



CON MEJOR MAÍZ

HABRÁ MEJOR PAÍS

Impacto esperado del uso de biotecnología
en la producción de maíz en México

Manuel Molano¹

Instituto Mexicano para la Competitividad, AC²

¹ Manuel Molano es economista por el ITAM y maestro en economía agrícola por Imperial College y SOAS, Universidad de Londres. Por favor enviar comentarios a manuel.molano@imco.org.mx.

² Los puntos de vista aquí expresados no necesariamente son la postura institucional del Instituto Mexicano para la Competitividad, AC, o sus patrocinadores.

Índice

INTRODUCCIÓN

LA ECONOMÍA DEL MAÍZ EN MÉXICO: ¿QUÉ PODEMOS HACER PARA ELEVAR LA PRODUCTIVIDAD?.....	3
LOS PRECIOS POR TIPO DE MAÍZ, Y LAS BARRERAS A MOVERSE DE BLANCO A AMARILLO	6
EL VALOR DE LA GENÉTICA	11
PODEMOS AGREGAR VALOR SIN DEJAR DE PRODUCIR MAÍZ	11
¿POR QUÉ MÉXICO NO HA ADOPTADO ESTAS TECNOLOGÍAS?	12
SECCIÓN 1. ¿QUÉ ES BIOTECNOLOGÍA Y CÓMO SE UTILIZA?	13
1.1. TIPOS DE BIOTECNOLOGÍA	13
1.2. BIOTECNOLOGÍA EN MÉXICO	14
SECCIÓN 2. BENEFICIOS DEL USO DE LA BIOTECNOLOGÍA	16
SECCIÓN 3. MITOS SOBRE EL USO DE LA BIOTECNOLOGÍA	19
SECCIÓN 4. MODELO DE EQUILIBRIO GENERAL	24
Inducción a un mejor paquete tecnológico en el 50% de la superficie.....	25
SECCIÓN 5. CONCLUSIONES, MENSAJES A GRUPOS SOCIALES Y RECOMENDACIONES DE POLÍTICA PÚBLICA	28
Propuestas de política pública.....	32
Referencias bibliográficas.....	34
Anexo 1. El modelo de equilibrio general.....	38
Anexo 2. Código de GAMS para los experimentos de política pública.....	40

Introducción

La economía del maíz en México: ¿qué podemos hacer para elevar la productividad?

México es un país tradicionalmente productor de maíz, centro de origen y diversidad genética de esa planta, y uno de los lugares donde las implicaciones culturales, políticas y sociales del maíz son importantes.

Nuestra relación como país con el maíz es rica y compleja. No hay otro alimento tan cercano a la cultura y el corazón de los mexicanos. Sin embargo, la producción de maíz se realiza con tecnologías obsoletas y de alto riesgo, y los costos de esa ineficiencia afectan a México y de manera especial a los mexicanos más pobres.

La tecnología ha avanzado mucho en el tema en los últimos 90 años, desde los híbridos de los años 40 hasta la producción de maíz hoy en día utilizando las técnicas más avanzadas de modificación genética. Si México toma las decisiones tecnológicas correctas, podemos generar maíz de mejor calidad, usando menos recursos para ello.

La gráfica 1, abajo, ilustra las diferencias de productividad con los Estados Unidos para los dos principales tipos de maíz producidos en nuestro país. En el año 2014, con datos del SIAP¹, produjimos 20.7 millones de toneladas de blancos y 2.4 millones de toneladas de amarillo. Esta gráfica muestra los histogramas² de la productividad por hectárea cosechada por municipio-ciclo en el caso mexicano, y por condado-año para los Estados Unidos. La productividad por hectárea en los condados en Estados Unidos es de 8 t/ha³. Las hectáreas de 2 t/ha ó 12 t/ha existen, pero con frecuencias menores al 2.5% de la superficie. En la misma gráfica, la productividad de los condados estadounidenses está representada por una figura con forma de campana simétrica⁴ en color azul.

El contraste de México con los Estados Unidos es importante. Se puede observar la productividad mexicana y su frecuencia en la curva de color verde de la Gráfica 1. Una hectárea mexicana dedicada a la producción de maíz blanco, que es muy frecuente (ocurre en el 33% de toda la superficie), exhibe una productividad por hectárea de 1.5 a 2 toneladas. Encontramos superficie dedicada a maíz blanco con productividad de 4 toneladas por hectárea, pero esto es poco frecuente, tan sólo cerca del 7.5% de la superficie presenta esta situación. Comparando la moda (observación más frecuente o típica), el productor de maíz blanco en México tiene una productividad inferior a la del productor de los Estados Unidos por un múltiplo de 4 a 8 veces.

La historia del maíz amarillo en ambos países es bastante distinta. En México, la distribución de frecuencias tiene tres cimas bastante definidas, una con productividad inferior, otra parecida, y otra superior, al caso típico en los Estados Unidos. Con una frecuencia del 12% de la superficie, la

¹ datos.gob.mx: Índice de Volumen Físico Agropecuario 2014. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/indice-de-volumen-fisico-agropecuario>

² Diagramas de frecuencia que nos ayudan a evaluar la dispersión de los datos.

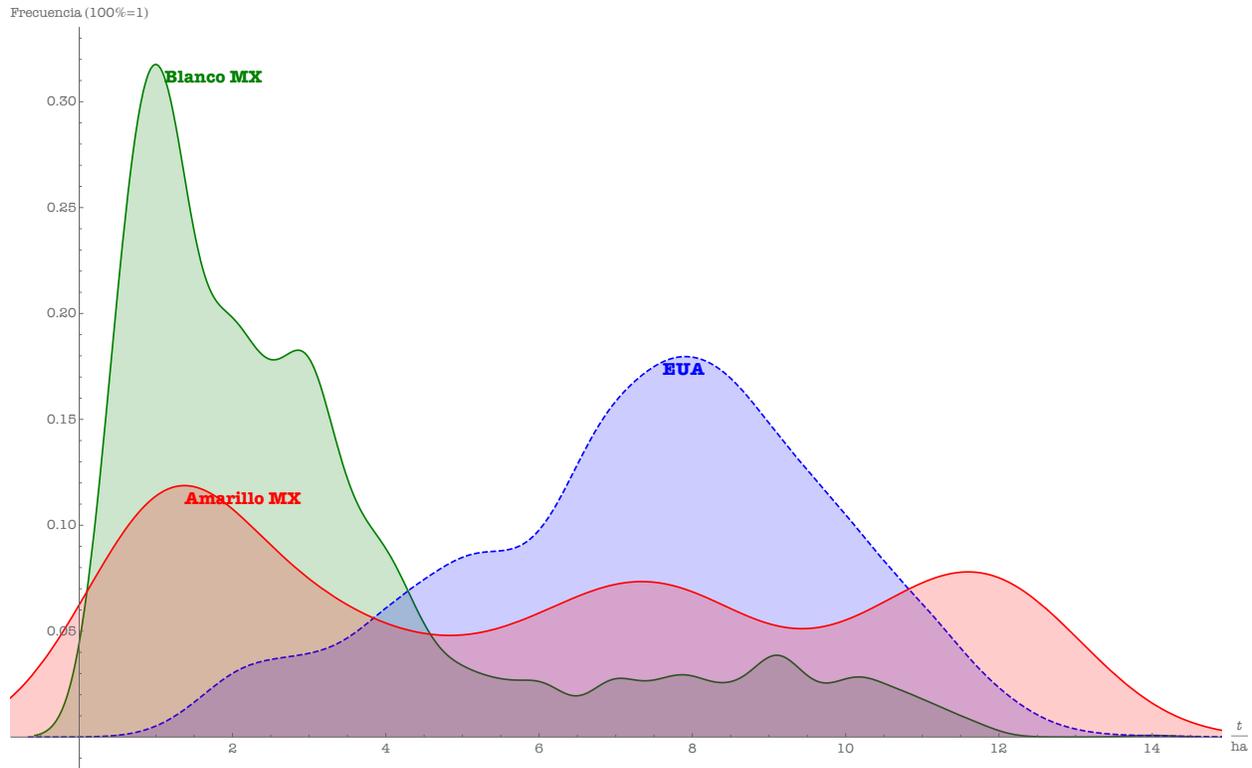
³ Nuestra conversión de bushels/acre a toneladas por hectárea supone bushels de 156 libras equivalentes a 0.0254012 toneladas métricas, y la conversión usual de 0.404687 hectáreas por acre. El promedio está ponderado por el número de hectáreas cosechadas en el condado del que se trate.

⁴ No es difícil demostrar que sigue una distribución normal o gaussiana.

productividad del maíz amarillo en México es entre 1.5 y 2 toneladas por hectárea, con una probabilidad cercana al 7% la productividad está en 7 t/ha, y con una probabilidad cercana al 9% está en 12 t/ha.

De hecho, hablando del maíz amarillo, la frecuencia relativa de productores con productividad arriba de 11 toneladas por hectárea es mayor en México que en Estados Unidos. La diferencia es que la superficie sembrada y cosechada, y la cantidad de maíz producido, es dos órdenes de magnitud mayor en los Estados Unidos que en México.

