaciones metodológicas de los análisis a nivel de la economía

La escasez de estimaciones de funciones de producción adecuadas ha tenido repercusiones sobre la modelación de escenarios a partir de MEGAs, pues ha forzado a los analistas a calibrar sus modelos a partir de hechos estilizados, principalmente con base en presupuestos parciales. Más específicamente, la práctica ha consistido en introducir cambios presuntamente exógenos en i) el rendimiento del cultivo y, en ocasiones, ii) la mezcla de insumos y factores utilizados, todo lo cual, se presume, es directamente atribuible a la adopción de cultivos GM. Sin embargo, como ya mencionamos, el comportamiento registrado en presupuestos parciales (o, en general, en estudios al nivel de la unidad productiva) ya refleja los impactos indirectos de la adopción la tecnología en la economía.

Al ignorar que las decisiones tanto de aquellos que adoptan cultivos GM como de quienes no lo hacen reflejan no sólo diferencias tecnológicas sino los cambios en las condiciones económicas resultado del proceso de adopción, el análisis econométrico incurre en la omisión de variables relevantes—i.e., precios cambiantes—que, muy probablemente, sesgan la estimación de los efectos directos de la tecnología.¹

¹ En este sentido, debe notarse que son escasos los estudios que han documentado las condiciones de producción antes y después de la adopción de la tecnología GM. En la mayoría de los casos, los analistas infieren estos cambios a partir de diferencias observadas, en un solo momento, entre unidades productivas que han adoptado dicha tecnología y unidades que no lo han hecho.

Al utilizar dichas estimaciones en la calibración de sus modelos, introduciéndolos como cambios exógenos (al modelo), los investigadores introducen ex ante la respuesta de productores a procesos de equilibrio general. Más precisamente, la mezcla de insumos y factores utilizados y, por consiguiente, el rendimiento del cultivo son función del contexto económico particular que enfrentan los productores—específicamente, precios de mercado y costos de oportunidad a nivel hogar—que a su vez son influidos por la adopción de dicha tecnología. Una consecuencia de este hecho es que la modelación ex post de un escenario no necesariamente reproduce el comportamiento observado. Por ejemplo, una disminución inicial en la productividad de la mano de obra directamente debida a la tecnología tendería a reducir el uso de mano de obra y, por consiguiente, el salario, lo cual mitigaría la reducción de la demanda de mano de obra observada originalmente, aumentando, simultáneamente, la productividad de otros factores de la producción.

Como hemos dicho, las estimaciones relevantes son las asociadas a los cambios en el rendimiento del cultivo y/o la mezcla de insumos y factores utilizados tras la adopción de cultivos GM. Los primeros intentos por estudiar los efectos de la tecnología GM en la economía en su conjunto adoptaron el supuesto de que el aumento en productividad sería neutro (Anderson & Yao, 2003; Anderson y Jackson 2005a,b; Anderson et al., 2005; Anderson et al., 2008), es decir, un aumento que no implica, desde el punto de vista agronómico, cambios cuantitativos en el uso de los tres factores productivos: mano de obra, tierra y capital. Un cambio neutro supone que la tecnología reduce todos los costos de la producción uniformemente. El supuesto no es inocuo. Huang et al. (2004) argumentan que el impacto de la tecnología GM es, típicamente, sesgado a favor de un factor particular; es decir, el costo de los distintos factores productivos se reduce en distinto grado. En el caso del algodón Bt, por ejemplo, Pray et al. (2001) reportan reducciones significativas en el uso de pesticidas y la mano de obra utilizada en su aplicación, pero ningún cambio en el uso de fertilizantes y maquinaria. Con base en estas observaciones, Huang et al. (2004) suponen que el aumento en la productividad del algodón Bt simultáneamente reduce las necesidades de mano de obra (i.e., labor-saving technology). Elbehri & MacDonald (2004), por su parte, comparan las implicaciones de uno y otro supuesto en sendos escenarios. Estudios posteriores, en general, adoptan una combinación de ambos supuestos para distintos cultivos en un mismo escenario (Frisvold & Reeves 2007; Van Meijl & van Tongeren 2002). Van Meijl & van Tongeren (2002), por ejemplo, suponen un aumento neutro en la productividad del maíz y una reducción en el uso de mano de obra para soya, mientras que Frisvold & Reeves (2007) suponen aumentos neutros en la productividad del algodón Bt en varios países, salvo Sud-Africa, donde el supuesto es que el uso de tierra disminuye.

Simular escenarios asociados a los efectos de la tecnología GM requiere, adicionalmente, que el MEGA se calibre utilizando la fracción de la superficie sembrada bajo esta tecnología, es decir, su grado de adopción en un área particular. Algunos estudios, particularmente los que analizan las consecuencias de la tecnología ex post, utilizan estimaciones de la fracción que ha sido destinada a la tecnología GM. Los estudios ex ante, por el contrario, suponen, de forma más o menos arbitraria, la fracción que pudiera ser destinada a dicha tecnología.

Aumentos en la productividad de la unidad productiva

La revisión de los análisis realizados en otros países sugiere, en general, que, no obstante amplia variación, la tecnología GM genera vastos aumentos en la productividad de diversos cultivos y, por consiguiente, en el ingreso de los productores que los adoptan (Carpenter, 2003a,b; Qaim, 2009; Brookes y Barfoot, 2014). Por ejemplo, Qaim (2009) concluye, a partir de 16 estudios, que los efectos de la tecnología Bt en el aumento en productividad y el margen bruto de ganancias “se observan *internacionalmente*”. Sus observaciones se aplican tanto al algodón Bt como al maíz Bt. En este último caso, Qaim (2009) observa aumentos en productividad de entre 5%, en los Estados Unidos, y 34% en las Filipinas. Diversos autores afirman que los mayores aumentos, frecuentemente observados en países en desarrollo, se deben a la ineficiencia de métodos alternativos para el control de plagas (Qaim, 2009; Carpenter, 2013a,b; Brookes y Barfoot, 2014). En los países desarrollados, por el contrario, las ventajas de los cultivos Bt frecuentemente se restringen a la reducción en el gasto en insecticidas.

Más recientemente, Brookes y Barfoot (2014) concluyen, tras la revisión de 49 estudios, que los cultivos Bt “han ofrecido mayores ingresos a través de mejores rendimientos *en todos los países*.” Revisiones más exhaustivas, sin embargo, demuestran la ausencia de un consenso. Carpenter (2003a) reporta que de 168 estudios publicados, 124 encuentran aumentos en productividad asociados a la adopción de cultivos GM, mientras que 32 no encuentran diferencias con variedades convencionales y 13 indican pérdidas. De acuerdo a esta autora, en países en desarrollo, los aumentos promedian 30% para el algodón Bt y 16% para el maíz Bt.

Cabe notar que la mayoría de las generalizaciones anteriores se basan en apreciaciones informales. Por el contrario, tras realizar un meta-análisis de estudios publicados, Finger et al (2011) enfatizan la imposibilidad de generalizar los resultados observados en distintos países debido a su gran heterogeneidad. Una regresión de las cifras reportadas en 454 estudios sobre el algodón Bt, por

ejemplo, sugiere un aumento de 46% en el rendimiento con respecto a las variedades convencionales. Sin embargo, el aumento es significativo sólo en India (ca. 50%), donde se ha realizado el mayor número de estudios. Con respecto al maíz, los autores encuentran, a partir de 177 estudios, que la adopción de variedades Bt no tiene un efecto significativo en la productividad del cultivo. Al mismo tiempo, ellos afirman, las cifras reportadas, para maíz, en materia de márgenes brutos de ganancia en distintos estudios son insuficientes para realizar un análisis estadístico (Finger et al., 2011).

Las causas de la heterogeneidad de los resultados son diversas e incluyen, entre otras, i) la fuente y representatividad de los datos, ii) las condiciones meteorológicas, iii) los métodos alternativos de control de plagas y iv) el grado de incidencia de las mismas.

Con respecto a los datos utilizados, varios estudios se basan en información proveniente de ensayos agronómicos—generalmente realizados por empresas semilleras—que carece de representatividad (Sahai, 2003). Quizas el caso más mencionado es el estudio de Qaim y Zilberman (2003), quienes reportan aumentos de 83% en la productividad del algodón en India asociados al uso de variedades Bt. Como ya mencionamos, el promedio de múltiples estudios sugiere un aumento muy inferior, i.e., alrededor del 50% (Finger et al., 2011).

La presencia de sesgos de selección y locación, en muchos estudios, probablemente sobre-estima la productividad de los cultivos GM, constituyendo una fuente adicional de error. Por otra parte, diversos autores explican la variación temporal en sus observaciones como un efecto de las condiciones meteorológicas (Thirtle et al., 2003; Bennet et al., 2006; Mutuc et al., 2011). Mutuc et al. (2011), por ejemplo, encuentran que, en Filipinas, el uso de variedades Bt tuvo un efecto significativo en los rendimientos del maíz cuando las condiciones meteorológicas fueron pobres pero no cuando estas fueron normales.

Como ya apuntamos, se ha sugerido que el uso diferenciado del control de plagas explica algunas diferencias en el rendimiento observadas entre países en desarrollo y desarrollados. La contribución de insecticidas no consiste en elevar el potencial de rendimiento de un cultivo, sino en reducir las posibles pérdidas por plagas. Esto significa que la ventaja en rendimiento de la tecnología Bt ocurre en un contexto en que otros métodos de control son deficientes o están ausentes, como es frecuentemente el caso en países en desarrollo. Sin embargo, dicha ventaja se manifiesta sólo en la medida que la incidencia de plagas es considerable. En ensayos agronómicos en Honduras, Falck-Zepeda et al. (2012) encontraron que la baja incidencia de plagas no ameritaba el uso de insecticidas o de la tecnología Bt,

no obstante que esta última sea eficaz en el control de *Spodoptera frugiperda*—una de las principales plagas en el contexto hondureño y el mexicano (Blanco et al., 2014).

Si nuestro interés está en estudios sobre los impactos del maíz Bt practicados en contextos similares al mexicano, con el fin de identificar información que pueda usarse en la calibración del modelo, hemos de enfocarnos en los realizados en Filipinas y Honduras, que, como el nuestro, son países tropicales en desarrollo. En Filipinas se han publicado al menos tres estudios sobre las repercusiones de la tecnología Bt en la producción maicera y el ingreso de los productores del sector (Yorobe y Quicoy 2006; Mutuc et al., 2011; Yorobe y Smale, 2012). Yorobe y Quicoy (2006) encontraron que la adopción de maíz Bt tuvo un impacto positivo en el rendimiento del cultivo y el ingreso neto de los productores. De acuerdo a sus estimaciones, el maíz Bt ofrece rendimientos superiores en 34%, en promedio, al de variedades convencionales, al tiempo que implica una reducción de 48% en el costo de la aplicación de insecticidas. En dos de las cinco localidades estudiadas, sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre maíz Bt y otros maíces.

Los mismos autores estiman, adicionalmente, que la adopción de maíz Bt aumenta significativamente el ingreso neto de los productores, beneficios que representan el 4% del costo de producción. Su estudio sufre varias limitaciones metodológicas, sin embargo, que incluyen la ausencia de información sobre el contra-factual utilizado; es decir, se comparan, sencillamente, unidades de producción que adoptaron maíz Bt y unidades que siembran otros maíces (Yorobe y Quicoy, 2006). Por lo mismo, no es posible atribuir con certeza las diferencias observadas exclusivamente a la tecnología Bt. El estudio tampoco aborda el sesgo asociado a problemas de endogeneidad y selección en dicha estimación, que otros autores han detectado en Filipinas (Mutuc et al., 2011; Yorobe y Smale, 2012). Curiosamente, Yorobe y Quicoy (2006) citan cifras que ubican las pérdidas por daños causados por insectos entre 4 y 31% de la producción, es decir, inferiores a las presuntas ventajas de la tecnología Bt en el rendimiento del cultivo.

Yorobe y Quicoy (2006) estiman una función de producción de la forma Cobb-Douglas para el cultivo de maíz. De acuerdo a la función estimada, el uso de tecnología Bt eleva significativamente la productividad, mientras que la mano de obra no contribuye significativamente a la producción. Como es claro, este resultado es, en el mejor de los casos, intrigante. Más aun, la función estimada no incluye capital, que es otro de los factores esenciales a la producción agrícola, de tal forma que el ejercicio no ofrece parámetros útiles a nuestros propósitos.

Mutuc et al. (2011) utilizan una función de control de daño para comparar la contribución relativa de insecticidas y tecnología Bt a la productividad del maíz en Filipinas en 2003 y 2007. Tras identificar y controlar los problemas de endogeneidad y selección, estos autores encuentran que los insecticidas no redujeron significativamente el daño por plagas. La tecnología Bt, por su parte, redujo el daño en 2007 pero no en 2003. Ellos concluyen que las ventajas del maíz Bt se observan sólo bajo condiciones meteorológicas desfavorables, aumentando el rendimiento del cultivo hasta en 45%. Yorobe y Smale (2012), por su parte, encuentran que el uso de maíz Bt tiene un efecto notable en la economía de los productores filipinos, aumentando significativamente el ingreso neto de la unidad productiva, el ingreso no agrícola (i.e., *off-farm*) y el ingreso total del hogar productor. Según sus cálculos, el maíz Bt ha reducido la incidencia de la pobreza en la zona de estudio. Sin embargo, tanto este estudio como el anterior no controlan el sesgo de locación en su muestreo, que pareciera ser importante (Yorobe y Smale, 2012).

El caso de Honduras es, quizás, más relevante a nuestros propósitos dada su cercanía geográfica con México, además de diversas similitudes entre el sector maicero de ambos países. En Honduras, como en México, conviven los sectores maiceros comercial y de autoconsumo, pues el maíz es un alimento básico en la dieta de la población. Para el caso de Honduras, Falck-Zepeda et al (2012) presentan resultados que involucran ensayos agronómicos así como observaciones entre productores. A partir de los primeros, los autores reportan que la incidencia de plagas fue menor en maíz Bt que en su isolínea no-GM y una variedad mejorada de polinización abierta (i.e., no híbrida). No obstante, como dijimos anteriormente, en ningún caso la incidencia de plagas ameritó el uso de insecticidas. Otros ensayos sugieren aumentos en rendimiento asociados al maíz Bt de 17% sobre su isolínea (y de 36% sobre la variedad de polinización abierta, que no es un contra-factual apropiado).

Entre productores grandes, los autores encontraron que las diferencias en productividad fueron desde nulas hasta equivalentes a un aumento de 44%. Como en muchos otros estudios, los resultados no son representativos del sector por lo que, a decir de sus autores, el análisis debe considerarse un “estudio piloto” (Falck-Zepeda et al, 2012). A saber, el estudio no aborda o corrige posibles problemas de endogeneidad y selección, por lo que sus estimaciones muy probablemente sufren sesgos importantes.

Como hemos dicho, en principio, la tecnología Bt podría ser eficaz en el control de *Spodoptera frugiperda*, la principal plaga del maíz en México (Blanco et al., 2014). Sin embargo, como se sabe, no existen estimaciones publicadas en torno al posible impacto de la tecnología GM en la producción de maíz en el país, incluyendo el posible aumento en su productividad. Dada la idiosincrasia del sector

maicero nacional—e.g., la heterogenidad del sector y la condición del país como centro de origen y diversidad del cultivo—el impacto de dicha tecnología podría variar sustancialmente en diversas zonas del país. Por lo mismo, sería deseable contar con algún indicador del posible efecto de la tecnología Bt, a nivel de la unidad de producción, particularmente donde su liberación comercial es probable.