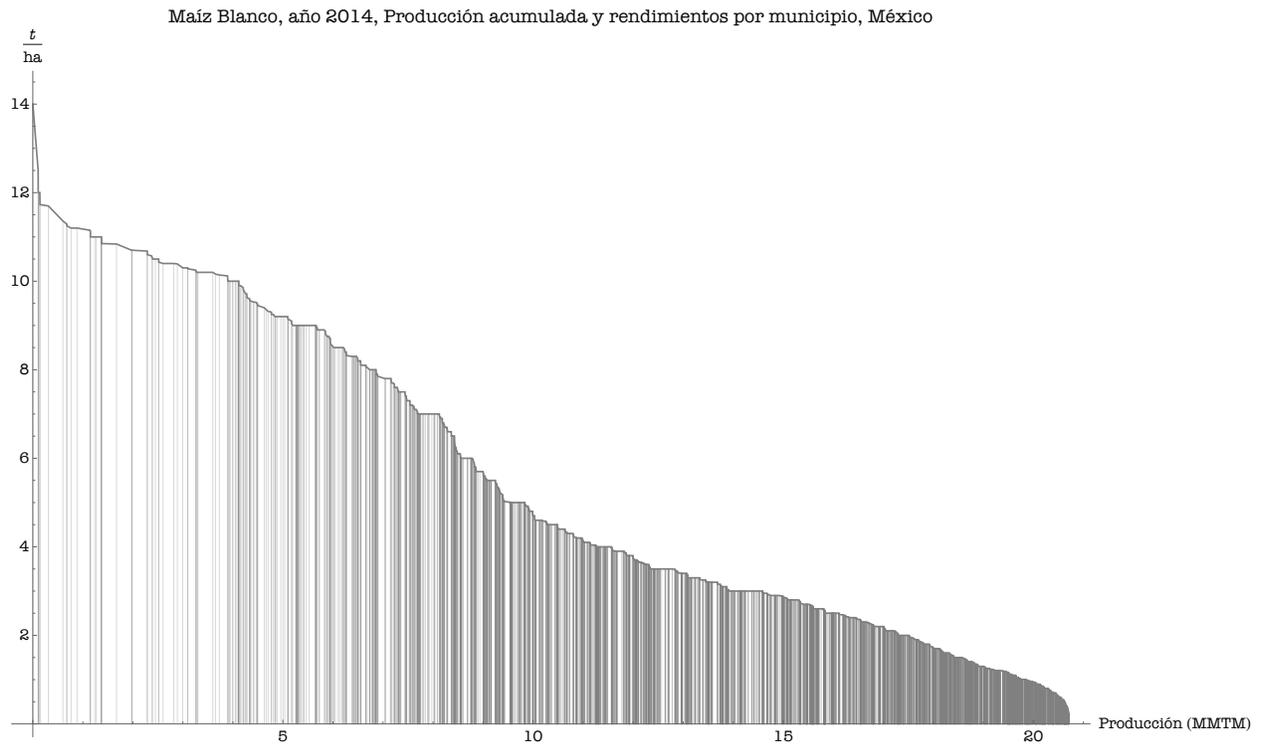
Gráfico 1. Productividad de maíz, municipios y condados, México y Estados Unidos



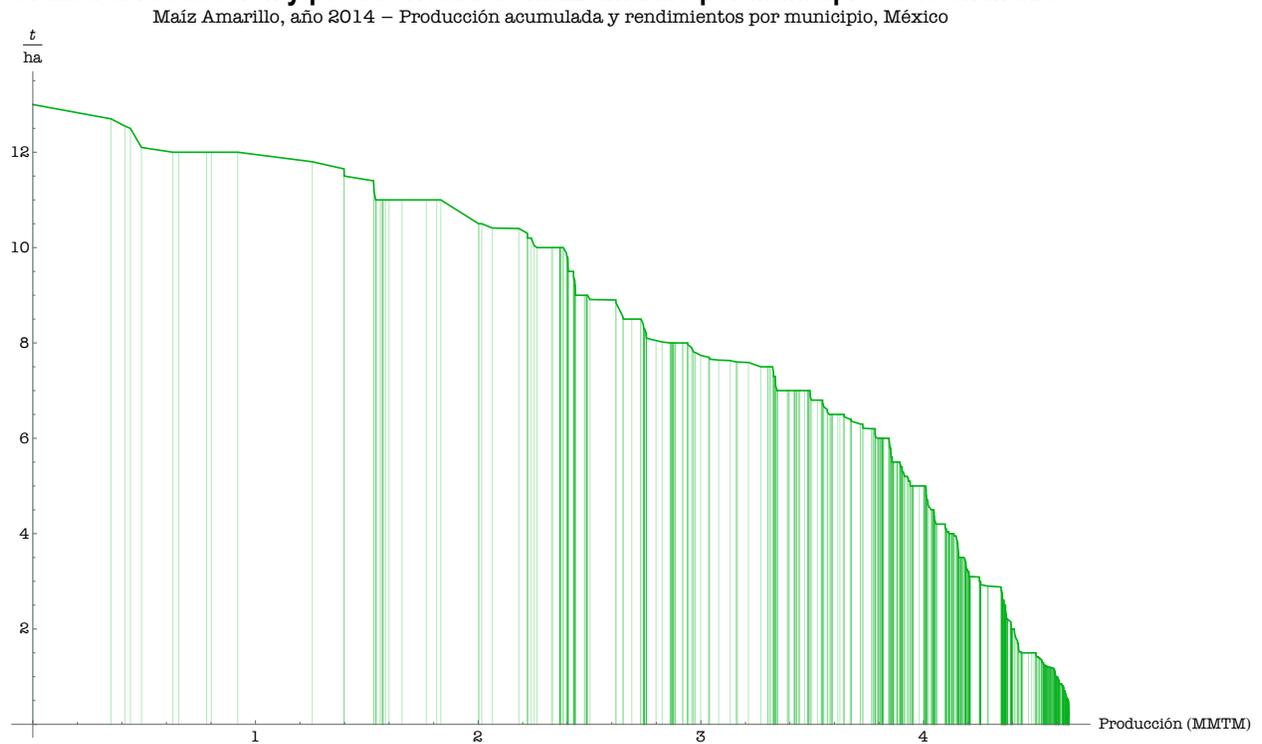
Fuente: Análisis IMCO, con datos municipales del Servicio de Información Agropecuario y Pesquero (SIAP) para los años 2013 y 2014 (disponibles en datos.gob.mx); Datos de producción de maíz a nivel condado en Estados Unidos del Economic Research Service del USDA;

Cuando vemos los datos de producción por municipio y condado en los dos países, la historia es muy parecida. Las gráficas 2 y 3, abajo, muestran la producción de cada uno de los municipios en cada ciclo en México para blancos y amarillos.

Gráfica 2. Producción y productividad de maíz blanco por municipio-ciclo en México, 2014



Gráfica 3. Producción y productividad de maíz amarillo por municipio-ciclo en México



En los gráficos anteriores, el ancho de cada barra representa la producción del municipio en el total, y su altura, la productividad en toneladas por hectárea.

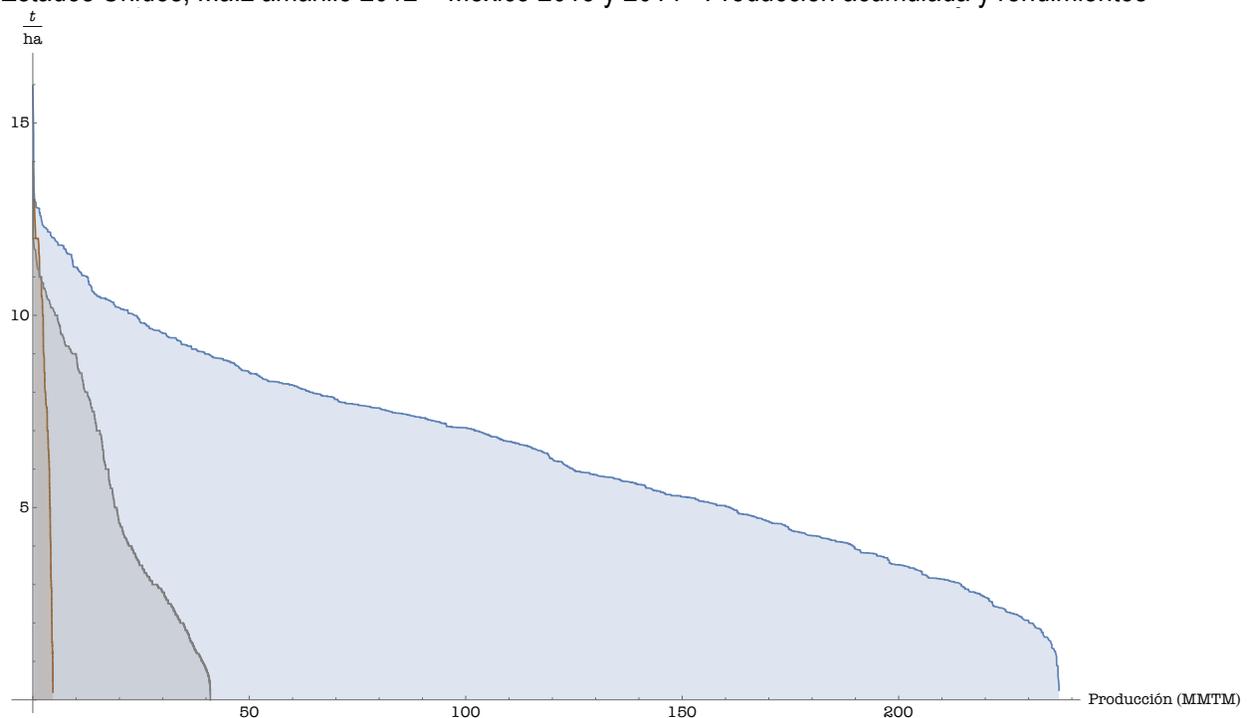
Claramente, los municipios de maíz blanco tienen superficies cosechadas más pequeñas que aquellos dedicados al maíz amarillo. El municipio a mitad de la gráfica en maíz amarillo tiene una productividad cercana a 6 t/ha. El municipio mediano en maíz blanco apenas llega a las 5 t/ha.

Cuando mostramos estas dos gráficas traslapadas con la producción y productividad acumulada de los Estados Unidos, las diferencias son muy patentes.

Unos pocos condados de los Estados Unidos podrían producir todo el maíz que se consume en México. La productividad es significativamente más alta en casi cualquier nivel, lo cual implica competitividad de costos: mientras más alto lo producido por hectárea, menor será el costo por tonelada. Los maiceros de los Estados Unidos pueden salir a mercado a mejor precio que nosotros. Por cantidad, también nos imponen condiciones de mercado. México es menos competitivo en la producción de maíz comparado con los Estados Unidos.

Gráfico 4. Producción y productividad de maíz, México y Estados Unidos

Estados Unidos, Maíz amarillo 2012 + México 2013 y 2014 - Producción acumulada y rendimientos



Fuente: USDA; SIAP; data.gob.mx . Producción para Estados Unidos del año 2012; producción para México de los años 2013 y 2014.

Los precios por tipo de maíz, y las barreras a moverse de blanco a amarillo

Los datos de productividad sugieren que México debería moverse rápidamente de la producción de blancos a amarillos. De hecho, el sector público ha dedicado cantidades importantes de recursos fiscales y esfuerzo negociador y de convencimiento a lograr esto. Todo el movimiento de "agricultura por contrato", en boga en la administración del presidente Fox, estaba encaminado a dicho fin: que se produjera lo que demanda la industria, lo cual implica un mayor balance de amarillos que blancos.

Curiosamente, una vez que desaparecen estos incentivos, los productores regresan a la producción de blancos, el maíz menos productivo por hectárea.

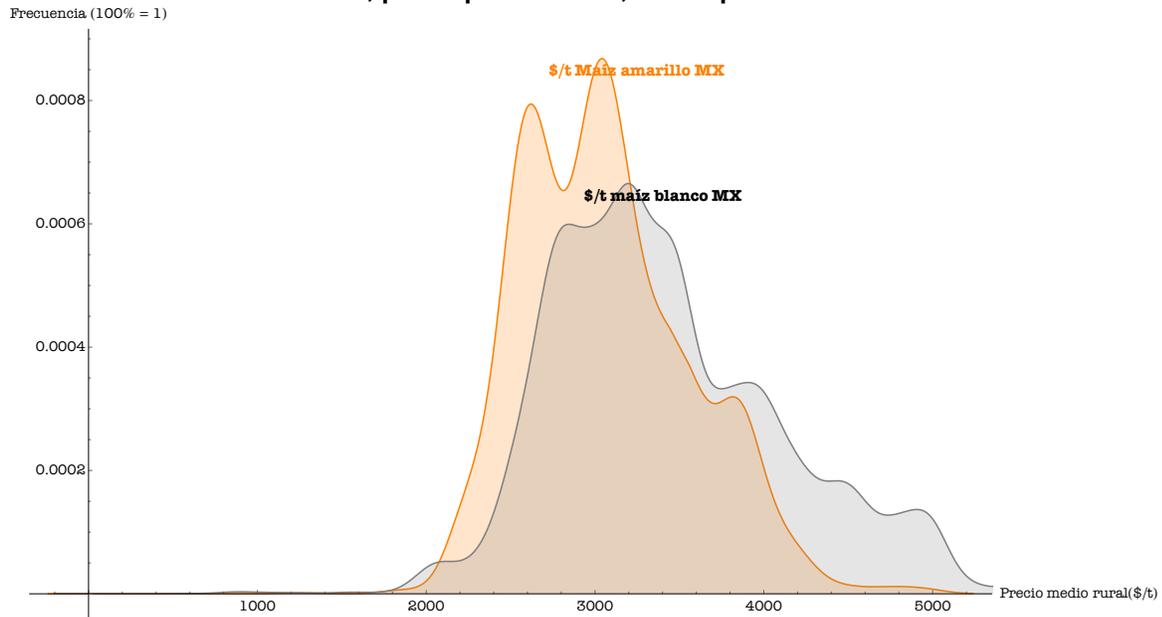
Si bien hay cierta sustitución entre ambos tipos de maíz, los productores en México prefieren maíz blanco porque tiene más opciones de mercado que el amarillo, donde es más probable que el consumidor sea la gran industria. En el maíz amarillo, por condiciones de pocos compradores (oligopsonio) los precios tienden a ser menos favorables.

Tenemos una tendencia a pensar que como el precio del maíz está controlado por los diversos esquemas de subsidio e igualación de precios con el mercado de los Estados Unidos, más costos logísticos, todos los productores reciben el equivalente al precio en Chicago más el costo de arrastre.

Sin embargo, esto no es correcto. La serie de precios medios rurales calculada por el SIAP parece indicar que hay un gran volumen de maíz que se vende a precios muy por debajo de las bases del mercado de Chicago. En especial, hay volúmenes importantes de maíz a los que el SIAP asigna un precio cero. Esto puede implicar ciertas conductas de autoconsumo, pero también es indicativo del funcionamiento real del mercado. Solamente los grandes productores, comercializadores y distribuidores del grano pueden amortizar los costos de administrar los subsidios, coberturas y apoyos requeridos para capturar un buen precio en el mercado de maíz.

El precio medio rural del SIAP indica que en algunos municipios de México los precios están por arriba o por debajo de los precios típicos, lo cual indica que el mercado de maíz es poco eficiente en cuanto a formación de precios. Hay dificultades regionales para mover el grano de donde es abundante a donde es escaso, e incertidumbre sobre el precio final que el productor puede obtener, a pesar del aparato de apoyos encaminados a que todos los productores de maíz en México reciban el precio determinado en la bolsa de Chicago más el costo logístico.

Grafico 5. Precio medio rural, pesos por tonelada, municipios de México

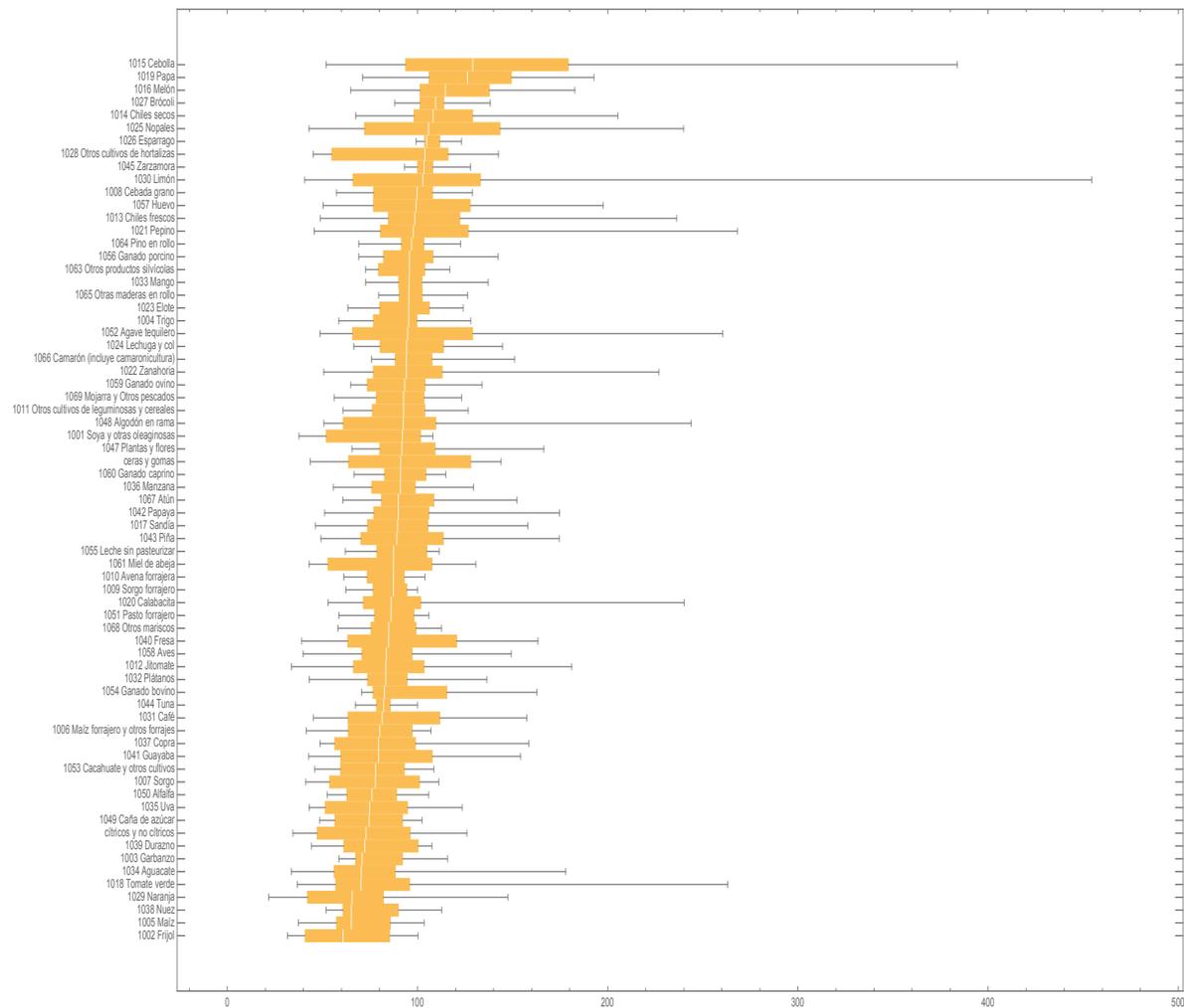


Fuente: Análisis IMCO, con datos municipales del Servicio de Información Agropecuario y Pesquero para los ciclos OI 2013-2014 y PV 2014 (disponibles en datos.gob.mx)

En el caso de las curvas de precio medio rural por municipio-ciclo, lo que vemos es que las frecuencias (eje vertical) son muy bajas. La moda tiene una frecuencia de apenas 0.09%, lo cual implica que los precios en este mercado son muy diversos. Sin embargo, vemos que la curva de frecuencia de los precios para el maíz blanco está ligeramente a la derecha de la curva de amarillo, por lo cual los productores probablemente prefieren producir ese tipo de maíz.