Como consecuencia del Régimen Especial de Protección al Maíz, establecido en la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados, la liberación comercial de variedades GM de éste cultivo podría restringirse a zonas específicas del norte del país. Cabe notar que, de las 35 solicitudes de liberación experimental presentadas entre 2009 y 2016, la abrumadora mayoría han sido para los estados del norte de México (SAGARPA-SENASICA, sf). Este es, por consiguiente, el contexto geográfico en que cabe valorar los costos y beneficios del uso de maíz Bt en México.

Asociado a las liberaciones anteriores se realizaron ensayos agronómicos organizados por compañías semilleras en colaboración con diversas instituciones de educación superior de la región.

Desafortunadamente, los resultados de dichos ensayos no han sido publicados. Piña y Solleiro (2013), sin embargo, citan datos generados a partir de dichos ensayos para afirmar que, contrario a lo que otros afirman, el maíz Bt constituye un método eficaz en el control de las plagas mexicanas. Según estos autores, los datos generados sugieren aumentos en rendimiento de entre 6 y 10% para el maíz Bt, pero, los mismos autores advierten, dada su naturaleza experimental, estas cifras no serían representativas de la producción comercial en el norte del país.

Chauvet y Lazos (2014) reportan que, en el estado de Sinaloa, grandes productores maiceros experimentan entre 5 y 10% de pérdidas por plagas, por lo que las ventajas asociadas al control eficaz de las mismas—e.g., a través del maíz Bt—resultarían, en el mejor de los casos, en aumentos equivalentes en la productividad del cultivo. Estas autoras reportan también presupuestos parciales asociados al cultivo para productores pequeños, medianos y grandes. El gasto en el control de plagas representa entre 1.2% y 3.8% del gasto total para productores medianos y grandes. La cifra es de 7.2% para los productores pequeños, que, sin embargo, cultivan variedades tradicionales (no mejoradas) de maíz. La semilla, en comparación, representa entre 30 y 32% de los costos de producción para productores medianos y grandes. Siendo que los productores pequeños cultivan variedades tradicionales, el costo de la semilla es despreciable.

La disminución en los costos de aplicación de insecticidas a través del uso de variedades Bt, supondría una disminución proporcional en la mano de obra asociada. Desafortunadamente, las cifras reportadas

por Chauvet y Lazos (2014) no desglosan el costo de diversos factores productivos—i.e., mano de obra, capital y tierra—por lo que no son de utilidad en la calibración de un MEGA.²

Un último referente sobre el posible impacto del uso del maíz Bt en México radica en las estimaciones realizadas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en el marco de la determinación de los centros de origen y diversidad del maíz (SAGARPA, 2012). Dichas estimaciones son parte integral de la Manifestación de Impacto Regulatorio asociada a la publicación del Acuerdo por el que se determinan dichos centros y, por lo tanto, forman parte de la política pública en este tema. El propósito de la Manifestación es definir los costos de la regulación ambiental en materia de maíz GM. De acuerdo a la documentación que acompaña a esta, se espera que el cultivo de variedades GM haga posible un aumento de 4.5% en el rendimiento del cultivo. El supuesto parece razonable dado que el sector maicero, en el norte del país, obtiene rendimientos similares a los observados en los Estados Unidos. Según datos publicados por Carpenter (2013a), distintos estudios practicados en ese país ubican el aumento en productividad conferido por el maíz Bt entre 2.0 y 9.0%. Cabe recordar, sin embargo, que Finger et al. (2014) no encuentran que dichos aumentos sean estadísticamente significativos.

Uso y adopción de variedades mejoradas

Un parámetro de suma importancia en todo análisis de equilibrio general sobre los costos y beneficios de variedades genéticamente modificadas, incluido el maíz Bt, es la superficie en que los productores las siembran. Obviamente, en México, donde aún no se libera comercialmente ninguna de estas variedades de maíz, el análisis requiere de un escenario predictivo—i.e., la estimación *ex ante* de su posible alcance. ¿En qué superficie pudieran sembrarse dichas variedades en un futuro posible? En tal disyuntiva, el mejor indicador *ex ante* pudiera ser el estado actual de la adopción de variedades híbridas en México: en su definición, esta es la categoría en que se ubican las variedades Bt, pero en términos prácticos es, también, la expresión de su presunto límite territorial. Si estuviéramos dispuestos a suponer, adicionalmente, que las variedades Bt podrían expandir la frontera de su extensión actual, entonces habríamos de concluir que igualmente importante es estimar la tasa de adopción per se. Es decir que,

² Cabe mencionar que lo mismo puede decirse de la información disponible a través de Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA), que excluye el costo de capital y tierra <<http://www.fira.gob.mx/Nd/Agrocostos.jsp>>.

en lo sucesivo, hemos de distinguir entre a) el estado (o grado) actual de adopción y 2) la tasa de adopción.

La información de la Encuesta Nacional de Hogares Rurales de México (ENHRUM) no muestra cambios significativos en la proporción de hogares mexicanos que sembró uno u otro tipo de maíz—i.e., criollo o mejorado—en 2002 y 2007 ($X^2_{(2)} = 4.3$; $P > 0.5$). En promedio para ambos años, 85% de los hogares sembró exclusivamente maíces criollos, 13% exclusivamente mejorados y sólo 2% sembró ambos tipos simultáneamente (Cuadro A).

Cuadro A. Porcentaje de hogares mexicanos que sembró maíces mejorados y criollos en 2002 y 2007

	México	Sureste	Centro	Occidente	Noroeste	Noreste
2002						
Exclusivamente mejorados	11.1	3.5	5.3	23.9	63.6	25.0
Mejorados y criollos	2.6	2.0	1.8	8.5	0.0	0.0
Exclusivamente criollos	86.3	94.5	92.9	67.6	36.4	75.0
N	495	201	169	71	22	32
2007						
Exclusivamente mejorados	14.8	7.6	9.7	34.7	60.7	4.8
Mejorados y criollos	1.6	1.1	1.1	4.2	0.0	2.4
Exclusivamente criollos	83.6	91.4	89.2	61.1	39.3	92.9
N	513	185	186	72	28	42

Se observan marcadas diferencias regionales, no obstante. La proporción de hogares que sembró maíces mejorados, en 2002, fue mayor en el noroeste—donde 63.6% de los hogares los sembraron—y menor en el sureste y centro, donde sólo 5.5 y 7.1% lo hicieron (Cuadro A). Es de notar, también, que la proporción que sembró maíces mejorados en el noreste fue 25%, es decir, menor que el 32.4% que lo hizo en el occidente de México.

Una vez conocido el grado de adopción del maíz mejorado en distintas regiones, podríamos adelantar una hipótesis en torno a su tasa de cambio. Desde un punto de vista teórico, por ejemplo, lo más

parsimonioso sería sugerir que—siendo la derivada de una función que se presume sigmoideal, según lo reportado en la literatura para los EUA—la tasa de cambio podría ser mayor donde el grado de adopción no es singularmente alto o bajo, sino intermedio. Como puede colegirse, la expectativa sería encontrar una tasa de adopción relativamente elevada en el occidente y noreste de México, donde el grado de adopción oscila ahí entre el 25 y 32%. En contraste, dicha tasa sería reducida en el sureste y centro de México, donde la adopción es menor a 7.5%, así como en el noroeste, donde, por el contrario, alcanza 64%.

Diversas consideraciones prácticas sugieren, sin embargo, la necesidad de considerar hipótesis más complejas que la anterior. Por ejemplo, en la muestra es posible identificar dos grupos de hogares productores que adoptaron maíz mejorado entre 2002 y 2007. El primero está constituido por hogares que ya sembraban maíz en 2002, pero sembraban exclusivamente variedades criollas; el segundo, por aquellos que no sembraban ningún tipo de maíz en 2002. Como ha de anticiparse, la tentativa es que podrían ser varios los procesos—y diversas las funciones—que determinen la tasa de cambio en el proceso de adopción en distintas regiones de México.

Los estudios que han abordado la adopción de cultivares mejorados sugieren que, en países desarrollados, los productores podrían cultivar un sólo tipo de germoplasma como vía para maximizar su ingreso. En efecto, en los países en desarrollo, donde la disponibilidad de insumos y/o crédito es limitada, los productores frecuentemente optan por cultivar más de una variedad de maíz simultáneamente (Just y Zilberman 1988, Sadoulet y de Janvry 1995, Smale et al. 1994). En Chiapas, por ejemplo, las variedades mejoradas frecuentemente se cultivan en combinación con variedades nativas (Bellon y Risopoulos 2001, Bellon et al 2006). Smale et al. (1994) describen distintos factores que pudieran explicar esta situación, específicamente, en Oaxaca. Entre otros factores mencionan la actitud del agricultor ante el riesgo, que favorece la decisión de cultivar distintas variedades simultáneamente. En circunstancias distintas, la escasez, la incertidumbre u otras imperfecciones del mercado también pudieran actuar como factores limitantes del proceso de adopción (Just y Zilberman 1988, Sadoulet y de Janvry 1995, Smale et al. 1994). Circunstancias como estas han redundado en la coexistencia de ambos materiales en los campos agrícolas mexicanos (Bellon y Risopoulos 2001).

La relación básica que consideramos para examinar los efectos de la adopción de nuevas tecnologías en el bienestar de los hogares supone que esta última es una función lineal de una variable dicotómica, R_i , que representa la adopción de variedades mejoradas en una parcela particular, y un vector de variables independientes, X_i , que incluye factores sociales, agronómicos y geográficos. La forma explícita de la

función anterior puede ser la siguiente: $Y_i = \beta X_i + \delta R_i + \mu_i$, donde Y_i es el ingreso del hogar i en determinada parcela y μ_i es un error aleatorio. Por su parte, $R_i = 1$ cuando el hogar ha adoptado la nueva tecnología en la parcela particular y $R_i = 0$ en caso contrario. La decisión de adopción, por su parte, es un proceso de autoselección. Suponiendo que la respuesta del agricultor al riesgo es neutra (i.e., el agricultor es “neutral al riesgo”), la función que determina la adopción tecnológica puede tomar la siguiente forma: $R_i = \gamma X_i + \varepsilon_i$, donde R_i es una variable latente que denota la diferencia entre la “utilidad” asociada a la adopción de variedades mejoradas, U_{io} , y aquella asociada a la ausencia de adopción, U_{in} . El elemento aleatorio está dado por el error ε_i . Así entonces, el agricultor adoptará nuevas variedades cuando $R_i = U_{io} - U_{in} > 0$. En otras palabras, el término γX_i constituye un estimador del aumento en la utilidad asociado a la adopción usando factores sociales, agronómicos y geográficos como variables independientes.

Con el objeto de identificar el efecto, γ , de los factores, X_i , que determinan la adopción, R_i , de variedades mejoradas de maíz en México, se estimó el vector γ a partir de un modelo Probit, es decir, un modelo en el que la variable dependiente—i.e., adopción de variedades mejoradas de maíz—toma uno de dos posibles valores. R_i toma el valor “1” cuando el hogar i haya adoptado variedades mejoradas entre 2002 y 2007, y el valor “0” en los casos en que i no haya adoptado dichas variedades en el período mencionado. El modelo estima la probabilidad de que un hogar particular caiga en una de estas categorías.

Entre los factores sociales que, en principio, pudieran influir en la decisión de i se encuentran las características del jefe del hogar—específicamente su edad y educación—y del hogar, propiamente—por ejemplo, su etnicidad y el número de miembros que lo forman (Cuadro B). Estas variables son un elemento relativamente estándar en el análisis econométrico del comportamiento del hogar rural (Singh et al., 1986).

Entre los factores agronómicos que esperaríamos influyeran en la decisión de i se encuentran la experiencia del hogar en la siembra de maíz y su disponibilidad de tierra irrigada. Un análisis preliminar de los datos demuestra que, efectivamente, una alta proporción de los hogares mexicanos que siembran maíz mejorado cuenta también con tierra irrigada. Si la decisión de sembrar maíz en tierra irrigada fuera simultánea a la decisión de qué variedades de maíz utilizar, como es probable, la primera no sería un regresor independiente de la decisión de adoptar maíz mejorado. Como es evidente, la situación tendría una solución econométrica si fuera posible instrumentar la decisión de sembrar maíz en tierra irrigada. Desafortunadamente, la imposibilidad práctica de instrumentar adecuadamente una variable

irrigación nos impide, dada la información disponible, considerarla en la estimación econométrica de la decisión de adopción. Por lo anterior, el grupo de variables agronómicas está representado, en el siguiente análisis, exclusivamente por la participación del hogar *i* en el sector maicero con anterioridad al período de adopción, es decir, su cultivo del maíz en 2002 (Cuadro B). Más específicamente, en la muestra se reconocen dos grupos que adoptaron maíz mejorado en 2007. El primero está constituido por hogares que sembraban exclusivamente maíz criollo en 2002; el segundo por aquellos que no sembraban maíz de ningún tipo en 2002.

El tercer grupo de factores, los geográficos, está representado, en este caso, por variables *dummy* que identifican 4 de las 5 regiones geográficas del país, y 2 de las 3 zonas altitudinales en que se encuentra cada localidad (Cuadro B). Como se colige, la influencia de la quinta región geográfica—i.e., el noreste—y la tercera zona altitudinal—i.e., alta elevación—puede deducirse a partir del signo y magnitud del efecto relativo de las variables consideradas explícitamente en la regresión.

Cuadro B. Relación de variables utilizadas en el análisis econométrico de cambios en la adopción de variedades híbridas de maíz en México

Variables	Descripción
<i>Sociales</i>	
Edad	Edad del jefe del hogar en años
Educación	Educación del jefe del hogar en años
Tamaño del hogar	Número de miembros en el hogar
Etnicidad	“1” si el hogar se identifica como indígena, “0” si no se identifica así
<i>Agronómicas</i>	
Participación 02	“1” si el hogar participo en el sector maicero en 2002, “0” si no participó
<i>Geográficas</i>	
Sureste	“1” si el hogar reside en la región, “0” si reside en otras regiones
Centro	“1” si el hogar reside en la región, “0” si reside en otras regiones
Occidente	“1” si el hogar reside en la región, “0” si reside en otras regiones
Noroeste	“1” si el hogar reside en la región, “0” si reside en otras regiones

Elevación baja	“1” si la localidad se ubica en zona de baja elevación, “0” si se ubica en otras zonas
Elevación media	“1” si la localidad se ubica en zona de elevación media, “0” si se ubica en otras zonas

El Cuadro C reporta resultados de tres versiones de la regresión de la decisión de adopción. La columna 1 reporta resultados de un modelo que contempla, exclusivamente, factores sociales y agronómicos, es decir, variables de los grupos 1 y 2. De la misma forma, la columna 2 reporta resultados de la regresión sobre factores agronómicos y geográficos, es decir, exclusivamente variables de los grupos 2 y 3. Finalmente, la columna 3 reporta el modelo completo, i.e., su regresión sobre el conjunto total de factores a consideración: sociales, agronómicos y geográficos.

Como puede observarse en la columna 3, la variable *etnicidad* es el único factor social con influencia significativa en la decisión de adopción. A saber, los hogares indígenas muestran una propensión menor a adoptar maíz mejorado que los que no se identifican como tales. Con respecto a los factores geográficos, los resultados muestran que distintas regiones del país están asociadas a distintas probabilidades de adopción. Una vez que se controlan los efectos de otros factores—por ejemplo, su etnicidad—los hogares del noroeste del país resultan significativamente más propensos a adoptar variedades híbridas que aquellos en otras regiones del país. La diferencia más marcada es con hogares del noreste del país—i.e., en principio, los menos propensos a adoptar maíz mejorado. Es evidente, sin embargo, que la interacción estadística entre variables en distintos grupos de factores es poca (columnas 1 y 2), de forma que, en todo caso, el signo de sus efectos—aunque no su magnitud—pareciera independiente del control estadístico de otros grupos de factores.