Cuando observamos la media y varianza de los precios en una gran cantidad de productos agropecuarios, nos damos cuenta que el maíz tiene precios medianos que típicamente están por debajo del precio base (junio de 2012=100), a pesar de que la varianza con respecto a otros productos del campo es relativamente baja. Ello implica que los productores estarían en el largo plazo mucho mejor produciendo cualquier cosa diferente a maíz. Sin embargo, la varianza del precio es mucho mayor en casi todos los productos de alto valor agregado, lo cual implica que al final, la mayoría de los productores en México deciden producir maíz blanco con baja productividad porque ello es la opción que presenta más bajo riesgo de fluctuación en el precio.

Gráfico 6. Precios medianos y varianza de precios de productos agropecuarios. Diagramas de caja y brazos. Junio de 2012=100



Fuente: Elaboración propia, con datos de INEGI, disponibles en <http://bit.ly/1TnACwC>.

A pesar de la baja volatilidad de precio del maíz, comparado con otros cultivos, el promedio de ingreso por hectárea es de los más bajos del campo mexicano, como se puede apreciar en el gráfico 6 (arriba). La utilidad en promedio de cada productor es mucho más baja. A diferencia de cultivos como la caña de azúcar, que por ser un perenne no tiene costos laborales anuales altos, la inversión se realiza cada 7 a 9 años y el resto del tiempo casi todo el ingreso es utilidad. En el maíz, hay que sembrar, cuidar, controlar plagas y malezas y cosechar cada año. La mayoría de los productores, con ingresos promedio por hectárea de 9,600 pesos en maíz blanco, no pueden amortizar el costo por hectárea.

Esto es una pena, más aún si pensamos que cada vez más hectáreas están destinadas a este cultivo, con tecnologías poco productivas.

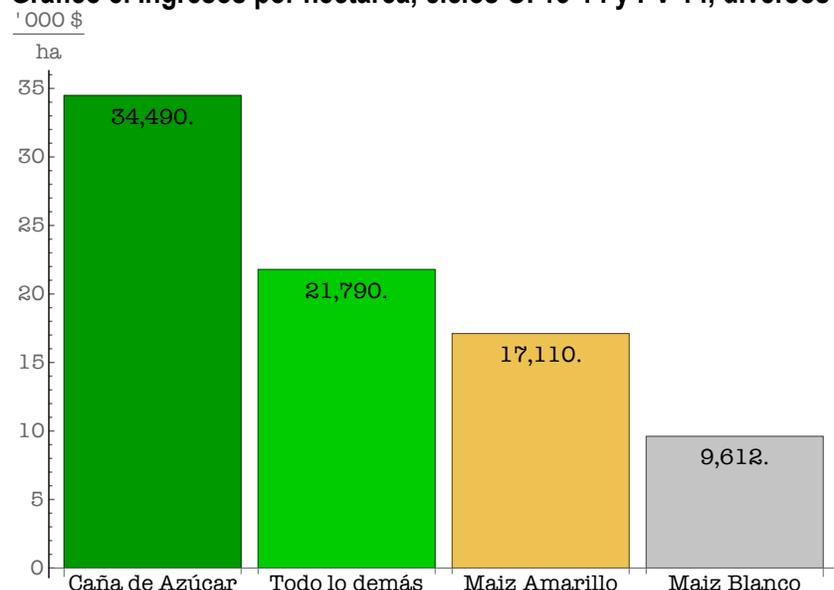
En el año agrícola 2013, sembramos 21.7 millones de hectáreas, de las cuales 7 millones (1.7%) estaban destinadas al maíz. En 2007, cosechamos 22.2 millones de hectáreas, de las cuales 7.35 ha (1.9%) fueron de maíz. En los años 2013 a 2014, la superficie dedicada al maíz blanco creció un 9.3%, la dedicada al maíz blanco creció un 4.2%, mientras que la frontera agrícola total se expandió solamente un 2.2%. Cada vez usamos más superficie para producir cultivos de menor valor agregado por hectárea.

Gráfico 7. Superficie sembrada, diversos cultivos (miles de hectáreas)

	2013	2014	Crecimiento
Maíz Amarillo	376.5	411.7	9.3%
Maíz blanco	6,655.3	6,935.3	4.2%
Caña de azúcar	845.2	828.6	-1.9%
Todo lo demás	13,846.0	14,027.1	1.3%
Total	21,723.0	22,202.7	2.2%

Fuente: Análisis IMCO, con datos de siap.gob.mx

Gráfico 8. Ingresos por hectárea, ciclos OI 13-14 y PV 14, diversos cultivos.



Fuente: Análisis IMCO, con datos municipales del Servicio de Información Agropecuario y Pesquero para los años 2013 y 2014 (disponibles en datos.gob.mx)

Durante la era de liberalización de la economía mexicana a partir de los años 80, era común escuchar que México no debería producir maíz y otros granos, y que la agricultura mexicana debería dedicarse exclusivamente a la producción de frutas, hortalizas, y otros cultivos de alto valor agregado por hectárea. Se pensaba, en ese tiempo, que la ganadería y las industrias procesadoras prosperarían solamente a partir de la importación de maíces forrajeros.

La realidad no es tan simple. Aunque México produce un excedente de maíz blanco, que es el que más usamos para el consumo humano, somos uno de los pocos países en el mundo que produce ese tipo de maíz. Por ello, cuando tenemos un déficit, es difícil conseguirlo en el mercado internacional, y cuando tenemos excedentes, resulta igualmente difícil venderlos.

La producción de maíz en México está subsidiada, a través de varios esquemas. Hay un subsidio a la tierra que subsiste desde los años 90, antes llamado Procampo, hoy llamado Proagro. Existen también apoyos a la comercialización, que cubren ciertos costos logísticos para el desplazamiento en el mercado interno del maíz, y también existe el ingreso objetivo, que compensa a los productores por la diferencia que exista entre su costo y el precio en Estados Unidos más el costo de transporte.

El monto de esos subsidios ha resultado ser relativamente impredecible. A pesar que la Agencia de Servicios a la Comercialización Agropecuaria (ASERCA) participa en los mercados de coberturas para amortiguar la incertidumbre sobre las condiciones de precio de mercado en Estados Unidos, la continua expansión de la producción nacional y su alto costo han contribuido a la volatilidad del monto del subsidio.

Gráfico 9. Ingreso Objetivo, por producto elegible, en reglas de operación de SAGARPA

Productos elegibles	Ingreso objetivo (pesos por tonelada)
Maíz	3,300
Trigo panificable	4,000
Trigo cristalino	3,750
Sorgo	2,970
Soya	6,600
Cártamo	6,600
Canola	6,600
Algodón Pluma	21,460
Arroz	3,650
Girasol	6,600

Fuente: SAGARPA (2015)

La conclusión a partir de los números anteriores es: bajo el modelo tecnológico actual, la producción de maíz y otros granos en México no es sostenible sin un elevado nivel de financiamiento del sector público. Es necesario introducir tecnologías que permitan elevar el rendimiento por hectárea, reducir el riesgo del agricultor ante plagas y eventos climáticos extremos, y lograr que los granos, pero principalmente el maíz, produzcan valor agregado suficiente y generen riqueza para los productores agropecuarios de todos los tamaños.

El valor de la genética

La diversidad genética de un país, en especies vegetales o animales, es un activo muy importante que debe preservarse. La erosión de la biodiversidad en maíz se ha achacado a la biotecnología. Sin embargo, existen varios factores que han influido en la pérdida de biodiversidad.

La prohibición a ultranza de cultivos biotecnológicos es una mala idea, porque las prohibiciones tienden a generar mercados ilegales. Es altamente probable que en algún municipio del país haya productores que están utilizando semilla modificada genéticamente desarrollada para Nebraska o Iowa, consideran que esa es una buena alternativa para mejorar rendimiento, valor de mercado, o que la utilicen para mejorar sus propias variedades.

La autorización al uso de maíz genéticamente modificado no necesariamente tiene que ocurrir en todos los municipios del país. En muchos municipios, donde esté la mayor biodiversidad de la planta, podría usarse maíz híbrido, disponible actualmente en el mercado, y cuyo uso es muy común desde hace más de medio siglo. Es posible que convivan variedades criollas, híbridas, mejoradas y biotecnológicas. La estrategia de conservación puede hacerse en los mismos lugares sembrando razas nativas, variedades criollas e híbridos con espacios o períodos de separación.

Es importante que las empresas e instituciones que hacen investigación biotecnológica empiecen a desarrollar maíces genéticamente modificados especiales para la condición mexicana. Por ejemplo, los riesgos de sequía en México son mayores que en otras regiones del planeta. El cambio climático está agravando esa situación. Además, podrían desarrollarse maíces blancos con características especiales que nos ayuden a mejorar la productividad^{5,6}.

Hace 8 años, Monsanto, CIMMYT y la Fundación Gates donaron muchas patentes de maíz blanco resistente a sequía a WEMA, iniciativa para sembrar maíces resistentes a la sequía en África⁷. Valdría la pena aprender de los desarrollos realizados en Tanzania, Malawi y otros países africanos alrededor del maíz blanco, y comenzar a trabajar en esto en México.

Podemos agregar valor sin dejar de producir maíz

A diferencia de lo que se decía hace 25 años, cuando se negociaba el TLCAN, no sería una idea sensata que México dejara de producir maíz. Por el contrario, cadenas como la pecuaria, la de edulcorantes y otros derivados químicos, y la de alimentos procesados, se han beneficiado significativamente del abasto abundante de maíz hacia México desde los Estados Unidos. Ahora que la administración del presidente Trump tiene una posición opuesta al comercio entre los países, es posible que esa circunstancia cambie, y que no podamos depender enteramente del granero estadounidense. México tiene que producir mayor cantidad de maíz, y a menores costos. Ello implica producir con mejor tecnología.

⁵ Atributos relacionados con la resistencia a insectos (Bt o con estrategia de RNAi), resistencia a hongos filamentosos y a plagas de almacén.

⁶ Ver, por ejemplo, los paquetes tecnológicos ofrecidos por el CIMMYT (<http://www.cimmyt.org/es/>)

⁷ <http://www.economist.com/node/14904184>

Es necesario diseñar una política diferenciada en torno a la producción de maíz. En algunos municipios del país, no será posible sembrar transgénicos⁸. Si estos lugares se dedican enteramente a la producción de criollos, se requerirá la intervención del sector público ya que, dada la baja productividad actual, no es viable hacerlo comercialmente. Dichos municipios agregan valor preservando un genoma único. En el lenguaje de los economistas, generan una externalidad positiva para la sociedad, y hace sentido compensarlos por esa labor de conservación.

En algunas otras zonas del país, la productividad podrá mejorar mediante la introducción de semillas híbridas o mejoradas. Estas semillas se generaron en la década de 1940, en la llamada *Revolución Verde* impulsada desde México por el Dr. Norman Borlaugh. Quizás, la mayoría de los municipios está en ese supuesto. Dado que hay una enorme diferencia entre producir 1.5 t/ha y producir entre 6 y 8, la estrategia de México para elevar la productividad de maíz debería ser introducir híbridos en más municipios, y producir menos maíces criollos con baja productividad.

Finalmente, en la mayoría de las zonas del país, donde no hay variedades criollas que preservar, podríamos beneficiarnos enormemente de la introducción de biotecnología moderna, con semillas desarrolladas especialmente para esas zonas, bajo la estricta supervisión del Estado mexicano.

¿Por qué México no ha adoptado estas tecnologías?

Para la introducción de semillas de maíz de mayor productividad, se requiere de una acción concertada entre el gobierno federal, los gobiernos locales, los productores, las uniones de productores, los productores de semillas, los comercializadores y la industria. Esto no se ha materializado en México al no haber una coalición política fuerte en pro del uso de dicha tecnología. Por el contrario, existen coaliciones más fuertes en el sentido contrario. Muchos agentes económicos y sociales en México impulsan otras opciones tecnológicas, y consideran erróneamente que son necesariamente excluyentes.

En este escenario, este reporte argumenta que los objetivos de conservación de la diversidad de las razas de maíz en México y la producción comercial de maíz híbrido y genéticamente modificado pueden coexistir. Para ello, usaremos información científica derivada de la biotecnología, y un modelo de equilibrio general para explorar los efectos que la introducción de la tecnología puede tener en la economía mexicana.

⁸ Es la propia ley en México, la que establece los supuestos en los que se puede prohibir o restringir la siembra de OGMs, incluyendo cultivos de los que México es centro de origen, como el maíz. La siembra de maíz transgénico en México, no se podrá llevar a cabo en aquellas áreas geográficas que la regulación determine como zonas restringidas. La ley establece cuáles y bajo qué criterios se determinarán las zonas restringidas, las cuales son: los Centros de Origen y de Diversidad Genética, las Áreas Naturales Protegidas y las zonas libres de OGMs. En el resto del territorio nacional, cumpliendo los requisitos establecidos en la Ley, está permitida la siembra de maíz transgénico. En 2012, se publicó el Acuerdo por el que se determinan Centros de Origen y Centros de Diversidad Genética del Maíz. En este Acuerdo se delimitaron los centros de origen y diversidad genética de maíces nativos y sus parientes silvestres. El Acuerdo a su vez establece las medidas necesarias para la protección del maíz, sus razas, variedades y parientes silvestres, con las cuales se definen las acciones pertinentes para su cuidado, monitoreo, así como aquellas medidas que de manera general permiten su protección, utilización para ser potenciados y aprovechados sustentablemente, por ser un valioso reservorio de riqueza genética para el país.

SECCIÓN 1. ¿QUÉ ES BIOTECNOLOGÍA Y CÓMO SE UTILIZA?

La biotecnología es un conjunto de conocimientos y técnicas que permiten desarrollar, entre otras aplicaciones, cultivos con atributos deseables. Es decir, es el uso de procesos biológicos, organismos, células o componentes celulares para desarrollar nuevas herramientas que sirven para mejorar la productividad y varios atributos de los productos agrícolas ([Nature 2016](#)).

La biotecnología ha tenido avances importantes, haciéndose cada vez capaz de incidir en el mejoramiento de los cultivos por medio de modificaciones genéticas específicas. La capacidad reciente de la ciencia de disponer de la información genómica de la mayor parte de los cultivos comunes, permite mucha mayor certeza en el desarrollo de herramientas biotecnológicas. A raíz de ello, se han desarrollado tecnologías que permiten control bastante preciso del genoma en sitios específicos de la cadena de ADN⁹, facilitando la inserción y remoción de información genética en diversos sitios del genoma de la planta de manera altamente específica (Baltes and Voytas 2015).

Las nuevas técnicas evitan insertar información genética al azar en el genoma de la planta, como se hacía en un inicio, reduciendo las consecuencias no deseadas de la modificación genética y generando grandes beneficios. La biotecnología actual (a) inserta características deseables en un ejemplar y reduce el riesgo de características no deseadas; (b) permite saber si el proceso ha sido exitoso antes de tener un ejemplar completamente maduro; (c) la función insertada se vuelve estable y heredable, y (d) se reduce el tiempo para desarrollar ejemplares mejorados.

1.1. TIPOS DE BIOTECNOLOGÍA

Existen tres generaciones de agricultura biotecnológica ([Stewart and McLean 2005](#), [Fernandez-Cornejo 2004](#)). La Primera Generación creó cultivos con mayor tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos. Típicamente se obtienen mediante la transferencia de información genética de una bacteria común del suelo (*Bacillus thuringiensis* o Bt) que genera proteínas cristalinas con propiedades insecticidas. La tolerancia a herbicidas y la resistencia a insectos permiten un manejo menos intensivo en tiempo de los plantíos, y reducen los volúmenes y concentraciones relativas de los plaguicidas utilizados. Los primeros cultivos con resistencia a herbicidas se realizaron con tabaco en Estados Unidos y Francia en 1986 ([James y Kratingegr 1996](#)).

Actualmente, existen no sólo variedades desarrolladas para plagas particulares (e.g. gusano barrenador de maíz), sino combinaciones de resistencias a insectos, herbicidas, e incluso sequías ([Fernández-Cornejo 2004](#)). Los herbicidas de mayor uso y con más variedades resistentes desarrolladas y comercializadas son las formulaciones con base en glifosato, con el que se han generado variedades resistentes de algodón, alfalfa, canola, maíz y remolacha azucarera ([Fernández-Cornejo 2004](#)).

El uso de cultivos biotecnológicos de Primera Generación es bastante común. En Estados Unidos el 85% del área sembrada del maíz, el 82% de la del algodón y el 93% de la de soya son variedades con tolerancia a herbicidas ([Fernandez-Cornejo et al. 2014](#)). Juntos, estos cultivos representan más de la mitad de la producción agrícola de Estados Unidos. Con el 39% de su producción total, Estados Unidos es el país con mayor cantidad de cultivos genéticamente modificados ([Fernández-Cornejo 2004](#)).

⁹ Métodos agrupados como "New Breeding Techniques", tales como varias nucleasas especiales que reconocen secuencias específicas del genoma; especialmente la denominada CRISPR-CAS.

El maíz cuenta con variedades tolerantes a herbicidas (maíz TH), y resistentes a insectos (maíz RI) con excelentes resultados. Barfoot y Brookes (2016) han demostrado que el uso de maíz TH disminuyó la cantidad de herbicidas utilizados en 8.4% de 1996 a 2014, y que el maíz RI disminuyó la cantidad de insecticida en 51.6% en el mismo periodo¹⁰. En cuanto a cambios en el rendimiento obtenido por la adopción del cultivo genéticamente modificado, el maíz TH brinda aumentos de 85% (el mayor de todos los cultivos TH evaluados), el maíz RI entre 16% y 22%, dependiendo de la variedad de maíz (Carpenter 2010b)¹¹.

La Segunda Generación de Biotecnología añadió valor a los cultivos mediante el mejoramiento de propiedades importantes para el consumo humano, como los niveles de vitaminas, ácidos grasos saludables o micronutrientes, la extensión de vida del producto. El primer cultivo modificado de esta forma fue el tomate FlavrSvr en 1994, variedad que poseía características que permitían prolongar su caducidad (Stewart and McLean 2005). Actualmente, el 20% de los productos aprobados para desregulación son cultivos de segunda generación (Fernández-Cornejo et al. 2014).