Por último, la columna 3 muestra que la experiencia previa del hogar en el sector maicero disminuye la probabilidad de adopción de variedades híbridas. Es decir que son los hogares que no sembraron maíz sino hasta 2007 quienes muestran mayor propensión a adoptar maíz mejorado. Alternativamente, este resultado puede interpretarse como evidencia de que muchos hogares que ya sembraban maíz criollo en 2002 prefieren seguir sembrando este tipo de maíz en 2007.

Cuadro C. Factores que inciden en la probabilidad de adopción de maíz mejorado entre hogares maiceros mexicanos

	1) Factores sociales y agronómicos	2) Factores agronómicos y geográficos	3) Todos los factores
Edad	0.003 [0.008]		0.002 [0.008]
Educación	0.009 [0.034]		0.008 [0.039]
Tamaño del hogar	0.004 [0.042]		0.009 [0.048]
Etnicidad	-0.636*** [0.230]		-0.652** [0.320]
Participación 02	0.780*** [0.198]	0.885*** [0.222]	0.839*** [0.233]
Sureste		1.330** [0.558]	1.593*** [0.580]
Centro		1.136** [0.537]	1.134** [0.549]
Occidente		2.153*** [0.540]	1.999*** [0.549]
Noroeste		2.391*** [0.612]	2.253*** [0.631]
Elevación baja		0.292 [0.294]	0.503 [0.314]

Elevación media		0.746**	0.789**
		[0.300]	[0.313]
Constante	-1.431**	-3.228***	-3.343***
	[0.587]	[0.580]	[0.854]
N	320	324	320

* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Es de notar que los hogares que sembraron maíz en 2002 representan sólo una tercera parte del total que adoptó variedades híbridas en 2007; es decir, dos terceras partes del total constituyen hogares que no sembraron maíz en 2002. Siendo la influencia de la experiencia del hogar en el sector maicero significativamente negativa, resulta justificado un análisis en mayor detalle. En vista de lo anterior, se decidió repetir el análisis anterior para un subconjunto de la población—a saber, los hogares que ingresaron al sector después del 2002 (Cuadro D). A diferencia de la serie reportada en el Cuadro C, esta nueva serie de regresiones no incluye la variable *etnicidad* dado que ésta no mostró ninguna variabilidad en la sub-muestra analizada. Es decir, ningún hogar indígena, en la muestra, que no sembrara maíz en 2002 comenzó a hacerlo después de esa fecha. Claramente, la serie también excluye la participación en el sector maicero, en 2002, por razones obvias—i.e., por definición, la base de datos excluye hogares que sí participaron en el sector en 2002.

Como puede observarse, los resultados de esta nueva serie no difieren cualitativamente de los reportados anteriormente. Esto sugiere dos posibilidades: i) el mismo conjunto de factores tienen influencia sobre estos hogares que sobre el total, o ii) el efecto sobre los hogares de nuevo ingreso al sector predomina sobre el total de hogares. Desafortunadamente, la disponibilidad de información, incluyendo el tamaño de la muestra ENHRUM, no permite distinguir entre estas posibilidades.

En resumen, el análisis de la información disponible muestra diferencias importantes en el uso actual, así como en la propensión de los hogares mexicanos a adoptar el maíz mejorado. Sin embargo, como hemos visto, la tasa de adopción no es una función simple del grado de adopción. Esto sugiere, entre otras, que existen factores adicionales, aún por determinar, que inciden en la adopción de variedades híbridas de maíz en México.

En cuanto a los factores con un efecto identificado destaca, de manera particular, la ausencia de una etnicidad particular como factor determinante de la probabilidad de adopción. En otras palabras, el hogar indígena es poco propenso a adoptar variedades híbridas. Se puede decir, entonces, que por

razones aún por describir, los hogares indígenas prefieren sembrar maíz criollo que mejorado. Pero independientemente de su *etnicidad*, la experiencia previa del hogar en la siembra de maíz criollo reduce la probabilidad de que este adopte variedades híbridas. Los resultados dejan claro, sin embargo, que, dada las limitaciones de nuestro análisis, dicha probabilidad está asociada principalmente a factores geográficos, donde las regiones noroeste y noreste de México destacan, respectivamente, como las zonas más y menos favorables para la adopción del maíz mejorado.

Cuadro D. Factores que inciden en la probabilidad de adopción de maíz mejorado entre hogares mexicanos que entraron al sector en 2007

	1) Factores sociales y agronómicos	2) Factores agronómicos y geográficos	3) Todos los factores
Edad	0.011 [0.011]		0.007 [0.013]
Educación	0.038 [0.046]		0.038 [0.056]
Tamaño del hogar	0.043 [0.060]		0.052 [0.075]
Sureste		1.582** [0.675]	1.470** [0.682]
Centro		1.281** [0.580]	1.190** [0.604]
Occidente		2.296*** [0.598]	2.215*** [0.613]
Noroeste		2.715*** [0.694]	2.765*** [0.714]
Elevación baja		0.027 [0.423]	0.047 [0.427]
Elevación media		0.863** [0.425]	0.902** [0.430]
Constante	-1.454* [0.801]	-2.424*** [0.628]	-3.157*** [1.128]

N	112	114	112
---	-----	-----	-----

* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Adicionalmente a los factores previamente considerados, varios autores han resaltado la importancia de los factores institucionales en el desarrollo de la industria de los cultivos GM. Tras una revisión exhaustiva de la literatura, Smale et al. (2006) sugieren que los arreglos institucionales, incluyendo la coordinación vertical de la industria y el establecimiento de monopsonios, han tenido un efecto notable en la adopción de variedades GM.³ En China, por ejemplo, Fok et al. 2005 señalan la importancia de un desarrollo descentralizado de variedades para generar una amplia diversidad de opciones, así como mercados competitivos y, por ende, precios bajos para la semilla.

En Argentina, por el contrario, el férreo control de los derechos de propiedad intelectual por parte de una empresa semillera, Monsanto, disminuyó los beneficios a los productores y, consecuentemente, bajas tasas de adopción del algodón Bt (Smale et al., 2006). Esta empresa también logró establecer diversos arreglos institucionales en defensa de sus derechos de propiedad intelectual en México, donde no se permitió a los productores del algodón reciclar (i.e., utilizar más de una ocasión) la semilla de variedades Bt, y la compra de la fibra fue limitada a empresas autorizadas (Smale et al., 2006). No obstante estos casos ilustrativos, la influencia del contexto institucional ha recibido una atención limitada en la literatura.

A propósito de esta situación, Smale et al. (2006) afirma que no obstante los avances alcanzados por los estudios de equilibrio general (sobre la adopción de cultivos GM), particularmente en la modelación de cambios en la productividad, han sido pocos los avances en el tratamiento de las posibles diferencias regionales, sus efectos en el mercado laboral y, particularmente, en los precios de la semilla.

2. Métodos

Modelo

³ El término monopsonio se refiere a mercados que consisten en un solo comprador, que por lo mismo generalmente tiene influencia en la determinación de precios
<<https://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=3265>>.

Como elemento central del proyecto se desarrolló un modelo con características singulares que combinan las ventajas de dos importantes tradiciones de modelación: los modelos de agentes (MA) y los modelos de equilibrio general aplicado (MEGA) (Matthews y Dyer, 2011; Dyer & Nijnik, 2012; Abt Associates, 2014). Como otros MEGA, el Modelo de Agentes Rurales en un Contexto de Equilibrio General (MARCEG) contempla la determinación de precios en todos los sectores de una economía, que en este caso se trata de la economía rural mexicana, con énfasis en los sectores con un uso extensivo del suelo, es decir, agricultura, ganadería y los sectores forestal y de la conservación. Esta característica posibilita la identificación y análisis del conjunto de los efectos que podría tener un choque exógeno al sistema, es decir, de sus consecuencias directas e indirectas en la economía (Abt Associates, 2014).

La versión beta del MARCEG (V1.0) para México fue desarrollada en el marco de las iniciativas *Enhancing Capacity for Low Emission Development Strategies (EC-LEDS)* y *Analysis and Investment for Low-emissions Growth (AILEG)* del Gobierno de los Estados Unidos, cuyo objetivo general es asistir al Gobierno de México a mejorar su capacidad para diseñar estrategias bajas en emisiones de gases con un efecto invernadero (Abt Associates, 2014).

Una segunda versión del modelo (MARCEG V2.0), realizada en colaboración con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), desarrolla el tratamiento del uso del suelo, extendiendo su aplicación al análisis de política pública en general, particularmente en lo relativo a actividades primarias y el desarrollo rural (Dyer, 2015). El MARCEG V2.0 fue utilizado, recientemente, para analizar el Programa de Combate a la Pobreza y otras políticas de desarrollo rural en México (Yúnez et al., 2015).

Aquí desarrollamos una tercera versión del modelo (MARCEG V3.0) para evaluar en detalle la posible distribución de los costos y beneficios asociados a la liberación comercial de cultivos GM, particularmente el maíz Bt (Dyer et al., 2014). Las descripciones verbal y algebraica del modelo, presentadas originalmente en el Segundo Reporte, se reproducen aquí en los Apéndices 1 y 2, respectivamente. A continuación nos concentramos en la descripción de los escenarios específicos a su presente aplicación.

Escenarios

A partir de las consideraciones expuestas en la sección anterior, generamos tres escenarios basados en diversos supuestos sobre los posibles efectos directos (de la tecnología Bt en la producción de maíz) al nivel de la unidad de producción. En otras palabras, modelamos los efectos de equilibrio general—i.e.,

efectos a nivel de la economía en su conjunto—y sus repercusiones en la producción y el ingreso, a partir de hechos estilizados sobre las presuntas diferencias agronómicas entre las tecnologías Bt y convencional o, más particularmente, sobre diferencias en la productividad total y/o de factores productivos individuales. Precisamos la naturaleza de dichos supuestos más adelante.

Salvo cuando se indica lo contrario, los escenarios suponen que los mercados de bienes y servicios están abiertos, de forma que no existen obstáculos al comercio con el resto del país. Los precios de bienes y servicios, por lo tanto, se mantienen constantes. No obstante que el modelo distingue la producción comercial de la de subsistencia, ninguna unidad productiva es considerada aquí de subsistencia, dado que, en el norte de México, el maíz es un cultivo primordialmente comercial. Por el contrario, dado que el grano se comercia libremente en el mercado norteamericano y siendo el mercado maicero mexicano relativamente menor, el país es considerado un tomador de precios. Relajamos este supuesto, sin embargo, en el tercer escenario.

Los mercados de factores, por lo contrario, se restringen a cada una de las zonas analizadas: mano de obra y tierra se comercian localmente con base en precios (i.e., salarios y renta de la tierra) determinados a nivel de cada zona. Siguiendo una práctica estándar en la simulación de escenarios a partir de MEGAs, suponemos que el capital ocupado en cada actividad permanece constante en el corto plazo, no pudiéndose transferir entre agricultura, ganadería y otras actividades.

No obstante que el MARCEG cubre la totalidad del territorio nacional, aquí suponemos que la liberación y adopción de variedades Bt de maíz ocurre exclusivamente en la región norte del país—i.e., noreste y noroeste—en atención a las restricciones vigentes a la liberación de maíz GM en el centro de diversidad del cultivo.⁴ Dentro de la región norte, el modelo reconoce varias zonas que corresponden a los estados de Baja California, Sonora, Chihuahua y Tamaulipas, además de las zonas irrigada y temporalera del estado de Sinaloa. En Baja California, sin embargo, la producción maicera es reducida y—dada la calibración del modelo a partir de una muestra de unidades productivas—no tiene presencia significativa en la zona.

Aquí suponemos, como una primera aproximación, que todos los productores maiceros en las zonas de estudio adoptan la tecnología Bt. Esta cifra, sin duda, sobre-estima el potencial de adopción en la

⁴ No obstante que la eventual liberación y adopción de variedades Bt de maíz pudiera restringirse a zonas exclusivas dentro de la región norte de México, no se cuenta con información suficiente para realizar una simulación a zonas específicas.

región, donde la fracción de los productores maiceros rurales que siembran variedades mejoradas se mantuvo en 30% entre 2002 y 2007 (datos propios no publicados). En este sentido, el impacto de la tecnología observado en los distintos escenarios debe considerarse un indicador del extremo de su posible distribución.

Escenario 1. Aumento neutro de 4.5% en la productividad total. El primer escenario aborda las implicaciones de un aumento neutro (i.e., factor neutral) de 4.5% en la productividad, es decir, un aumento que no implica, desde el punto de vista agronómico, cambios cuantitativos en el uso de los tres factores productivos: mano de obra, tierra y capital. Como veremos, sin embargo, una vez que la tecnología se utiliza comercialmente, tales cambios pueden ocurrir por razones económicas. Los supuestos de la simulación consisten, entonces, en presumir que el aumento en productividad es neutro así como que su magnitud es la que hemos definido. Optamos por un aumento de 4.5% con base en las estimaciones que fundamentan la Manifestación de Impacto Regulatorio asociada a la publicación del Acuerdo por el que se Determinan Centros de Origen y Centros de Diversidad Genética del Maíz (SAGARPA, 2012). Aunque la decisión es necesariamente arbitraria, dichas estimaciones han sido parte de la política pública en esta materia, por lo que es de interés conocer sus implicaciones. Más aun, la evidencia disponible sugiere que la cifra podría no ser enteramente desacertada.

Si bien un aumento neutro en la productividad implica una disminución proporcional en el costo de los tres factores productivos, los presupuestos parciales realizados en torno al maíz GM, en otros países, reportan un aumento sensible en el costo relativo de la semilla. La magnitud del aumento ha demostrado ser función del contexto específico en que ocurre la liberación, a saber, del grado de i) la competencia en el mercado de semillas y ii) la protección de los derechos de propiedad de las compañías semilleras. Dado que, en nuestro contexto particular, el aumento que pudiera observarse en México es, necesariamente, materia de especulación, hemos decidido no considerar un aumento específico. La implicación es que, en la consideración de los resultados que presentamos más adelante, los beneficios del productor deben considerarse como el límite superior de su posible distribución.

Escenario 2. Aumento de 4.5% en productividad asociado a disminución de 5% en las necesidades de mano de obra. El segundo escenario aborda las implicaciones de un aumento de 4.5% en la productividad total que, simultáneamente, reduce la cantidad de agroquímicos que deben administrarse

en el control plagas. Aquí suponemos que dicha condición implica una reducción de 5% en las necesidades de mano de obra en el cultivo. Nuevamente, la decisión es necesariamente arbitraria. Optamos por una disminución de 5% en el uso de mano de obra dado que, incluso en las zonas donde el uso de insumos en la producción es intensivo, la aplicación de plaguicidas es reducida (véase, p.ej., Chauvet y Lazos, 2014), por lo que el ahorro en la mano de obra implícita en esta labor también debía serlo.

Como en el caso anterior, la utilización comercial de la tecnología puede tener efectos económicos que alteren, por razones distintas a las agronómicas, la proporción de mano de obra y otros factores utilizados en la producción. Siendo los cambios en la demanda de factores la fuente de distintos efectos de equilibrio general, las implicaciones en el resto de la economía podrían ser distintas que en el escenario anterior.