Existen varios cultivos de Segunda Generación aprobados para el consumo humano por la agencia reguladora norteamericana Animal and Plant Health Inspection Service (APHIS) como el maíz alto en lisina, el tabaco reducido en nicotina, y el aceite de soya alto en ácido oleico. Otros proyectos que se encuentran en discusión permitirían al trigo fijar nitrógeno del ambiente para reducir la necesidad de fertilizantes, o al arroz aumentar su rendimiento mediante modificaciones profundas a la planta (Baltes and Voytas 2015). Son muy notorios nuevos desarrollos biotecnológicos: la papaya resistente a virus, las berenjenas resistentes a plagas, las papas sin hongos, sin cambios de color y más aptas para freído, o incluso el arroz dorado (ISAAA 2016).

Finalmente, la Tercera Generación de biotecnología se enfoca en desarrollar productos que no están necesariamente destinados a ser utilizados como alimento. Son variedades vegetales que pueden fungir para producir y/o administrar vacunas o antibióticos, o cultivos especiales que permiten tener mayor rendimiento en la elaboración de biocombustibles, o que pueden ser convertidos en plásticos, cosméticos o proteínas terapéuticas (Giddings et al. 2000; Joensuu, Niklander-Teeri, and Brandle 2008). Es importante aclarar que para esto, se requeriría producir especies vegetales no comestibles. En el caso mexicano del maíz, esto está prohibido.

Es importante notar que normalmente se consumen alimentos genéticamente modificados en la forma de alimentos procesados, independientemente del tipo de biotecnología que se haya utilizado para producirlos. Antes de ser consumidos, los cultivos genéticamente modificados pasan por un proceso de industrialización (para producir cajas de cereales, frituras, alimentos procesados, etc.), o simplemente se utilizan como forraje para el ganado (Vilchis 2016).

1.2. BIOTECNOLOGÍA EN MÉXICO

México es uno de los seis países que adoptaron los cultivos biotecnológicos por primera vez en 1996, año en que comenzó la comercialización global de cultivos biotecnológicos. Nuestro país comenzó sembrando algodón resistente a insectos. En 2014 se plantaron 160 mil hectáreas de algodón genéticamente

¹⁰ Los países que siembran maíz TH son Estados Unidos, Canadá, Argentina, Sudáfrica, Brasil, Uruguay, Colombia, Paraguay y las Filipinas. Los que siembran RI son los mismos países listados anteriormente más Honduras y España.

¹¹ Se utilizan los datos para países en desarrollo como México, ver Tabla 1 para ver el total de resultados.

modificado, representando el 94% de la adopción total de algodón de ese año (ISAAA 2015). El uso de la biotecnología en el algodón logró reducir la aplicación de plaguicidas en un 50% al mismo tiempo que aumentó los rendimientos (Otero 2015).

Sin embargo, a pesar de los éxitos que se han tenido con el algodón, México no utiliza agrobiotecnología en la producción de maíz. Desde que comenzó la comercialización de los primeros cultivos biotecnológicos en 1996, se ha buscado que México, como centro de origen del cultivo, comercialice el maíz genéticamente modificado. Sin embargo, no fue hasta 2009, después de 11 años de moratoria, que el gobierno mexicano aprobó pruebas de campo experimentales de maíz genéticamente modificado, y hasta 2011 que por primera vez se desarrollaron programas piloto (James 2014). En 2012, la industria solicitó permisos para la siembra comercial que las autoridades no resolvieron. En 2013, los tribunales federales ordenaron la suspensión de trámites y otorgamientos de permisos comerciales debido a las demandas del Colectivo Civil del Maíz. (Vilchis, 2016)

Paradójicamente, el que no se cultive maíz genéticamente modificado en México no quiere decir que no se consuma. Tan solo en 2014 se importaron 10.3 millones de toneladas de maíz amarillo forrajero genéticamente modificado desde Estados Unidos con un valor de alrededor 2,300 millones de dólares (FIRA 2016). Es decir, el 30% de los 34 millones de toneladas de maíz consumidas en total en México es maíz genéticamente modificado que proviene del exterior¹². El destino de este 30% es la industria de alimentos, principalmente fécula de almidón y forraje de ganado para el consumo pecuario (FAO 2016).

¹² Nótese que el grano genéticamente modificado importado no puede ser sembrado pues violaría la autorización de importación, cometiendo un delito federal (Vilchis 2016).

SECCIÓN 2. BENEFICIOS DEL USO DE LA BIOTECNOLOGÍA

Existe evidencia de que el uso de biotecnología ha generado grandes beneficios para los productores, sobre todo al (1) aumentar los rendimientos y la certeza de los cultivos, (2) reducir el uso de plaguicidas y el impacto ambiental, y (3) aumentar la seguridad alimentaria.

(1) Aumentos en rendimiento y certeza de los cultivos

Los cultivos biotecnológicos, a comparación de los convencionales, llevan a incrementos en rendimientos y a mayor certeza productiva, principalmente por reducciones de plagas y daños al cultivo (Klümper and Qaim 2014).

La biotecnología permite un mejor manejo integral de plagas, lo cual permite a la planta desarrollar su potencial plenamente. Los aumentos en rendimiento pueden ser de hasta el 150% dependiendo el cultivo. Para el maíz blanco, la variedad alimentaria más importante de México, existe un aumento en el rendimiento promedio de 22% (véase Gráfico 10). Más aún, el incremento puede ser mucho mayor si se cultiva en zonas con alta presión de plagas y poco acceso a controles de daños alternativos, situación que predomina en muchas áreas de nuestro país (Barrows et al. 2014, Carpenter 2010b).

Asimismo, los beneficios totales pueden multiplicarse ya que la reducción de daño al cultivo, causada por el mejor control de plagas, eleva también el rendimiento de otros insumos como agua, trabajo, fertilizantes, y capital, dando incentivos a los agricultores para aumentar su producción y con ello sus rendimientos finales (Barrows et al. 2014).

Gráfico 10. Cambios en rendimiento (intervalo de confianza) por la introducción de biotecnología

Tecnología	Cambio en rendimiento	Mínimo	Máximo	Error Estándar (puntos porcentuales)
Países en vías de desarrollo	29%	-25%	150%	2.9
Algodón RI	30%	-25%	150%	3.5
Maíz Blanco RI	22%	0	62%	6.9
Frijol de Soya TH	21%	0	35%	11
Maíz RI	16%	0	38%	4
Países Desarrollados	6%	-12%	26%	1.0
Frijol de soya TH	7%	0%	20%	1.7
Algodón RI	7%	-8%	26%	1.9
Maíz RI	4%	-3%	13%	1.6
Algodón RI y TH	3%	-3%	9%	5.8
Algodón TH	0%	-12%	17%	3.8

Notas: Resistente a Insectos (RI), Tolerante a Herbicidas (TH). El cambio en rendimiento se calculó con la fórmula: (rendimiento de cultivo genéticamente modificado menos rendimiento convencional) con rendimientos promediados. Fuente: Carpenter (2010b).

Los beneficios otorgados y la reducción de costos en insecticidas y herbicidas compensan el mayor costo en la compra de la semilla genéticamente modificada (Finger et al. 2011). En variedades resistentes a gusanos de maíz, por ejemplo, se estima que se logran ganancias económicas para los agricultores en 3 de cada 4 años, y cada año para los sub-trópicos y áreas tropicales (James 2003). El más reciente reporte del Servicio Internacional para la Adquisición de Aplicaciones de Agro-Biotecnología revela que a nivel global, se generaron 167.8 miles de millones de dólares en utilidades adicionales generadas por cultivos biotecnológicos en 20 años de su comercialización (1996 al 2015). De ellos, un poco más del 51% se

generaron en países en desarrollo (86.1 mmdd). En el año 2015, los beneficios globales fueron cercanos a 15.4 mmdd, de los cuales el 48% se generó en países en desarrollo (ISAAA 2016).

(2) Menor impacto ambiental y uso de plaguicidas

La adopción de cultivos biotecnológicos, como los resistentes a insectos y los tolerantes a herbicidas, permiten un menor impacto en el medio ambiente porque reducen significativamente el uso de insecticidas, promueven el cambio a herbicidas menos dañinos, y reducen las emisiones de gases con efecto invernadero por el menor uso de tractores y una mayor captura del carbono en el suelo (Barfoot and Brookes 2016).

Se estima que el uso de biotecnología reduce el costo del uso de plaguicidas en promedio en 39%, con reducciones particulares de 43% para cultivos resistentes a insectos, y de 25% para tolerantes a herbicidas (Klümper and Qain 2014).

La disminución en el costo de plaguicidas en cultivos tolerantes a herbicidas es posible gracias a que los herbicidas de amplio espectro son en general más económicos que los herbicidas selectivos antes usados (Klümper and Qain 2014). La disminución en el costo de los herbicidas para cultivos GM-TH ha ocurrido porque las formulaciones no selectivas —como las basadas en glifosato— son más baratas que otras de tipo selectivo (para hoja ancha) usados antes (Klümper and Qain 2014). No obstante, el balance total indica que los cultivos GM-TH han reducido la demanda total de plaguicidas (Barfoot and Brookes 2016).

La reducción en el uso de plaguicidas reduce notoriamente el impacto al medio ambiente, medido por el Cociente de Impacto Ambiente (Environment Impact Coefficient; EIQ)¹³. Se estima que el EIQ ha disminuido en 18.5% tan solo por el menor uso de plaguicidas, dadas menores dosificaciones, repeticiones, y toxicidad relativa de los plaguicidas utilizados (Barfoot and Brookes 2016).

Gráfico 11. Cambios en plaguicidas utilizados y en impacto ambiental según cultivo (1996-2014)

Cultivo		Cambio porcentual en plaguicida utilizado ¹⁴		Cambio porcentual en indicador EIQ	
Frijol de soya TH	México	0.2%	(-1%)	-14.1%	(-4.7%)
Maíz TH		-8.4%		-12.6%	
Algodón TH		-7.3%		-9.9%	
Otros cultivos TH		32.5%		0.1%	
Maíz RI		-51.6%		-55.7%	
Algodón RI	México	-27.9%	(-11.4%)	-30.4%	(-11.3%)

Notas: Un incremento en EIQ significa un aumento en el impacto ambiental. *Cultivos para los que México tiene actividad o datos suficientes para ser significativo en el estudio. En el cambio porcentual de plaguicida utilizado para cultivos TH se toma en cuenta el cambio en herbicidas utilizados mientras que para cultivos RI el cambio en insecticidas (Barfoot y Brookes 2016).

(3) Seguridad alimentaria

La biotecnología permite que más personas puedan tener acceso físico y económico a suficientes alimentos para satisfacer sus necesidades alimenticias porque (a) incrementan la producción de alimentos, (b) mejoran la calidad de los alimentos, y (c) mejoran la situación económica de los productores (Kouser and Qaim 2013).

¹³ El EIQ es un indicador creado por la Universidad de Cornell para evaluar el impacto ambiental y a la salud que tienen los plaguicidas (Degni et al. 1992).

¹⁴ Para cultivos RI se toma el cambio en insecticida utilizado, para los TH el cambio en herbicida.

La biotecnología contribuye a aumentar la producción de alimentos. Los cultivos genéticamente modificados pueden permitir aumentos en el retorno esperado y una mayor resistencia a estrés tanto abiótico (impacto de factores no vivientes como fuertes aires e inundaciones) como biótico (bacterias patogénicas, organismos parásitos y malezas) lo que ayuda a estabilizar e incrementar la oferta de alimentos (Kouser and Qaim 2013). La biotecnología, por ejemplo, facilita el “doble cultivo”, es decir plantar dos cultivos por temporada de crecimiento en vez de solo uno, de forma que se puede sembrar incluso cuando el daño por plagas es muy elevado (Barrows et al. 2014).

La introducción de cultivos con micronutrientes agregados podría combatir la inseguridad alimentaria mediante aumentos en la calidad de los alimentos si se aprobara su comercialización. El Arroz Dorado genéticamente modificado para producir β -Caroteno es tan efectivo como el aceite de canola u otras oleaginosas como fuente de vitamina A, pero lleva una década esperando aprobación (Liu and Zhang 2013). De ser aprobado, se estima que tendría un fuerte efecto sobre la desnutrición y en evitar la deficiencia de vitamina A, que conduce a la ceguera infantil (Blancquaert et al. 2012). Otros cultivos con potencial siguen en proceso de pruebas animales, por ejemplo, el tomate morado ha demostrado tener efectos positivos sobre la salud de ratones propensos al cáncer, caso similar a la papa alta en antocianina (Butelli et al. 2011).

Finalmente, la biotecnología mejora la situación económica de los productores. En India, el uso de biotecnología aumentó en 18% la capacidad de consumo de los pequeños productores de algodón, y en 5% su ingesta calórica (Kathage y Qaim 2012, Kouser and Qaim 2013). Si todos los agricultores de algodón en India adoptaran la variedad genéticamente modificada, la proporción de hogares en inseguridad alimentaria se reduciría entre 15% y 20%. A nivel global, los efectos del uso de la biotecnología podrían ser enormes dado que se estima que el 50% de las personas con malnutrición en el mundo son pequeños agricultores en países en desarrollo. En países sudamericanos, los principales adoptantes de cultivos genéticamente modificados son productores grandes (Kouser and Qaim 2013), por lo que la introducción de estas tecnologías podría tener consecuencias redistributivas si el acceso a la biotecnología se democratiza para pequeños productores, debido a las reducciones en la pobreza alimentaria de pequeños productores.

SECCIÓN 3. MITOS SOBRE EL USO DE LA BIOTECNOLOGÍA

Existen cuestionamientos y temores sobre el uso de la biotecnología que ya han sido descartados por estudios científicos. Se teme que la biotecnología (1) represente un cambio radical que no comprendemos, (2) genere riesgos a la salud o introduzca alérgenos y otros factores anti-nutricionales en los alimentos, (3) sea innecesaria para aumentar la cantidad y valor de los alimentos, y por lo tanto no valga el “posible riesgo”, (4) promueva que insectos y hierbas generen una mayor resistencia, (5) este fundamentada en investigación sesgada realizada por grandes compañías multinacionales, y (6) dañe a insectos benéficos, como la mariposa monarca.

Mito #1: La ingeniería genética es tecnología radical e inexplorada.

Falso. La biotecnología moderna simplemente hace más rápido y con mayor certeza lo que ya se ha hecho por miles de años (Barrows et al. 2014). Durante milenios, la humanidad ha seleccionado y modificado indirectamente los genes en las plantas, para producir mejores alimentos para humanos y para animales, así como para otros fines como la producción de energía. Prácticamente todos los cultivos que consumimos han sido genéticamente modificados de alguna manera. La única diferencia es que antes de la biotecnología la recombinación del ADN era aleatoria en la descendencia por lo que la cría de cultivos tomaba décadas y frecuentemente tomaban propiedades imprevistas o indeseadas.

Mito #2: Los cultivos biotecnológicos representan un riesgo a la salud.

Falso. Las revisiones en publicaciones científicas arbitradas y el consenso científico revelan que no hay evidencia de que los productos transgénicos representen riesgos adicionales a los de los productos convencionales¹⁵. Revisiones de literatura y registros científicos han concluido que no hay riesgos significativos a la salud conectados con el uso de organismos genéricamente modificados en la alimentación (Domingo 2007, Bordonaba and Domingo 2011, Nicolía et al. 2014). Tampoco se ha encontrado que su consumo aumente la incidencia de cáncer u otros problemas de salud (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine et al. 2016).

De hecho, la biotecnología moderna beneficia directamente a la salud de los millones de agricultores de países en desarrollo por reducir el uso de plaguicidas. La biotecnología también reduce la exposición a compuestos producidos por hongos fitopatógenos que son altamente cancerígenos en animales y humanos. El maíz resistente a insectos, por ejemplo, reduce las micotoxinas de manera tan sustancial que se estima que su uso ha generado un ahorro de 23 millones de dólares por beneficios en la salud de humanos y animales (Barrows et al. 2014, Wu 2006). Los beneficios podrían ser mayores en países de Latinoamérica y China donde el consumo de maíz es mayor (Wu 2006).

También existe la preocupación infundada de que los transgenes en los alimentos puedan ser tóxicos para los seres humanos creando reacciones alérgicas (Barrows et al. 2014). Lo cierto es que no existe evidencia que un transgene haya introducido reacciones alérgicas a un cultivo (Taylor 2006). No existen evidencias confiables ni reproducibles de que los transgenes o las proteínas recombinantes hayan producido alguna reacción de este tipo. La posibilidad de una transferencia de genes por parte del cultivo genéticamente modificado a microorganismos (llevando, por ejemplo, a que bacterias desarrollen resistencia a antibióticos terapéuticos) es extremadamente baja y las consecuencias serían mínimas si llegara a suceder (Barrows et al. 2014). Ello se debe a que las plantas transgénicas están sujetas a una variedad de regímenes de procesamiento (tratamiento de calor o extracción de ingredientes) que dañan el

¹⁵ No existen estudios de largo plazo (Dona and Arvanitoyannis 2009; Séralini et al. 2014); no existe información de productos como patatas, pepino, chicharos, tomates, entre otros (solo de maíz, arroz, y frijol de soya) (José L. Domingo and Giné Bordonaba 2011).

ADN y limitan su transferencia. Así mismo, los tractos gastrointestinales de humanos y animales destruyen genes intactos biológicamente activos impidiendo su contagio (European Food Safety Authority 2004).

Mito #3: Los cultivos biotecnológicos no son necesarios, hay otras maneras de alimentarnos.

Si bien los alimentos genéticamente modificados no son la única solución, son un recurso complementario y a veces crucial para (a) aumentar la producción total de alimentos, (b) aumentar el valor nutritivo de los alimentos y (c) proveer de una mejor situación económica a los pequeños agricultores que representan el 50% del total de la población con malnutrición (Kouser and Qaim 2013). Los cultivos biotecnológicos han aportado sanidad y calidad de los alimentos, al ser un medio para abatir el uso de insecticidas sintéticos (gusanos en berenjena y papa), evitar plagas no controlables (virus de papaya y frijoles), aportar vitaminas (β -caroteno en arroz, plátano y maíz) y micronutrientes (hierro y zinc asimilables).

Las especies comestibles vegetales actuales están muy bien adaptadas al clima actual, pero no al clima que resultará en las próximas décadas derivado del cambio climático. Una manera de adaptación al cambio climático es la modificación genética de cultivos.

La producción agrícola es intensiva en el uso de tierra. Mientras más ineficiente sea la producción en toneladas producidas por hectárea, la humanidad necesitará más tierra para producir el alimento que necesita. Esto normalmente se hace expandiendo la frontera agrícola, con la consecuente reducción del suelo utilizado para bosques y selvas. Esta última es grave por la reducción de biodiversidad, pero también por las funciones benéficas que las áreas naturales aportan como servicios ambientales (ciclo del agua, gases, mineralización, entre otros). La agricultura, especialmente la de temporal, se beneficiaría enormemente de una mayor superficie planetaria de bosques y selvas.