Escenario 3. Aumento de 4.5% en productividad asociado a disminución de 5% en las necesidades de mano de obra en la presencia de costos de transacción en el mercado de maíz. El tercer y último escenario supone los mismos cambios en productividad que el segundo escenario pero en un contexto económico que podría reflejar más apropiadamente las condiciones en las zonas sujetas a análisis. A saber, no obstante que la producción de maíz en el norte del país—y particularmente en la región noroeste—es elevada, el consumo del grano en la región es reducido, lo que redundaría en amplios excedentes que, en general, deben transportarse al resto del país para su comercialización y consumo.

Aquí consideramos los obstáculos a la comercialización del grano que los productores enfrentan desde que, a partir de los años ochenta, el gobierno federal redujo su intervención en el mercado maicero (Dyer, 2015). Tras la disolución de la Compañía Nacional de Subsistencias Populares (CONASUPO)—que, hasta entonces, monopolizó el mercado del maíz—y la eliminación formal del precio de garantía del grano, su comercialización quedó a cargo del sector privado. La eliminación formal del control de precios y la desregulación del mercado, sin embargo, no parecen haber eliminado la necesidad de la intervención del gobierno federal en el sector maicero, que sigue presente en la forma de diversos subsidios públicos (SAGARPA, 2014).

Más específicamente, la venta de maíz frecuentemente presenta costos de transacción que, desde hace dos décadas, han justificado múltiples programas de subsidios a la comercialización, particularmente en el noroeste (Dyer, 2015). Por otra parte, en esta misma zona, el precio al productor rara vez refleja el

equilibrio en la oferta y demanda de un mercado competitivo. Grandes empresas comercializadoras ejercen poder de mercado, influyendo en el precio al productor (Araujo Enciso, 2011), que frecuentemente se determina a través de un proceso de negociación. El precio por tonelada que resulta de dicho proceso no siempre satisface las expectativas del productor, particularmente en el caso de pequeños productores, lo cual ha servido de justificación a otra forma de intervención pública, a saber, subsidios al ingreso—i.e., el Programa Ingreso Objetivo—que, para todos efectos, funcionan como un precio de garantía (Dyer, 2015).

Dado el contexto anterior, un aumento en el volumen de la producción (asociado a la adopción del maíz Bt) y la consecuente generación de excedentes comerciables, podría derivar en una oferta superavitaria del grano que requeriría una caída en el precio para vaciar el mercado. El presente escenario analiza las consecuencias del caso extremo en que, siendo la demanda del grano perfectamente elástica, la caída en el precio del maíz sería máxima. Esta condición es equivalente a fijar el volumen de maíz que las empresas comercializadoras están dispuestas a adquirir, restringiendo, en el corto plazo, las exportaciones al exterior de cada una de las zonas del análisis. En términos prácticos, esto implica que cualquier aumento en los excedentes debe comercializarse en el mercado local.

Claramente, la interpretación de los resultados debe considerar que los supuestos de este escenario muy probablemente sobre-estiman el impacto en la economía de los costos de transacción que efectivamente enfrentan los productores.

Línea Base

La información primaria para este estudio proviene de la Encuesta Nacional de Hogares Rurales de México I y II (ENHRUM) que es un esfuerzo de colaboración entre El Colegio de México y la Universidad de California en Davis (los datos están disponibles en: <http://precesam.colmex.mx/ENHRUM.html>). La encuesta captura información detallada de las actividades y bienes de la población rural. La ENHRUM está basada en una muestra estratificada en tres etapas, diseñada en colaboración con el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Dentro de cada una de las cinco regiones en las cuales INEGI divide al país, se generó una muestra por estados, municipios, localidades y hogares (esto es, muestra primaria, secundaria y unidades elementales, respectivamente) seleccionados a través de muestreo simple aleatorio para cada etapa. La cobertura geográfica de la ENHRUM es a nivel nacional

en poblaciones rurales. La representatividad de la muestra es del 95% de la población rural a nivel nacional y para cada región.

El Cuadro E muestra la superficie de maíz, así como su producción y consumo al interior de las unidades productivas con que fue calibrado el modelo.

Cuadro E. Superficie, producción y consumo doméstico de maíz en la línea base

	Superficie (ha.)	Producción (ton.)	Consumo (ton.)
Chihuahua	138,363	118,585	3,670
Sinaloa Irrigada	90,194	681,798	59
Sinaloa Temporal	4,458	991	0
Sonora	11,464	6,688	703
Tamaulipas	7,609	2,114	0

3. Resultados

Escenario 1. Aumento neutro de 4.5% en la productividad total

Según los resultados del modelo, un aumento de 4.5% en la productividad del sector maicero resulta en incrementos de entre 7.0 y 15% en el volumen de la producción en distintas zonas (Cuadro 1). Estas diferencias regionales se deben, entre otras razones, a la extensión original del cultivo, su demanda de la mano de obra y tierra disponibles, y la productividad de dichos factores en este y otros sectores en distintas zonas. Entre mayor es la extensión del cultivo en una zona, mayor es su demanda de factores cuya oferta se limita y, por lo mismo, más restringido su potencial de expansión. Este es el caso, más claramente, en la zona irrigada de Sinaloa, donde el sector se expande sólo 7%.

Cuadro 1. Cambios porcentuales en producción, consumo y excedente comerciable de maíz a raíz de un aumento de 4.5% en la productividad del maíz

	Producción	Consumo	Excedente comerciable
Chihuahua	13	0.4	24
Sinaloa Irrigada	7.0	3.1	7.0
Sinaloa Temporal	15	0.3	20
Sonora	7.9	0.7	17
Tamaulipas	12	0.7	12

Como se observa, la superficie sembrada en el cultivo aumenta entre 2.9 y 14% en las distintas zonas (Cuadro 2), mientras que el aumento en la demanda de mano de obra va de 4.1 a 15%. Dichos cambios están asociados a incrementos en la tasa salarial y la renta de tierra que van de 2.8 y 4.0%, respectivamente, en la zona irrigada de Sinaloa, a marginales en otras zonas.

Cuadro 2. Cambios porcentuales en la demanda y costo de factores productivos a raíz de un aumento de 4.5% en la productividad del maíz

	Salario diario	Renta de la tierra	Mano de obra	Superficie sembrada
Chihuahua	0.3	0.4	13	13
Sinaloa Irrigada	2.8	4.0	4.1	2.9
Sinaloa Temporal	0.1	0.3	15	14
Sonora	0.1	0.1	8	8.2
Tamaulipas	0.0	0.3	12	12

Los aumentos en la producción del cultivo están asociados también a incrementos marginales en el consumo del grano al interior de la unidad productiva, redundando en amplios excedentes comerciales equivalentes a aumentos de entre 7.0 y 24% en su oferta en el mercado (Cuadro 1). Por consiguiente, el ingreso asociado al cultivo aumenta entre 8.3 y 29% (Cuadro 3). Sin embargo, las implicaciones en el ingreso total de los hogares que adoptan la tecnología es considerablemente menor. Este ingreso

aumenta tan sólo 0.3 o 0.4% en las distintas zonas, salvo en la zona irrigada de Sinaloa, donde aumenta 3.7%.

Como es de esperar, los hogares que adoptan la tecnología derivan ingresos de diversas fuentes. Su actividad productiva genera ganancias, principalmente asociadas al cultivo, que contribuyen hasta 94% del aumento en su ingreso (Cuadro 4). Esta contribución es relativamente menor en la zona irrigada de Sinaloa, donde representa 38% del total. Aumentos en el ingreso salarial y el asociado a la renta de la tierra contribuyen el resto del ingreso adicional. Ingresos salariales aportan entre 4.4%, en Tamaulipas, y 41% en la zona irrigada de Sinaloa. La renta de la tierra aporta entre 1.3%, en Tamaulipas, y 21% en Sinaloa irrigada.

Cuadro 3. Cambios porcentuales en el ingreso a raíz de un aumento de 4.5% en la productividad del maíz

	Productores que adoptan maíz Bt	Otros hogares rurales	Población en general
	Ingreso neto por maíz	Ingreso total	Ingreso total
Chihuahua	17	0.4	0.2
Sinaloa Irrigada	8.3	3.7	2.6
Sinaloa Temporal	16	0.4	0.1
Sonora	29	0.3	0.1
Tamaulipas	19	0.4	0.0

Los cambios inducidos en la productividad del maíz tienen repercusiones marginales o nulas en los hogares rurales que no siembran maíz, salvo en la zona irrigada de Sinaloa, donde estos observan un aumento neto de 1.7% en sus ingresos totales (Cuadro 3). Salarios representan 92% de dichos aumentos, mientras que la renta de la tierra aporta el restante (Cuadro 4). Al mismo tiempo, estos hogares experimentan pérdidas por ganancias no percibidas equivalentes a 29% del aumento en sus ingresos (datos no tabulados).

Cuadro 4. Contribución porcentual de distintas fuentes de ingreso al ingreso total a raíz de un aumento de 4.5% en la productividad del maíz

	Productores que adoptan maíz Bt			Otros agentes	
	Ingresos salariales	Ingresos por renta de tierra	Ingresos por ganancias	Ingresos salariales	Ingresos por renta de tierra
Chihuahua	38	8.1	54	80	20
Sinaloa Irrigada	41	21	38	92	8.3
Sinaloa Temporal	7.3	9.5	83	-	-
Sonora	25	2.0	73	97	3.1
Tamaulipas	4.4	1.3	94	-	-

La dinámica económica responsable por los resultados anteriores es compleja. Si bien los procesos son comunes en toda la región de estudio, sus resultados dependen de condiciones agronómicas, sociales y económicas que varían de una zona a otra. A continuación nos enfocamos en la zona irrigada de Sinaloa para describir la dinámica a que nos referimos, así como las repercusiones de las condiciones locales en la producción y el ingreso de distintos grupos.

Sinaloa Irrigada. Según los resultados del modelo, un aumento de 4.5% en la productividad del sector maicero resulta en un incremento de 7.0% en la producción de la zona. Dicho incremento se debe tanto al aumento en la productividad por hectárea como a la expansión del cultivo a tierras originalmente en otros usos. La superficie sembrada con el grano aumenta 2.9%, mientras que la demanda de mano de obra, en el sector, se eleva 4.1%.

Como sería de esperarse en una economía en que mano de obra y tierra se comercian en mercados regionales, tales incrementos en la demanda de factores tienen implicaciones en salarios y rentas y, por lo tanto, en otros sectores productivos dentro y fuera del campo. Dada la importancia del sector maicero en la zona irrigada de Sinaloa, salarios y rentas aumentan aquí más que en otras zonas—i.e., 2.8 y 4.0%, respectivamente—lo cual obliga a otros sectores a disminuir su demanda de sendos factores. Las repercusiones son mayores en los sectores que usan ambos factores, es decir, el sector agrícola y el pecuario. El resto del sector agrícola, por ejemplo, disminuye su demanda de mano de obra y tierra en 8.7 y 9.7%, respectivamente, contrayendo su producción en 5.9% (datos no tabulados). Sin embargo, el

sector agrícola en su conjunto—es decir, considerando tanto al maíz como a otros cultivos—observa una expansión neta equivalente a 5.2% (datos no tabulados), lo cual ilustra la importancia del sector maicero en esta zona.

El sector pecuario, por su parte, disminuye sus demandas de mano de obra y tierra en 6.8 y 8.9%, respectivamente, reduciendo su producción en 4.5% (datos no tabulados). La menor disponibilidad de mano de obra se observa también fuera del campo, afectando al sector bienes y servicios y a la extracción de recursos naturales, que se contraen en 2.4 y 1.8%, respectivamente (datos no tabulados).

La expansión maicera tiene implicaciones en el resto de la economía con repercusiones importantes en las fuentes de ingreso y su distribución. Como dijimos anteriormente, los productores que adoptan la tecnología observan un aumento de 8.3% en las ganancias derivadas del maíz, pero estas sólo representan 38% del ingreso adicional recaudado; otro 62% proviene de aumentos en el salario local (41%) y las rentas de la tierra (21%), no obstante que dichos aumentos son relativamente menores (i.e., 2.8 y 4.0%, respectivamente). Salarios y rentas, no obstante, representan importantes fuentes de ingreso, a las que se agregan ingresos extraordinarios (i.e., exógenos), como son las transferencias públicas y privadas, que aquí se mantienen sin cambios. Por consiguiente, el ingreso total de los hogares que adoptan la tecnología aumenta sólo 3.7%.

Al mismo tiempo, el aumento en el ingreso de productores maiceros sinaloenses tiene consecuencias en su gasto y, por ende, repercusiones adicionales en la economía local. Por una parte, dicho aumento les permite “consumir” más tiempo libre, disminuyendo la oferta de mano de obra del hogar en mayor grado que la de hogares productores en otras regiones. Es decir, gracias al excedente en sus ingresos, los productores están en capacidad de sustituir trabajo familiar por mano de obra asalariada. En conjunto, el aumento en la demanda de mano de obra y la disminución simultánea en su oferta son igualmente responsables por el alza en el salario local, que es la base de la transmisión de beneficios indirectos a otros agentes en la economía local. Dicha alza representa, simultáneamente, un aumento en los costos de producción de otros sectores, lo cual, como dijimos, explica su contracción.

Las implicaciones de la contracción anterior se distribuyen ampliamente entre la población, pero son más evidentes en los hogares que no siembran maíz. Las ganancias que estos obtienen en actividades fuera del sector maicero se reducen 29% (datos no tabulados). Sin embargo, como dijimos, el ingreso derivado de salarios aumenta más que proporcionalmente. El efecto neto es un aumento de 1.7% en el ingreso de este segmento de la población. Más aun, una fracción de la contracción en sus ganancias no

representa una pérdida real (es decir, pecuniaria) sino únicamente contable, pues se transforma en pagos al trabajo familiar en actividades dentro del hogar. Algo análogo ocurre con los propietarios de tierras no sembradas con maíz. Es decir, parte de la pérdida en sus ganancias agropecuarias (fuera del sector maicero) se convierte en rentas de la tierra en propiedad del hogar, sin constituir una disminución real en su ingreso. No obstante, dado que la región es arrendataria neta de tierras, otra parte de dicha pérdida es real, i.e., dinero que sale de la economía local en la forma de pagos a propietarios que ofrecen tierras en arrendamiento no obstante que estos últimos no viven en la zona.

Lo contrario ocurre, a una escala considerablemente mayor, en el mercado laboral, donde el aumento en la demanda de mano de obra en el sector maicero obliga a patrones que no son miembros de la población rural a pagar mayores salarios para atraer trabajadores. El saldo de cambios en rentas y salarios con el exterior es positivo para la población rural. Es decir, el sector patronal no rural asume parte del costo de los beneficios asociados a la adopción de tecnología GM en el campo. Más específicamente, en la zona irrigada de Sinaloa, 56% de los beneficios salariales observados son solventados por agentes cuyos costos no hemos considerado—i.e., la población urbana. En otras zonas, sin embargo, donde los cambios en salarios y rentas son marginales, dichos costos no son de consideración.

Por otra parte, el aumento en el gasto permite a los hogares que adoptan la tecnología consumir más maíz—el conocido efecto ingreso (i.e., *profit effect*). Sin embargo, el consumo local del grano aumenta sólo 3.1%—es decir, en menor medida que la producción—lo que permite que las ventas aumenten 7%.

Escenario 2. Aumento de 4.5% en productividad asociado a disminución de 5% en las necesidades de mano de obra

Según los resultados del modelo, un aumento de 4.5% en la productividad del sector maicero que, simultáneamente, disminuye en 5% las necesidades de mano de obra del cultivo resulta en incrementos de entre 4.7 y 11% en el volumen de la producción en distintas zonas (Cuadro 5). El menor incremento regional continua observándose en la zona irrigada de Sinaloa, el mayor en la zona temporalera del mismo estado. No obstante que las diferencias regionales son importantes, ya describimos sus causas en el primer escenario (descrito en la sección anterior), por lo que aquí nos concentramos en apuntar las diferencias entre escenarios.

Cuadro 5. Cambios porcentuales en producción, consumo y excedente comerciable de maíz a raíz de un aumento de 4.5% en la productividad del maíz asociado a una reducción de 5% en las necesidades de mano de obra en el cultivo

	Producción	Consumo	Excedente comerciable
Chihuahua	9.1	0.4	16
Sinaloa Irrigada	4.7	2.0	4.7
Sinaloa Temporal	11	0.3	15
Sonora	6.8	0.7	14
Tamaulipas	9.1	0.7	9.3

Como puede apreciarse, los aumentos en el volumen de la producción son menores en este escenario que en el anterior, no obstante que los ámbitos de la variación regional se traslapan entre escenarios. El descenso relativo en la producción se debe, en cierta medida, a que la producción es un resultado ex post del modelo, influido por efectos de equilibrio general en el resto de la economía, lo cual dificulta la calibración del modelo entre escenarios (véase la sección de Introducción). Sin embargo, como veremos, las diferencias también se deben a que, en el presente escenario, esos mismos efectos indirectos moderan la respuesta a la tecnología.

En el presente escenario, la superficie sembrada con maíz aumenta consistentemente en las distintas zonas, i.e., entre 2.7 y 13%, mientras que la demanda de mano de obra, en el cultivo, responde de forma heterogénea, cambiando entre -0.9 a 5.6% (Cuadro 6). Como puede apreciarse, la expansión de la superficie maicera en Sonora y Tamaulipas es mayor que en el escenario anterior, mientras que en otras zonas es menor. Salvo en la zona irrigada de Sinaloa, dónde la renta de la tierra aumenta en 5.3%, las repercusiones en esta variable continúan siendo reducidas.

Cuadro 6. Cambios porcentuales en demanda y costo de factores productivos a raíz de un aumento de 4.5% en la productividad del maíz asociado a una reducción de 5% en las necesidades de mano de obra en el cultivo

	Salario diario	Renta de la tierra	Mano de obra	Superficie sembrada
Chihuahua	0.1	0.5	3.9	13
Sinaloa Irrigada	0.2	5.3	-0.9	2.7
Sinaloa Temporal	0.0	0.3	5.6	13
Sonora	0.0	0.1	1.6	11
Tamaulipas	0.0	0.3	4.0	13

En contraste, la demanda de mano de obra es considerablemente menor, en todas las zonas, que en el escenario anterior e, incluso, cae en términos absolutos en la zona irrigada de Sinaloa. Esto último se debe, naturalmente, a la reducción en las necesidades de mano de obra inherente a la tecnología. Por consiguiente, el salario aumenta ahí sólo 0.2%, comparado con 2.8% en el escenario anterior. Quizás lo sorprendente es que el salario no caiga, dado que la demanda de mano de obra se reduce en términos absolutos. La explicación de este dato es que, como en el escenario anterior, en Sinaloa irrigada, el “consumo” de tiempo libre aumenta notoriamente, disminuyendo la oferta de mano de obra en la zona en 1% (datos no tabulados).

Como en el caso anterior, el incremento en el consumo doméstico de maíz es exiguo, pero, dado que el aumento en la producción es comparativamente menor en el presente escenario, los excedentes comerciables derivados de la tecnología también son menores (Cuadro 5). Quizás sorprenda que menores excedentes no reduzcan el ingreso derivado de la adopción, que aun experimenta aumentos de entre 8.9 y 29% (Cuadro 7). Lo anterior se explica debido a que, no obstante que los productores obtienen menores ingresos por ventas, también enfrentan egresos relativamente menores. Más específicamente, los costos de la producción, particularmente los asociados a la mano de obra, se reducen. La razón de lo anterior es, primero, que la demanda de mano de obra por hectárea disminuye por el mismo diseño del escenario. Además, a pesar de la expansión del sector, su empleo de mano de obra es, en conjunto, menor que en el escenario anterior, por lo que la tasa salarial no aumenta ahora notablemente (Cuadro 6).

Cuadro 7. Cambios porcentuales en el ingreso a raíz de un aumento de 4.5% en la productividad del maíz asociado a una reducción de 5% en las necesidades de mano de obra en el cultivo

	Productores que adoptan maíz Bt	Otros hogares rurales	Población en general
	Ingreso neto por maíz	Ingreso total	Ingreso total
Chihuahua	16	0.3	0.0
Sinaloa Irrigada	8.9	2.6	0.1
Sinaloa Temporal	16	0.3	0.0
Sonora	29	0.3	0.0
Tamaulipas	19	0.3	0.0

En cuanto a las fuentes de ingreso, la contribución de la renta de la tierra al ingreso total adicional de los productores maiceros aumenta, con respecto al escenario anterior, representando entre 1.7 y 38% del mismo en distintas zonas, comparado con 1.3 y 20.6%, en el primer escenario (Cuadro 8). Por el contrario, la contribución de salarios cae considerablemente. El caso extremo ocurre en Tamaulipas, donde los salarios no contribuyen, en absoluto, al aumento en el ingreso. La implicación es que, en el presente escenario, la mayor parte del ingreso derivado de la adopción de tecnología se debe directamente a las ganancias, mismas que contribuyen entre 67 y 98% del mismo. Sin embargo, dado que dichas ganancias son similares, en términos absolutos, a las observadas en el escenario anterior, la pérdida relativa de salarios garantiza que, como veremos, el aumento en el ingreso total sea ahora menor.

Cuadro 8. Contribución porcentual de distintas fuentes de ingreso al ingreso total a raíz de un aumento de 4.5% en la productividad del maíz asociado a una reducción de 5% en las necesidades de mano de obra en el cultivo

	Productores que adoptan maíz Bt			Otros agentes	
	Ingresos salariales	Ingresos por renta de tierra	Ingresos por ganancias	Ingresos salariales	Ingresos por renta de tierra
Chihuahua	9.5	12	79	-	-
Sinaloa Irrigada	4.4	38	67	43	58
Sinaloa Temporal	2.6	11	87	-	-
Sonora	8.6	4.2	87	-	-
Tamaulipas	0.0	1.7	98	-	-

Las consecuencias de la adopción de tecnología Bt en el ingreso total de los productores son muy similares a las observadas en el escenario anterior, salvo en la zona irrigada de Sinaloa (Cuadro 7). No obstante que ingresos y egresos difieren entre escenarios, el balance es, para todos efectos, el mismo: en la mayoría de las zonas, el ingreso total de los productores aumenta marginalmente: 0.3%, comparado con 0.4% en el escenario anterior. En la zona irrigada de Sinaloa, sin embargo, el balance de costos y beneficios cambia, lo cual nos permite apreciar que cambios en salarios y rentas tienen implicaciones importantes en el ingreso total de los productores que adoptan la tecnología. El aumento en su ingreso se reduce de 3.2%, en el escenario anterior, a 2.6% en el presente.

Como podría preverse, el peso relativo de distintas fuentes de ingresos no favorece, en este caso, a otros hogares rurales, que, en gran medida, dependen de un aumento en los salarios para apropiarse de los beneficios indirectos de la tecnología. La implicación es que estos últimos son ahora nulos en todas las zonas, incluso en la zona irrigada de Sinaloa (Cuadro 7). El efecto en el ingreso total de la población en general es un aumento de 1.3% en Sinaloa irrigada pero marginal en otras zonas.

Sensibilidad a cambios en productividad. Variaciones en la magnitud del cambio en productividad asociada al maíz Bt, realizadas como parte del análisis de sensibilidad, demuestran la importancia de este parámetro, así como sus limitaciones. Es decir que la magnitud del cambio muestra efectos importantes en variables productivas—como son el uso de factores así como el volumen de la

producción maicera—pero relativamente inocuos en el precio de dichos factores, así como en sus implicaciones en el ingreso. A continuación ilustramos los efectos anteriores utilizando el caso de la zona temporalera de Sinaloa.

Como se recordará, en la zona temporalera de Sinaloa, un aumento de 4.5% en la productividad resultaría en un aumento de 11.4% en el volumen de la producción (Cuadro 5). A saber, diferencias de un solo punto porcentual en dicho aumento en la productividad tienen efectos notables en este resultado (Cuadro 9). Aumentos de 3.5 y 5.5% resultarían, respectivamente, en aumentos de 8.1 y 15.2% en el volumen de la producción en esta zona. No obstante los cambios en el consumo de maíz al interior de la unidad productiva siguen siendo mínimos, el excedente comerciable variaría entre 10.8 y 19.8% a raíz de dichos cambios.

Como puede apreciarse, dichas variaciones tienen implicaciones importantes en el uso de mano de obra, cuyo aumento varía entre 2.6 y 8.8% (Cuadro 10). Sin embargo, estos efectos no generan cambios apreciables en el salario. De forma similar, las variaciones en productividad tienen efectos importantes en la superficie sembrada en maíz, cuyo aumento varía entre 11.4 y 18.1%, pero no en la renta de la tierra, que varía entre 0.3 y 0.4%.

Cuadro 9. Cambios porcentuales en producción, consumo y excedente comerciable de maíz en la zona temporalera de Sinaloa a raíz de diversos aumentos en la productividad del maíz asociado a una reducción de 5% en las necesidades de mano de obra en el cultivo

Aumento en productividad	Producción	Consumo	Excedente comerciable
3.5%	8.1	0.2	10.8
4.5%	11.4	0.3	15.2
5.5%	15.2	0.4	19.8

Cuadro 10. Cambios porcentuales en demanda y costo de factores productivos en la zona temporalera de Sinaloa a raíz de aumentos diversos en la productividad del maíz asociado a una reducción de 5% en las necesidades de mano de obra en el cultivo

Aumento en productividad	Salario diario	Renta de la tierra	Mano de obra	Superficie sembrada
3.5%	0.0	0.3	2.6	11.4
4.5%	0.0	0.3	5.6	14.7
5.5%	0.0	0.4	8.8	18.1

Dado la importancia del salario y renta de la tierra en el ingreso, no es de sorprender que variaciones en el aumento en productividad asociado al maíz Bt tengan efectos limitados en el ingreso de distintos agentes rurales (Cuadro 11). En efecto, dichas variaciones generan aumentos de entre 11.9 y 19.2% en los ingresos asociados a la producción maicera, pero aumentos de entre 0.3 y 0.4 en el ingreso total de los productores. De forma similar, las implicaciones en el ingreso de otros hogares rurales no se ven afectados por variaciones en la productividad maicera. En general, el ingreso de la población en general aumenta, en todos los casos, en menos de 0.1%.

Cuadro 11. Cambios porcentuales en el ingreso en la zona temporalera de Sinaloa a raíz aumentos diversos en la productividad del maíz asociado a una reducción de 5% en las necesidades de mano de obra en el cultivo

Aumento en productividad	Productores que adoptan maíz Bt		Otros hogares rurales	Población en general
	Ingreso neto por maíz	Ingreso total	Ingreso total	Ingreso total
3.5%	11.9	0.3	0.0	<0.1
4.5%	15.5	0.3	0.0	<0.1
5.5%	19.2	0.4	0.0	<0.1

Escenario 3. Aumento de 4.5% en productividad asociado a disminución de 5% en las necesidades de mano de obra en la presencia de costos de transacción en el mercado de maíz

Cuando el mercado de maíz presenta altos costos de transacción, un aumento de 4.5% en la productividad del sector maicero que, simultáneamente, disminuya en 5% las necesidades de mano de obra del cultivo, resulta en incrementos de entre 0.0 y 2.9% en el volumen de la producción (Cuadro 12). Como se observa, el ámbito de la respuesta en distintas zonas es considerablemente inferior al observado en el segundo escenario. Ahora, incluso, no se observa un aumento en la producción de la zona irrigada de Sinaloa.

Ya que el excedente comercial de las distintas zonas se mantiene sin cambios, gracias al diseño del escenario, el aumento en la producción necesariamente viene aparejado de mayores aumentos en el consumo que en escenarios anteriores, pues aquí se eleva entre 2.4 y 4.5% (Cuadro 12). Esto ocurre simultáneamente al descenso en el precio del grano, que cae entre 0.1%, en Sonora, y 8.1% en la zona irrigada de Sinaloa. Dichos precios reducen la oferta de maíz y, simultáneamente, elevan su demanda de consumo, permitiendo que el mercado en cada zona se vacíe no obstante la dificultad de acceder al mercado con el exterior.

En contraste con el segundo escenario, la superficie sembrada con maíz responde ahora de forma heterogénea, disminuyendo hasta 2.4% en la zona irrigada de Sinaloa y Tamaulipas, pero aumentando hasta 1.7% en Chihuahua (Cuadro 13). Salvo en Sinaloa irrigada, donde la renta disminuye 2.7%, estos cambios no son suficientes para propiciar variaciones en la renta en otras zonas. La mano de obra, por su parte, responde consistentemente entre zonas, disminuyendo entre 6.7 y 10%, comparado con aumentos de hasta 5.6% en el escenario anterior. La razón es, nuevamente, la reducción en las necesidades de mano de obra inherente a la tecnología.

Cuadro 12. Cambios porcentuales en producción, consumo y excedente comerciable de maíz a raíz de un aumento de 4.5% en la productividad del maíz asociado a una reducción de 5% en las necesidades de mano de obra en el cultivo

	Producción	Consumo	Excedente comerciable	Precio
Chihuahua	1.7	2.6	-	-3.5
Sinaloa Irrigada	0.0	2.4	-	-8.1
Sinaloa Temporal	1.2	4.2	-	-4.5
Sonora	2.9	4.5	-	-0.1
Tamaulipas	0.1	2.4	-	-5.5

Cuadro 13. Cambios porcentuales en demanda y costo de factores productivos a raíz de un aumento de 4.5% en la productividad del maíz asociado a una reducción de 5% en las necesidades de mano de obra en el cultivo

	Salario diario	Renta de la tierra	Mano de obra	Superficie sembrada
Chihuahua	-0.2	0.1	-6.7	1.7
Sinaloa Irrigada	-4.8	-2.7	-8.4	-2.4
Sinaloa Temporal	0.0	0.0	-8.1	0.1
Sonora	-0.1	0.0	-7.3	1.2
Tamaulipas	0.0	0.0	-10	-2.4

Como veremos, a diferencia del escenario anterior, donde el ingreso generado por la adopción de tecnología Bt permite a los hogares reducir su oferta laboral, en el presente escenario, dicha oferta contribuye a deprimir la tasa salarial. No obstante que la respuesta de salarios es ahora visiblemente mayor, sólo en Sinaloa irrigada muestra la tasa salarial una disminución notable, a saber, de -4.8% (Cuadro 13).

El ingreso neto del cultivo de maíz es mucho menor, en el presente escenario, que en los anteriores e, incluso, cae hasta 6.6% con respecto al escenario base—i.e., antes de la adopción de la tecnología Bt

(Cuadro 14). En estas circunstancias, en que la adopción de la tecnología es contraproducente, la decisión de adoptar podría parecer irracional, un artificio del modelo, pero en realidad no lo es. En la mayoría de las zonas, los costos de la producción caen, motivando la adopción, pero, debido al efecto del aumento de la producción en el precio del grano, los ingresos caen más que proporcionalmente. Incluso cuando el resultado es una pérdida de ingreso neto, un productor individual optimiza este ingreso adoptando la tecnología, pues, en caso contrario, su producción e ingresos serían menores.

Cuadro 14. Cambios porcentuales en el ingreso a raíz de un aumento de 4.5% en la productividad del maíz asociado a una reducción de 5% en las necesidades de mano de obra en el cultivo

	Productores que adoptan maíz Bt		Otros hogares rurales	Población en general
	Ingreso neto por maíz	Ingreso total	Ingreso total	Ingreso total
Chihuahua	1.0	0.0	-0.1	0.0
Sinaloa Irrigada	-6.6	-4.1	-3.1	-3.5
Sinaloa Temporal	-0.5	0.0	0.0	0.0
Sonora	-5.1	-0.1	-0.1	-0.1
Tamaulipas	-5.5	-0.1	0.0	0.0

Por otra parte, los efectos en salarios y renta de la tierra tienen repercusiones en el ingreso total de los productores, que, frecuentemente, son negativas. No obstante, salvo en la zona irrigada de Sinaloa, estos efectos son reducidos, lo que ayuda a mitigar la pérdida de ingreso en el cultivo (Cuadro 14). En Sinaloa irrigada, todas las fuentes de ingreso muestran descensos, resultando en una baja de 4.1% en el ingreso total del productor. En Chihuahua, por el contrario, renta de la tierra y ganancias representan 41 y 59% de los ingresos generados por la adopción de variedades Bt de maíz, que, sin embargo, son anulados por pérdidas en el salario (Cuadro 15). En Tamaulipas, Sonora y la zona temporalera de Sinaloa, los salarios representan entre 17 y 71% de las pérdidas, mientras que la disminución de las ganancias representa el resto. Las rentas de la tierra, por su parte, contribuyen al ingreso total del

productor, representando ingresos equivalentes a hasta 5.1% de sus pérdidas netas. El balance, no obstante, son pérdidas marginales.

Otros hogares rurales enfrentan pérdidas de ingreso similares, es decir, marginales, salvo en Sinaloa irrigada, donde su ingreso disminuye 3.1%, mientras que, para la población en general, la pérdida es de 3.5%.

Cuadro 15. Contribución porcentual de distintas fuentes de ingreso al ingreso total a raíz de un aumento de 4.5% en la productividad del maíz asociado a una reducción de 5% en las necesidades de mano de obra en el cultivo

	Productores que adoptan maíz Bt			Otros agentes	
	Ingresos salariales	Ingresos por renta de tierra	Ingresos por ganancias	Ingresos salariales	Ingresos por renta de tierra
Chihuahua	(100.0)	41.0	59.0	144.1	(17.2)
Sinaloa Irrigada	(64.0)	(12.2)	(23.8)	118.1	3.5
Sinaloa Temporal	(70.6)	5.1	(29.4)	-	-
Sonora	(67.3)	3.4	(32.7)	109.2	(2.2)
Tamaulipas	(16.6)	0.0	(83.4)	153.9	9.0

4. Conclusiones

Como puede apreciarse, el efecto de la adopción de variedades Bt de maíz en las regiones noreste y noroeste podría ser heterogéneo, mostrando variaciones importantes en la producción de distintas zonas (Cuadros 1, 5, 12). Sus repercusiones en la demanda de tierra y mano de obra (Cuadros 2, 6, 13), así como sus implicaciones en el ingreso neto del cultivo (Cuadros 3, 7, 14) podrían ser igualmente variables en el contexto geográfico. Sin embargo, el efecto en el ingreso total, tanto de productores maiceros como de la población en general, parecería sorprendentemente homogéneo entre zonas, siendo consistentemente escaso (Cuadros 3, 7, 14). La excepción es la zona irrigada de Sinaloa, donde la producción, así como el ingreso de distintos segmentos de la población podría ser considerable. No

obstante, contrastan visiblemente los efectos de la adopción en el ingreso neto del cultivo, que podría aumentar hasta 28.8%, dependiendo del escenario, con sus efectos en el ingreso total de la unidad productiva, que no supera 3.7% y, frecuentemente, se ubica por debajo de medio punto porcentual (Cuadros 3, 7, 14).⁵

Sin duda, el impacto de la tecnología Bt en la producción de maíz es una consideración importante en un país como el nuestro, cuya producción es fuertemente deficitaria (específicamente en maíz amarillo). El primer escenario del modelo sugiere que la comercialización de maíz Bt podría aumentar la producción hasta 15% en distintas zonas (Cuadro 1). También importante es el hecho de que, dado el escaso consumo de maíz en las unidades productivas del norte del país, el excedente comercial del grano podría aumentar hasta 23% entre zonas (Cuadro 1). Estos resultados se mantienen, en cierta medida, en el segundo escenario, que considera que el efecto de la tecnología en los costos de producción no sería neutro, sino que probablemente reduciría la demanda de mano de obra. Siendo este escenario más realista, los aumentos en la producción y excedente comercial del grano no serían mayores a 11.4 y 16.4%, respectivamente.

Sin embargo, la materialización de tales resultados dependería de la presencia de mercados perfectos en el sector maicero, situación que dista de la realidad en la zona. La concentración de la demanda del grano, por parte de grandes empresas comercializadoras con amplio poder de mercado, podría redundar en una baja en el precio al productor, lo cual limitaría la oferta del grano. En un caso extremo, representado por el escenario 3, el aumento en la producción podría no ser mayor a 2.9% y, en algunas zonas, ser nulo. Es de interés que este último podría ser el caso de la zona irrigada de Sinaloa, donde la producción actual de maíz es considerable.

Por otra parte, debe notarse que, en buena medida, los aumentos en la producción maicera, observados en los escenarios 1 y 2, ocurren a costa de otros sectores productivos, particularmente otros cultivos y la crianza extensiva de ganado, que, como el maíz, hacen un uso extensivo del suelo. Entre otras razones, esto explica cómo es que, no obstante las amplias ganancias observadas en el sector maíz, el ingreso

⁵ Cabe apuntar aquí que son pocos los estudios, en otras regiones del mundo, que abordan las diferencias entre los indicadores anteriores: ingreso neto del cultivo e ingreso total del productor. Como mencionamos en la introducción, una excepción notable es el estudio de Yorobe y Smale (2012) sobre los efectos de la adopción del maíz Bt en dos provincias, grandes productoras de maíz, en Filipinas. Comparando productores que adoptan la tecnología con los que no la adoptan, los autores reportan diferencias significativas en el ingreso neto del cultivo, el ingreso salarial fuera del campo y el ingreso total de la unidad productiva. En todos los casos, de acuerdo a sus estimaciones, el ingreso es mayor para los productores que adoptan la tecnología. Como veremos, sin embargo, dichas estimaciones podrían estar notoriamente sesgadas.

total adicional que experimentan los productores que adoptan la tecnología no supera 3.7 y 2.6% en dichos escenarios.

Es importante notar también que los pequeños productores son, simultáneamente, trabajadores asalariados y, en muchos casos, arrendatarios. En esa calidad, estos agentes experimentan cambios en su ingreso menos favorables que en sus ganancias (Cuadros 4, 8, 15), lo que modera los beneficios totales que reciben de la tecnología. Incluso, en el escenario 3, los cambios experimentados en su calidad de asalariados y arrendatarios pueden ser desfavorables. A su vez, los cambios asociados al salario son compartidos con otros agentes en la economía de cada zona, que no experimentan las ganancias del sector maicero sino las pérdidas en otros sectores productivos. El resultado, como hemos visto, es que los costos indirectos de la adopción del maíz Bt pueden superar a los beneficios indirectos, redundando en pérdidas para el grueso de la población, como en el escenario 3.

Aquí cabe recordar que las limitaciones del presente estudio incluyen i) la incertidumbre en torno a las implicaciones de la tecnología GM en la productividad de distintos factores al nivel de la unidad productiva, ii) la falta de consideración de los efectos indirectos (o de equilibrio general) en la estimación econométrica de dichas implicaciones, realizada en otros países y iii) la ausencia de estudios longitudinales, incluso en otros contextos, que nos permitan considerar la importancia relativa de dichos efectos indirectos en las decisiones de productores que adoptan o no adoptan la tecnología. En este sentido, podemos afirmar que las conclusiones de estudios transversales—es decir, la gran mayoría de los estudios realizados sobre este tema hasta la fecha—deben considerarse tentativas.

El análisis de escenarios demuestra que todas las limitaciones anteriores pueden incidir significativamente en las conclusiones de un estudio. Las estimaciones de Yorobe y Smale (2012) en torno a los impactos del maíz Bt, en Filipinas, son un ejemplo relevante. Como dijimos, estos autores encuentran diferencias significativas—entre productores que adoptan y no adoptan la tecnología—en el ingreso neto del cultivo, el ingreso salarial fuera del campo y el ingreso total de la unidad productiva. Ellos infieren, a partir de dichos resultados, que las diferencias constituyen ventajas en la adopción de maíz Bt. Sin embargo, los escenarios aquí presentados sugieren que las diferencias en el ingreso de ambos grupos, en un momento particular, pueden tener una explicación muy distinta. A saber, ambos grupos pueden haber experimentado pérdidas que, no obstante, pueden ser mayores para los productores que no adopten la tecnología.

El siguiente paso en el análisis de los costos y beneficios potenciales de la tecnología GM en el sector maicero mexicano consistiría en la realización de análisis de sensibilidad que nos permitan reducir la amplia incertidumbre asociada al tema.

Referencias

- Abt Associates (2014) *Enhancing capacity for low emission development strategies: Assistance to the Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático*. May 15, 2014.
- Anderson, K. y L.A. Jackson (2005a) Some implications of GM food technology for policies for Sub-Saharan Africa. *Discussion Paper No. 0409, Centre for International Economic Studies, University of Adelaide*.
- Anderson, K. y L.A. Jackson (2005b) GM crop technology and trade restraints: economic implications for Australia and New Zealand. *The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics* 49: 263-281.
- Anderson, K. y S. Yao (2003) *China, GMOs, and world trade in agricultural and textile products*. Paper prepared for the International Workshop on Plant Biotechnology Policy, Beijing, 18-20 July 2001.
- Anderson, K. et al. (2004) Trade, standards, and the political economy of genetically modified food. *Discussion Paper No. 0410, Centre for International Economic Studies, University of Adelaide*.
- Anderson, K. et al. (2005) Genetically modified rice adoption: Implications for welfare and poverty alleviation. *Journal of Economic Integration* 20: 771-788.
- Anderson, K. et al. (2008) Recent and prospective adoption of genetically modified cotton: A global computable general equilibrium analysis of economic impacts. *Economic Development and Cultural Change*: 265-296.
- Araujo Enciso, S.R. (2011) Análisis de transmisión de precios entre los mercados de maíz mexicanos y el mercado estadounidense: métodos lineales y no-lineales. *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros* 229: 39-78.
- Ávila, F. et al. (2014) Los productores de maíz en Puebla ante la liberación de maíz genéticamente modificado. *Sociológica* 29(82): 7-44.
- Bennet R. et al. (2006) Farm-level economic performance of genetically modified cotton in Maharashtra, India *Review of Agricultural Economics* 28(1): 59-71.
- Blanco C.A. et al. (2014) Maize pests in Mexico and challenges for the adoption of integrated pest management programs. *Journal of Integrated Pest Management* 5(4):
doi:<http://dx.doi.org/10.1603/IPM14006>
- Brookes G. y P. Barfoot (2014) Economic impact of GM crops: The global income and production effects 1996-2012. *GM Crops & Food* 5(1): 65-75.
- Brooks, J., G. Dyer y J.E. Taylor (2008) Modelling agricultural trade and policy impacts in less developed countries. *OECD Food, Agriculture and Fisheries Working Papers* No 11.

- Carpenter J.E. (2003a) The socio-economic impacts of currently commercialised genetically engineered crops. *Int. J. Biotechnology* 12(4): 249-267.
- Carpenter J.E. (2003b) Peer-reviewed surveys indicate positive impact of commercialized GM crops. *Nature* 28: 319-321.
- Chauvet M. y E. Lazos (2014) El maíz transgénico en Sinaloa: tecnología inapropiada, obsoleta o de vanguardia? Implicaciones socioeconómicas de la posible siembra comercial. *Sociológica* 29(82): 7-44.
- Dyer G. (2015) *Extensiones al Modelo de Agentes Rurales en un Contexto de Equilibrio General para México*. Reporte presentado al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- Dyer (2015) Políticas para el sector maicero. In: Yúnez Naude, A., F. Rivera Ramírez, A. Chávez Alvarado, J. Mora Rivera y J. Edward Taylor (Eds.). *La economía del campo mexicano: tendencias y retos para su desarrollo*. El Colegio de México.
- Dyer, G. y M. Nijnik (2013) Implications of carbon forestry programs on local livelihoods and leakage. *Annals of Forest Science* DOI 10.1007/s13595-013-0293-9.
- Dyer G. y J.E. Taylor (2011) The corn price surge: Impacts in rural Mexico. *World Development* 39: 1878-1887.
- Dyer G. et al. (2014) *Costos y beneficios de los cultivos genéticamente modificados en México: Un análisis de equilibrio general*. Segundo Reporte a la CibioGem.
- Dyer et al. (2006) Subsistence Response to Market Shocks. *American Journal of Agricultural Economics* 88(2): 279-291.
- Dyer, G., R. Matthews y P. Meyfroidt (2012) Is there an Ideal REDD+ Program? An Analysis of Policy Trade-offs. *PLoS ONE* 7(12): e52478. doi:10.1371/journal.pone.0052478
- Elbehri, A. y S. Macdonald (2004) Estimating the impact of transgenic Bt cotton on West and Central Africa: A general equilibrium approach. *World Development* 32: 2049-2064.
- Falck-Zepeda et al. (2012) Caught between Scylla and Charybdis: Impact estimation issues from the early adoption of GM maize in Honduras. *AgBioForum* 15(2): 138-151.
- Federof N.V. et al. (2010) Radically rethinking agriculture for the 21st century. *Science* 327: 833-834.
- Finger R. et al. (2011) A meta analysis on farm-level costs and benefits of GM crops. *Sustainability* 3: 743-762.
- Frisvold, G.B. y J.M. Reeves (2007) *Economy-wide impacts of Bt cotton*. Proceeding of the Beltwide Cotton Conference, January 2007.

- Frisvold G.B. et al. (2006) Bt cotton adoption in the United States and China: International trade and welfare effects. *AgBioForum* 9: 69-78.
- Hareau, G.G. et al. (2004) *Potential benefits of transgenic rice in Asia: A general equilibrium analysis*. Selected Paper prepared for the Annual meeting of the American Agricultural Economics Association, August 1-4, 2004.
- Hertel T. (Ed.) (1997) *Global Trade Analysis: Modeling and Applications*. Cambridge University Press.
- Huang, J. et al. (2004) Biotechnology boosts to crop productivity in China: trade and welfare implications. *Journal of Development Economics* 75: 27-54.
- Lusk J.L. et al. (2005) A meta-analysis of genetically modified food valuation studies. *Journal of Agricultural Resource Economics* 30(1): 28-44.
- Motamed, M., Foster, K. A., & Tyner, W. E. (2008). Applying cointegration and error correction to measure trade linkages: Maize prices in the United States and Mexico. *Agricultural Economics* 39: 29–39.
- Mutuc, M.E., et al. (2011) Yields, insecticide productivity, and Bt corn: Evidence from damage abatement models in the Philippines. *AgBioForum* 14(2): 35-46.
- Matthews, R. y G. Dyer (2011) Evaluating the impacts of REDD+ at sub-national scales: Are our frameworks and models good enough? *Carbon Management* 2(5): 517-527.
- Pray C. et al (2001) Impact of Bt cotton in China. *World Development* 29(5): 813-825.
- Qaim M. (2005) Agricultural biotechnology adoption in developing countries. *Amer. J. Agr. Econ.* 87(5): 1317-1324.
- Qaim M. (2009) The economics of genetically modified crops. *Annu. Rev. Resour. Econ.* 1: 665-693.
- Qaim M. y A. de Janvry (2005) Bt cotton and pesticide use in Argentina: economic and environmental effects. *Environmental and Development Economics* 10: 179-200.
- Qaim M. y G. Traxler (2005) Roundup ready soybeans in Argentina: farm level and aggregate welfare effects. *Agricultural Economics* 32: 73-86.
- Qaim M. y D. Zilberman (2005) Yield effects of genetically modified crops in developing countries. *Science* 299: 900-902.
- SAGARPA (2012) Acuerdo por el que se determinan centros de origen y centros de diversidad genética del maíz. *Diario Oficial*, Noviembre 2, 2012.
- SAGARPA (2014) Acuerdo por el que se dan a conocer las Reglas de Operación de los programas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. *Diario Oficial*, Diciembre 28, 2014.

- SAGARPA-SENASICA (sf) Resoluciones a solicitudes de permiso de liberación al ambiente de organismos genéticamente modificados ingresadas en 2008-2016.
- Sahai, S. (2003) The Bt cotton story: The ethics of science and its reportage. *Current Science* 84(8): 974-975.
- Smale, M. et al. (2006a) Bales and balance: A review of the methods used to assess the economic impact of Bt cotton on farmers in developing economies. *AgBioForum* 9(3): 195-212.
- Smale, M. et al. (2006b) Parables: Applied economics literatura about the impact of genetically engineered crop varieties in developing economies. *Ept Discussion Paper 158*. IFPRI, Washington, D.C.
- Piña S. y J.L. Solleiro (2013) México. En: *Introducción al ambiente del maíz transgénico: Análisis de ocho casos en Iberoamérica* (Solleiro, J.L. y R. Castanon, Eds.) AgroBio México, México.
- Thirtle C. et al. (2003) Can GM-technologies help the poor? The impact of Bt cotton in Makhathini Flats, KwaZulu-Natal. *World Development* 31(4): 717-732.
- Van Meijl, H. y F. van Tongeren (2002) *International diffusion of gains from biotechnology and the European Union's Common Agricultural Policy*. Paper presented at the 4th Annual Conference on Global Economic Analysis, Purdue University. June 27-29, 2001.
- Witt, H. et al., (2006) Can the poor help GM crops? Technology, representation & cotton in the Makhathini Flats, South Africa. *Review of African Political Economy* 109: 497-513.
- Yorobe, J.M. y C.B Quicoy (2006) Economic impact of Bt corn in the Philippines. *The Philippine Agricultural Scientist* 89(3): 258-267.
- Yorobe y Smale. Impacts of Bt maize on smallholder income in the Philippines. *AgBioForum* 15(2): 152-162.
- Yúnez Naude, A., G. Dyer, F. Rivera. y O. Stabridis (2015) *El Programa de Combate a la Pobreza y las Políticas de Desarrollo Rural en México: Evaluación de Impactos y Opciones de Políticas Alternativas*.

Apéndice 1: El Modelo de Agentes Rurales en un Contexto de Equilibrio General (MARCEG V.3.0) para México

Modelo

En el modelo clásico de Singh et al., el agente productor/consumidor maximiza una función de utilidad $U = U(X_a, X_m, X_l)$, donde X_a , X_m , X_l representan su consumo de bienes agrícolas, manufacturados y ocio, respectivamente. El agente está sujeto a la siguiente restricción de liquidez, siendo que su consumo de bienes manufacturados está limitado por su ingreso monetario: $p_m X_m = p_a(Q - X_a) - w(L - F)$, donde p_m y p_a representan los precios de los bienes manufacturados y agrícolas, respectivamente; Q es la producción agrícola del agente, mientras que $L - F$ representa su demanda neta de mano de obra, donde L es demanda total y F oferta total.

El agente está sujeto a dos restricciones adicionales: una restricción de tiempo, $T = X_l + F$, y una restricción tecnológica, $Q = Q(L, K)$, donde K es la dotación de tierra agrícola del agente, que se supone constante. La primera de éstas implica que el agente utiliza su tiempo ya sea consumiendo ocio u ofreciendo mano de obra. Aunque la segunda restricción no tiene implicaciones adicionales en tanto no se adopte una forma funcional específica, es fácil vislumbrar la presencia de rendimientos decrecientes a escala para la mano de obra en la agricultura.

Las tres restricciones pueden reducirse a una sola que describe el gasto del agente como función de su ingreso total: $p_m X_m + p_a X_a + p_l X_l = wT + \Pi$, donde este último término representa las ganancias de su actividad productiva: $\Pi = p_a Q(L, K) - wL$.

La maximización de utilidad con respecto a la decisión de producción, L , genera la siguiente condición de primer orden: $p_a \partial Q / \partial L = w$. Esta implica, primero, que, en el óptimo, el valor del producto marginal de la mano de obra es igual al salario y, segundo, que el uso óptimo de mano de obra es función de los precios (exógenos) y la dotación de tierra del agente: $L^* = L^*(w, p_a, K)$. Insertando esta función del lado derecho de la restricción presupuestal muestra que el consumo del agente se determina de forma

recursiva una vez que éste alcanza el nivel óptimo de producción: $p_m X_m + p_a X_a + p_l X_l = Y^*$, donde Y^* es el ingreso óptimo del agente.

La maximización de la función de utilidad sujeta a esta última restricción genera las siguientes condiciones de primer orden para el consumo: $\partial U/\partial X_m = \lambda p_m$, $\partial U/\partial X_a = \lambda p_a$ y $\partial U/\partial X_l = \lambda w$. Es decir, el consumo óptimo es una función del ingreso óptimo y los precios: $X_i = X_i(p_m, p_a, w, Y^*)$.

Es posible explorar más a fondo las implicaciones del modelo tras adoptar formas específicas para las funciones de utilidad y producción de los agentes. Suponiendo que la producción puede aproximarse a través de una función Cobb-Douglas con rendimientos constantes a escala, de manera que $Q = AL^\alpha K^{1-\alpha}$, la condición de primer orden para la maximización de las ganancias es la siguiente: $\alpha p_a Q/L = w$.⁶ Dado el supuesto de que el uso de tierra agrícola está restringido a la dotación de cada agente, que es constante, es claro que la mano de obra muestra rendimientos decrecientes.

De forma similar, si suponemos que la utilidad también puede representarse a través de una función Cobb-Douglas, el consumo toma la forma de un sistema lineal de gasto (LES por sus siglas en inglés), donde la fracción del gasto total destinado a un bien o servicio particular es constante. Si definimos β_i como la fracción destinada al bien i , entonces tenemos que $\beta_a Y^* = p_a X_a$, $\beta_m Y^* = p_m X_m$ y $\beta_l Y^* = p_l X_l$.⁷

Por otra parte, el modelo de Singh et al. es suficientemente flexible para representar una amplia gama de agentes, desde el que es exclusivamente productor—i.e., la empresa—hasta aquel que exclusivamente consume—i.e., el hogar asalariado. Como puede verse, el modelo puede reducirse fácilmente al caso del productor dado que, en el modelo, las decisiones de consumo son recursivas respecto a las de producción. El caso opuesto es aquel en donde $K = 0$ y, dado que $Q(L,0) = 0$, $L^* = 0$, por

⁶ Otros autores han demostrado que esta forma funcional constituye una aproximación satisfactoria a formas de mayor complejidad pero cuyas implicaciones son difíciles de interpretar en un contexto de equilibrio general.

⁷ Dado que $\beta_a + \beta_m + \beta_l = 1$, sigue siendo cierto que el ingreso total es $Y = p_a X_a + p_m X_m + p_l X_l$.

lo que el agente maximiza su utilidad exclusivamente a través de sus decisiones de consumo bajo la siguiente restricción de liquidez: $p_m X_m + p_a X_a = wF$.

En el caso del agente productor/consumidor, el modelo de Singh et al. permite la simulación del denominado efecto ingreso (o *profit effect*) que limita la comercialización de bienes agrícolas cuando los agentes consumen una parte de su producción, como es el caso de los campesinos. A saber, el efecto de un aumento de precio en el consumo del bien agrícola consiste del efecto precio, que tiende a reducir dicho consumo, más el efecto ingreso, que tiende a aumentarlo: $dX_a/dp_a = \partial X_a/\partial p_a + \partial X_a/\partial Y \cdot \partial Y/\partial p_a$. Es decir que, debido al efecto ingreso, cambios en el precio de los cultivos básicos tienden a tener un efecto limitado en su oferta. Como se sabe, esta es una característica propia del agro mexicano que, sin embargo, no está representada en modelos agregados basados en un agente representativo.

Sin embargo, el modelo de Singh et al. dista de reflejar el conjunto entero de condiciones que imperan en áreas en desarrollo, incluido el medio rural mexicano, como son la ausencia de mercados o la presencia de costos de transacción que limitan la participación de determinados agentes los mercados aun cuando éstos están presentes. Ambos casos han sido documentados en México, particularmente en lo concerniente al maíz, principal cultivo en el país.

El modelo de Singh et al. fue sujeto a diversas modificaciones, en el contexto del Modelo, dando como resultado un modelo más general que, en casos particulares, permite simular condiciones como las anteriores. En el Modelo, un agente puede:

- utilizar capital físico;
- utilizar insumos productivos en proporciones fijas y/o variables;
- sustituir insumos por mano de obra o viceversa;
- producir cultivos de autoconsumo y/o comerciales;
- participar en actividades no agrícolas;
- participar en mercados de tierra (relajándose así el supuesto de una dotación constante);
- enfrentar la ausencia de mercados (lo cual permite la presencia de cultivos de autoconsumo);

- o sufrir costos de transacción específicos a cada agente y/o localidad.

Costos de transacción a nivel del agente. La presencia de costos de transacción en diversos mercados y su papel en el precio de sendos bienes es suficientemente conocido. Menos claro es que, en áreas en desarrollo, los costos de transacción pueden ser específicos no sólo a ciertos mercados sino a determinados agentes involucrados en una transacción particular. El caso del maíz en México, por ejemplo, ha sido bien documentado. En atención a esto, el modelo del agente usado en Modelo permite la incorporación de costos de transacción (t) asociados a cualquier factor de la producción (f) y/o agente (h), de forma que el precio que dicho agente observa es función tanto de los precios del mercado como de costos de transacción específicos al mismo agente: $w_{f,h} = w_{f,h}(w_f, t_{f,h})$. En particular, el modelo supone que dichos costos son proporcionales a los precios, de forma que pueden representarse como un término multiplicativo: $w_{f,h} = t_{f,h} * w_f$. Además, los costos de transacción pueden estar asociados exclusivamente a operaciones de venta ($ts_{f,h}$) o de compra ($tb_{f,h}$) de un factor particular.

Cultivos comerciales y de autoconsumo. La distinción entre cultivos de autoconsumo y comerciales puede ser ambigua, pues un mismo cultivo puede ser de autoconsumo para algunos productores y netamente comercial para otros. No obstante, las diferencias en el manejo de estos dos tipos de cultivo pueden ser importantes. En México, por ejemplo, el maíz frecuentemente se valora a precios sombra muy por arriba de su precio en el mercado cuando se produce para autoconsumo pero no en otros casos. Esto puede deberse, entre otras causas, a diferencias en calidad que son apreciadas por el productor pero no por el mercado, o a la presencia de bienes y servicios no comerciables asociados al cultivo.

Gracias a su estructura anidada, el Modelo permite la consideración de tales idiosincrasias al nivel del productor, como ocurren en la realidad, y en algunos casos han sido identificadas econométricamente. En el Modelo, el cultivo de autoconsumo y su precio sombra pueden determinarse como resultado de la ausencia de un mercado (para bienes y servicios asociados) o de la presencia de costos de transacción (asociados a diferencias de calidad), según sea el caso.

Cultivares genéticamente modificados: posibilidades de sustitución en la función de producción. El uso extendido de cultivares genéticamente modificados (GM) de maíz y algodón, entre otros cultivos, ha demostrado las posibilidades de esta tecnología en la sustitución de insumos y factores productivos en la agricultura. Un caso bien conocido es el de las variedades Bt, que reducen sustancialmente la necesidad de agroquímicos para lograr un resultado particular en el control de determinadas plagas de insectos. Es decir que la semilla Bt sustituye simultáneamente a otros insumos—i.e., el uso de agroquímicos—y a un factor de la producción—i.e., la mano de obra necesaria para aplicarlos.

Un caso distinto es el de las variedades Round-up Ready, que confieren al cultivo GM resistencia al herbicida del mismo nombre. En este caso, la semilla GM no sustituye al agroquímico sino, por el contrario, permite su utilización, la cual supone también el uso de mano de obra. Sin embargo, la adopción del herbicida simultáneamente vuelve redundante la mano de obra necesaria para el deshierbe manual, lo cual podría resultar en una reducción neta del gasto en mano de obra.

Otra modificación al modelo de Singh et al., descrito arriba, consistió en introducir la posibilidad de sustituir mano de obra por insumos productivos, y viceversa, a través de una función de elasticidad de sustitución constante (CES por sus siglas en inglés). La función CES supone que la mano de obra (L) y los insumos (IN) se combinan para producir un factor combinado ($COMP$) en correspondencia con la demanda de este factor por un agente particular para una actividad específica: $COMP_{i,h} = A(\gamma_{IN,i,h} IN_{i,h}^\rho + \gamma_{L,i,h} L_{i,h}^\rho)^{1/\rho}$, donde los subíndices i y h representan la actividad y agente involucrados. La demanda del factor combinado responde a las condiciones de primer orden descritas arriba para otros factores: $\alpha_{p,a,h} Q_{i,h} / COMP_{i,h} = w_{COMP,i,h}$, donde este último término representa el precio del factor, dado por un promedio ponderado del precio de insumos y mano de obra: $w_{COMP,i,h} = (w_{L,i,h}^2 L_{i,h} + w_{IN,i,h}^2 IN_{i,h}) / (w_{L,i,h} L_{i,h} + w_{IN,i,h} IN_{i,h})$. Una condición de primer orden adicional requiere que la combinación precisa de mano de obra e insumos sea función de sus precios relativos: $IN_{i,h} / L_{i,h} = \gamma_{IN,i,h} / \gamma_{L,i,h} (w_{L,i,h} / w_{IN,i,h})^{1/(1-\rho)}$.

Actividades agrícolas y no agrícolas. Como es bien sabido, en México, pocos productores, ya sean propietarios, medieros o arrendatarios, se dedican exclusivamente a actividades agrícolas o forestales. A lo largo de las últimas décadas ha crecido la importancia de actividades no agrícolas como fuente de

ingreso de la población rural. Los sectores comercio, transporte, construcción y diversos servicios contribuyen una fracción sustancial del producto bruto rural.

Dado que el Modelo se calibra a partir de información de encuestas, los agentes en el modelo participan en la misma diversidad de actividades que los hogares y empresas en la muestra. Al nivel de agente, la clasificación de estas actividades corresponde a la descripción proporcionada por los entrevistados, de forma que el modelo refleje la integración vertical observada en la realidad. La elaboración de productos derivados de la leche, por ejemplo, puede estar integrada a la actividad pecuaria en la misma unidad productiva o no, según sea el caso, lo cual influye en la magnitud del multiplicador a distintos niveles, e.g., el de la unidad productiva o de la localidad.

La clasificación de actividades a niveles por encima de la unidad productiva es una decisión de calibración que refleja el interés del modelador. Se pretende que el modelo ofrezca flexibilidad en este paso, permitiendo distintas posibilidades de agregación según las necesidades del escenario correspondiente.

Mercados locales y regionales. Como se dijo anteriormente, en el Modelo, diversos precios pueden determinarse a nivel de la localidad o región dependiendo de la extensión de los mercados involucrados. Este puede ser el caso tanto para factores productivos como para bienes y servicios ya sea de consumo intermedio o final. La determinación de precios naturalmente está ligada a restricciones en el comercio. Cuando un mercado particular se circunscribe a una sola localidad, la suma de excedentes y déficits comerciales de agentes individuales en la localidad es igual a cero de forma que no hay intercambio comercial con el exterior. En el caso contrario, es decir, cuando el mercado abarca más de una localidad, extendiéndose por toda una región, las localidades individuales pueden generar excedentes (o déficits) comerciales, pero la región es autosuficiente.

La especificación de estas condiciones en un modelo es comúnmente conocida como “reglas de cierre”. En principio, las reglas de cierre pueden generarse a partir de información de encuestas en que se identifique el origen o destino de los bienes y servicios intercambiados, como es el caso de la ENRHUM.

Esta práctica tiene la ventaja de generar un mosaico de mercados de distintas dimensiones que corresponde de forma realista con la integración comercial del sector rural en el país.

En el caso anterior, el comercio nacional de un cierto bien o servicio se determina como la suma del intercambio presente en mercados independientes sujeto a precios endógenos. Alternativamente, diversos mercados locales pueden estar conectados de forma imperfecta debido a la presencia de costos de transacción a este nivel.

Costos de transacción a nivel de la localidad. Además de la presencia de costos de transacción específicos a cada agente, el modelo permite la especificación de costos de transacción comunes a todos los agentes que participan en un mercado o localidad particular. En este caso también, el modelo supone que dichos costos son proporcionales al precio del factor en cuestión, de forma que éstos pueden representarse como un término multiplicativo: $w_{f,v} = t_{f,v} * w_f$, donde $w_{f,v}$ y w_f representan, respectivamente, el precio del factor f en el mercado de la localidad v y el observado en un mercado más amplio. La posibilidad de que dichos costos estén asociados ya sea a la compra o a la venta de un bien implica la existencia de precios de compra y de venta, así como de precios endógenos cuando un mercado se encuentra temporalmente separado del resto.

Uso del suelo y calidad de la tierra. Como habría de esperarse, el Modelo presta particular atención al uso del suelo y el intercambio de la tierra. La historia de la consideración del factor “tierra” en un contexto de equilibrio general es relativamente reciente, pues, antes del presente siglo, pocos modelos contemplaban este factor. El proceso de su incorporación ha sido gradual. Últimamente el énfasis ha sido en entender las implicaciones de diferencias en la aptitud de la tierra. La heterogeneidad en la calidad de la tierra puede tener un papel importante en las estrategias de mitigación de emisiones, por ejemplo, al influir en la distribución de cultivos energéticos en el contexto de la industria de los biocombustibles.

A escala de la unidad productiva, la calidad y aptitud de la tierra y su influencia en la distribución de distintas variedades de un mismo cultivo tradicionalmente ha sido estudiada a partir de información de

encuestas. A escala geográfica, sin embargo, el problema de la heterogeneidad de la tierra se combina con el de la variación climática. Un cultivo energético, como la caña de azúcar, por ejemplo, requiere tierra fértil y con suficiente humedad en un clima cálido. Como podría esperarse, interacción entre calidad de la tierra, aptitud del suelo y variación climática se torna compleja debido al proceso de la evapotranspiración.

Modelos agregados han abordado ambos problemas (i.e., clima y suelo) simultáneamente suponiendo la existencia de amplias zonas agro-ecológicas al interior de las que es posible sustituir, aunque de forma imperfecta, tierra de distintas calidades. Comúnmente, el problema de sustitución imperfecta se ha resuelto suponiendo que la oferta de tierra constituye una función con elasticidad de transformación constante (CET por sus siglas en inglés) anidada. En su nivel más desagregado, la función supone que la tierra que actualmente sostiene cierto cultivo es un sustituto imperfecto de aquella en otro cultivo dentro del mismo sector (e.g., sector oleaginosas). El siguiente nivel restringe la sustitución de tierra entre sectores, y así sucesivamente.

Las implicaciones de esta estructura de sustitución son sustanciales. Al nivel sectorial, una solución de esquina, en el modelo, podría significar el desplazamiento total de un cultivo por otro a escala nacional o dentro de un bloque comercial (e.g., la Unión Europea o Norte América). El uso de una función de oferta CET al nivel sectorial impide tal resultado sin necesidad de llevar una contabilidad de la superficie agrícola de distintas calidades o siquiera conocer la verdadera aptitud del suelo. Claramente, a este nivel de agregación, esta representa una solución aceptable basada en lo que parece un supuesto realista. Pero éste no es el caso a la escala de la unidad productiva, en donde la solución de esquina es una posibilidad empírica. A este escala es posible incluso expandir la superficie de un cultivo sin límites definidos siempre que suficiente tierra de aptitud apropiada esté disponible en el mercado.

Analizar el intercambio de tierra que ocurre entre agentes, evidentemente, requiere de una contabilidad detallada de la superficie agrícola, la cual no es posible cuando se usa una función CET agregada como lo hacen otros modelos, donde la tierra no se cuantifica en unidades físicas de superficie sino en superficies equivalentes (i.e., area equivalents) en términos de su presunta aptitud. Por otra parte, la calibración de una función CET requiere estimaciones de diversos parámetros que, por lo general, no

están disponibles. No obstante que existen algunas estimaciones para México, éstas datan de los años ochenta además de ser muy generales.

Afortunadamente, un modelo como el Modelo no está sujeto a las mismas necesidades o problemática que uno agregado. Es decir que un modelo desagregado puede representar satisfactoriamente la heterogeneidad observada en las condiciones agroclimáticas de un país, simulando apropiadamente las limitaciones en la distribución de diversos usos del suelo asociadas a dicha heterogeneidad, sin necesidad de utilizar una función CET de oferta de tierra. Esto se debe a la posibilidad de restringir las opciones productivas a disposición de cada agente a las propias de la localidad en que cultiva. Incluso suponiendo que las condiciones agroecológicas al interior de cada localidad son homogéneas, la variación entre localidades evita una solución de esquina a nivel agregado, como es deseable, sin impedir que un cultivo desplace a otro completamente al nivel de la unidad productiva o incluso de la localidad.

Evidentemente, la heterogeneidad local en la calidad de la tierra puede definir aún más el límite en la distribución de un cultivo, restringiendo así su expansión máxima. La ENHRUM cuenta con información sobre la calidad de la tierra al interior de la unidad productiva, misma que puede ser usada con este propósito. Sin embargo, en su primera versión, el modelo supone que la tierra es homogénea dentro y entre unidades productivas en una misma localidad.

Apéndice 2: Variables, parámetros, conjuntos y ecuaciones del Modelo

Conjuntos

i	Bienes y servicios
ipr	Bienes y servicios producidos en la economía
f	Factores productivos
fm	Factores productivos comerciables
fmp	Mano de obra, tierra e insumos variables
fmq	Mano de obra y tierra
fl	Mano de obra
fld	Tierra
fc	Capital
fk	Factor combinado
h	Agentes
v	Localidades
r	Regiones

Variables

$PVA_{ipr,h}$	Precios de bienes y servicios netos de insumos (Price value added)
$P_{ipr,h}$	Precios de bienes y servicios
$Q_{ipr,h}$	Producción de bienes y servicios
$FD_{ipr,f,h}$	Demanda de factores productivos
$W_{f,h}$	Precios de los factores productivos al nivel del agente
$Wdiff_{ipr,f,h}$	Ajuste sectorial de precios de los factores al nivel del agente
$W_{f,v}$	Precios de los factores productivos al nivel de local
WR_f	Precios de los factores productivos al nivel de regional
$FID_{ipr,h}$	Demanda de insumos productivos fijos
$LD_{ipr,h}$	Demanda de mano de obra

$ID_{ipr,h}$	Demanda de insumos productivos variables
$T_{i,h}$	Acervos a nivel del agente
Y_h	Ingreso total (full income) a nivel del agente
\hat{Y}_h	Ingreso exógeno a nivel del agente
$X_{i,h}$	Demanda de bienes y servicios al nivel del agente
$MS_{i,h}$	Excedente comerciable de bienes y servicios al nivel del agente
$FS_{f,h}$	Oferta de factores productivos al nivel del agente
$HL_{f,h}$	Demanda neta de factores productivos al nivel del agente
$HLS_{f,h}$	Oferta de factores productivos al nivel del agente
$HLD_{f,h}$	Demanda de factores productivos al nivel del agente
$VNHL_{f,v}$	Demanda neta de factores productivos al nivel local
$VHLS_{f,v}$	Oferta de factores productivos al nivel local
$VHLD_{f,v}$	Demanda de factores productivos al nivel local
$NLH_{f,r}$	Demanda neta de factores productivos al nivel regional
GDP_r	Producto a nivel regional
GDP_v	Producto a nivel local

Parámetros

$vas_{ipr,h}$	Fracción del valor agregado en el valor de bienes y servicios
$al_{ipr,h}$	Constante de desplazamiento de la función Cobb-Douglass
$\alpha_{ipr,h}$	Exponentes de la función Cobb-Douglass
$ioc_{ipr,h}$	Coefficiente fijo de la matriz Insumo Producto (Input Output)
$\beta_{i,h}$	Propensión marginal a consumer
$ac_{ipr,h}$	Constante de desplazamiento de la función CET
$\gamma_{i,ipr,h}$	Coefficiente de la función CET
$\rho_{ipr,h}$	Parámetro de la función CET
$ts_{fm,h}$	Costos de transacción a la venta al nivel del agente
$tb_{fm,h}$	Costos de transacción a la compra al nivel del agente
$tvS_{fm,h}$	Costos de transacción a la venta al nivel local

$tvb_{fm,h}$

Costos de transacción a la compra al nivel local

Ecuaciones

PRODUCCION A NIVEL DEL AGENTE

Precios netos de insumos (Price value added)

$$PVA_{ipr,h} = vas_{ipr,h} P_{ipr,h}$$

Producción

$$Q_{ipr,h} = al_{ipr,h} \prod_f FD_{ipr,f,h}^{\alpha_{ipr,f,h}}$$

Demanda de factores productivos (condiciones de primer orden)

$$FD_{ipr,f,h} W_{f,h} Wdiff_{ipr,f,h} = \alpha_{ipr,f,h} PVA_{ipr,h} Q_{ipr,h}$$

Demanda de insumos fijos

$$FID_{ipr,h} = ioc_{ipr,h} Q_{ipr,h}$$

INGRESO Y CONSUMO DEL AGENTE

Ingreso del hogar

$$Y_h = \sum_{ipr} (PVA_{ipr,h} Q_{ipr,h} - W_{fl,h} LD_{ipr,h} - W_{IN,h} ID_{ipr,h}) + \sum_i (T_{i,h} P_{i,h}) + \bar{Y}_h$$

Demandas de consumo

$$X_{i,h} = \beta_{i,h} Y_h / P_{i,h}$$

Excedentes comerciables

$$MS_{i,h} = Q_{i,h} - X_{i,h} + T_{i,h}$$

Restricción de tiempo

$$FS_{fl,h} = T_{L,h} - X_{L,h}$$

Precio de oportunidad del ocio

$$P_{L,h} = W_{fl,h}$$

OFERTA Y DEMANDA DEL AGENTE

Oferta y demanda de capital

$$FS_{fc,h} = \sum_{ipr} FD_{ipr,fc,h}$$

Oferta y demanda del factor compuesto

$$FD_{ipr,fk,h} = ac_{ipr,h} \left(\gamma_{fl,ipr,h} LD_{ipr,h}^{\rho_{ipr,h}} + \gamma_{IN,ipr,h} ID_{ipr,h}^{\rho_{ipr,h}} \right)^{1/\rho_{ipr,h}}$$

Precio del factor compuesto

$$\begin{aligned} & W_{fk,h} Wdiff_{ipr,fk,h} \\ &= (1/ac_{ipr,h}) \left(\gamma_{fl,ipr,h}^{1/(1-\rho_{ipr,h})} W_{fl,h}^{(\rho_{ipr,h}/(\rho_{ipr,h}-1))} + \gamma_{IN,ipr,h}^{1/(1-\rho_{ipr,h})} W_{IN,h}^{(\rho_{ipr,h}/(\rho_{ipr,h}-1))} \right)^{((\rho_{ipr,h}-1)/\rho_{ipr,h})} \end{aligned}$$

Oferta y demanda de mano de obra e insumos variables (condiciones de primer orden)

$$LD_{ipr,h}/ID_{ipr,h} = \left((\gamma_{fl,ipr,h}/\gamma_{IN,ipr,h}) (W_{IN,h}/W_{fl,h}) \right)^{(1/(1-\rho_{ipr,h}))}$$

Demanda neta de tierra

$$HL_{fld,h} = \sum_{ipr} FD_{ipr,fld,h} - FS_{fld,h}$$

Demanda neta de mano de obra

$$HL_{fl,h} = \sum_{ipr} LD_{ipr,h} - FS_{fl,h}$$

Demanda neta de insumos variables

$$HL_{IN,h} = \sum_{ipr} ID_{ipr,h}$$

Oferta y demanda neta de factores al nivel del agente y holgura complementaria

$$HLS_{fm,h} \geq -HL_{fm,h}$$

$$HLD_{fm,h} \geq HL_{fm,h}$$

$$HLS_{fm,h}HLD_{fm,h} = 0$$

Precios de los factores a nivel de hogar y localidad y holgura complementaria

$$W_{fmp,h} \geq ts_{fmp,h}WV_{fmp,v} \quad \forall h \in v$$

$$W_{fmp,h} \leq tb_{fmp,h}WV_{fmp,v} \quad \forall h \in v$$

$$HLS_{fm,h}(ts_{fm,h}WV_{fm,v} - W_{fm,h}) = 0 \quad \forall h \in v$$

$$HLD_{fm,h}(tb_{fm,h}WV_{fm,v} - W_{fm,h}) = 0 \quad \forall h \in v$$

OFERTA Y DEMANDA DE FACTORES EN MERCADOS LOCALES Y REGIONALES

Oferta neta de mano de obra al nivel de la localidad

$$VNHL_{fm,v} = \sum_{h \in v} HL_{fm,h}$$

Oferta y demanda de mano de obra al nivel de la localidad y holgura complementaria

$$VHLS_{fm,v} \geq -VNHL_{fm,v}$$

$$VHLD_{fm,v} \geq VNHL_{fm,v}$$

$$VHLS_{fm,v} VHLD_{fm,v} = 0$$

Demanda neta de mano de obra a nivel regional

$$NLH_{fm} = \sum_h HL_{fm,h}$$

Precios de los factores a nivel de localidad y región y holgura complementaria

$$WV_{fmq,v} \geq tvs_{fmp,v} WR_{fmq,r} \quad \forall v \in r$$

$$WV_{fmq,v} \leq tvb_{fmp,v} WR_{fmq,r} \quad \forall v \in r$$

$$VHLS_{fmq,v} (tvs_{fmq,v} WR_{fmq,r} - WV_{fmq,v}) = 0 \quad \forall v \in r$$

$$VHLD_{fmq,v} (tvb_{fmq,v} WR_{fmq,r} - WV_{fmq,v}) = 0 \quad \forall v \in r$$

PRODUCTO INTERNO BRUTO

Producto a nivel regional

$$GDP_r = \sum_{h \in r} Y_h$$

Producto a nivel localidad

$$GDP_v = \sum_{h \in v} Y_h$$