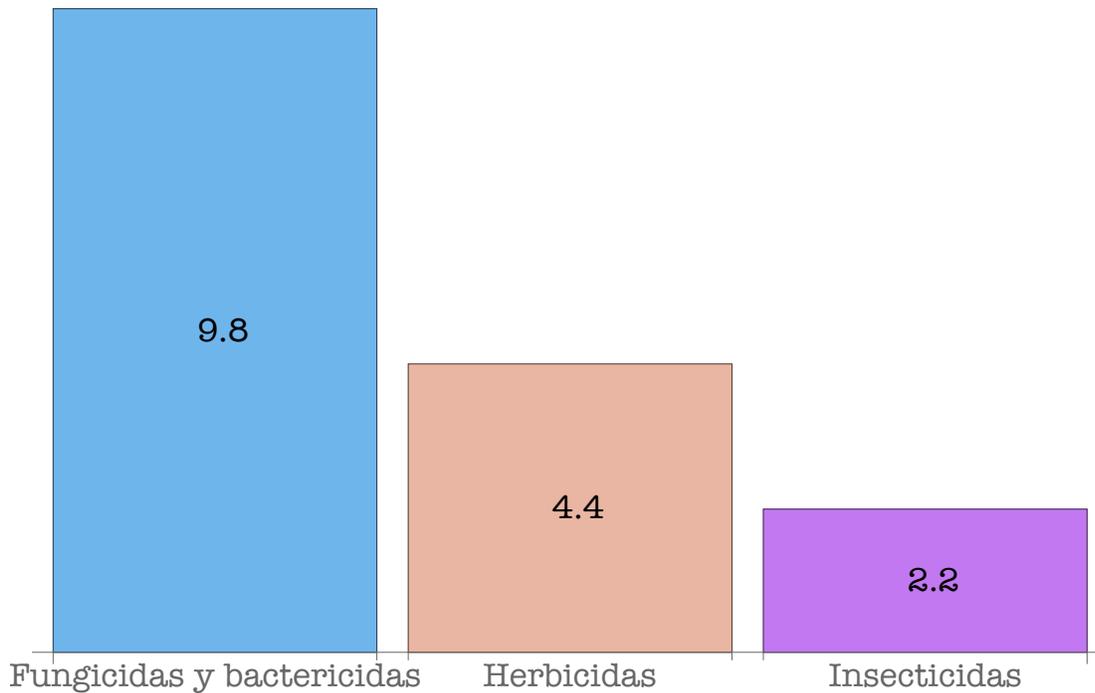
Mito #4: Los cultivos biotecnológicos generan resistencia de insectos y hierbas.

El uso de control químico, tanto de herbicidas como insecticidas han generado plagas resistentes. En 1946 se reportó el primer caso de resistencia a un insecticida sintético. En la actualidad existen más de 500 tipos de insecto-plaga que han desarrollado resistencia a diferentes tipos de insecticidas (Denholm et al. 2002). El primer caso de resistencia a herbicidas se dio en 1960 (Vargas 2001). Actualmente, hay más de 470 malezas resistentes a herbicidas (International Survey of Herbicide Resistant Weeds 2016). Los cultivos biotecnológicos también son susceptibles a perder efectividad por resistencia de insectos plaga y malezas. Hay cinco casos de plagas agrícolas importantes que han mostrado resistencia (Tabashnik 2013). Sin embargo, ello no significa que la biotecnología deba ser rechazada. El desarrollo de resistencia a plaguicidas es un riesgo inevitable porque es parte de procesos evolutivos independientemente de si se utiliza biotecnología (Borel 2014). Pero hay soluciones que retrasan enormemente el riesgo utilizando estrategias adecuadas de gestión de resistencia, como el monitoreo, el uso de eventos apilados y en general el Manejo Integrado de Plagas y de malezas (Abdalla 2016).

La evidencia por cultivo es difícil de obtener, pero en términos generales, la agricultura mexicana usa más fungicidas, bactericidas, herbicidas e insecticidas por dólar producido que los Estados Unidos, considerando que en los Estados Unidos la superficie habilitada con biotecnología es mucho mayor que en México. Para una explicación científica de las plagas específicas al caso mexicano, ver Blanco et al (2014). Los gráficos 12 y 13 muestran las diferencias radicales de uso de pesticidas en Estados Unidos y México.

Gráfico 12. Uso de agroquímicos (comparación de toneladas por dólar producido entre México y Estados Unidos).

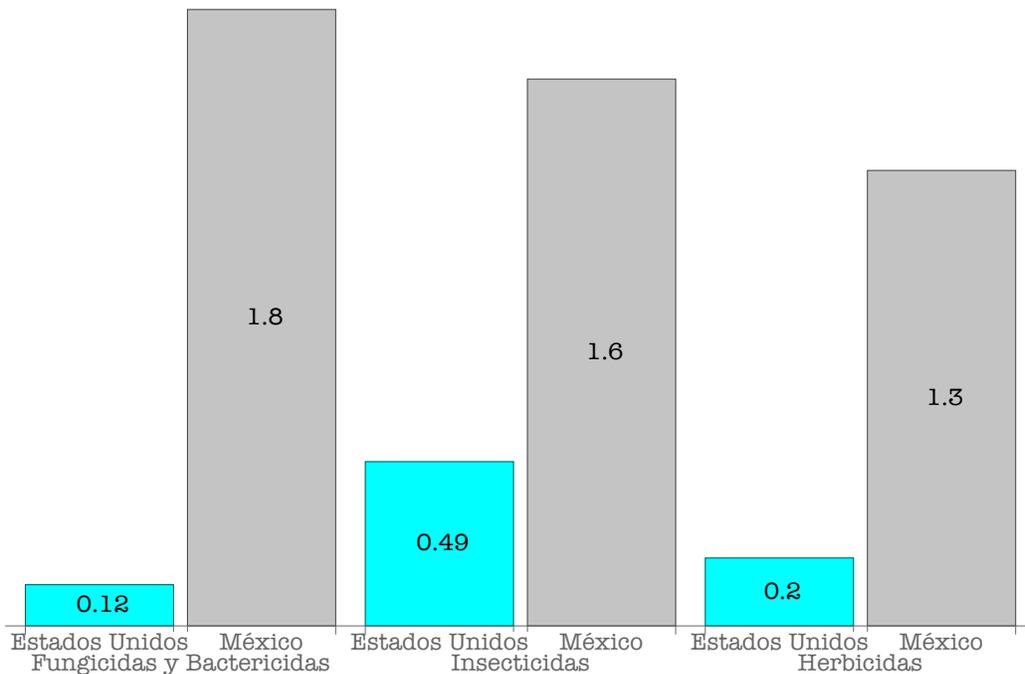
Uso de agroquímicos (tm) por dólar producido, MEX/EUA, EUA=1



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, Sagarpa, USDA, WolframAlpha, Mathematica CountryData.

Gráfico 13. Uso de agroquímicos (kilogramos por hectárea), Estados Unidos y México

Uso de agroquímicos (kg / ha), Estados Unidos y México



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, Sagarpa, USDA, WolframAlpha, Mathematica CountryData.

Mito #5: Toda la investigación sobre los riesgos de la biotecnología es financiada por grandes compañías multinacionales.

Falso. Organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia han declarado que los cultivos genéticamente modificados liberados para comercialización son seguros. La mitad de los estudios están fundados enteramente por agencias de gobiernos y organizaciones no gubernamentales concentradas en Europa y Asia, y después en Norteamérica y Australia (Lim 2014).

El Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y el Trigo (CIMMYT) es una organización sin fines de lucro, que surge en las décadas de 1940 a 1950 patrocinado por el Gobierno de México y la Fundación Rockefeller. Hoy es parte de CGIAR, una sociedad global de investigación agrícola también sin fines de lucro. El modelo de mejoramiento de rendimientos de CIMMYT está orientado a promover "métodos de producción de maíz y trigo más efectivos y preciso, así como herramientas que ahorran dinero y recursos como suelo, agua y fertilizante".^{16, 17}

Mito #6: Los cultivos biotecnológicos también afectan a insectos benéficos.

En 1999 un estudio reportó que el polen del maíz resistente a insectos dañaba a las mariposas monarca convirtiéndose en uno de los más grandes argumentos en contra de los cultivos transgénicos (Losey et al. 1999). Sin embargo, el estudio fue realizado en un ambiente de laboratorio por lo que las conclusiones pueden variar en un medio no controlado. Posteriormente, en un estudio de dos años de duración se demostró que el daño causado por maíz resistente a insectos era mínimo (Dively et al 2001) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2001) confirmó que no hay razones para pensar que el maíz resistente a insectos sea dañino para la fauna e insectos benéficos.

En Filipinas, la adopción del maíz resistente a insectos no mostró efectos negativos en el número y diversidad de insectos benéficos (ISAAA 2016). Por el contrario, pudiera ser que, al reducir el uso de insecticidas, el daño a las mariposas y a otros insectos benéficos disminuya (Agricultural Biotechnology Council of Australia 2012). El algodón biotecnológico, por ejemplo, ha incrementado el número y la diversidad de insectos benéficos en Australia y Estados Unidos (ISAAA 2016). En México se han realizado evaluaciones y guías técnicas para realizar estos estudios, que tampoco han mostrado que haya afectaciones a polinizadores y otros grupos no objetivo de las tecnologías RI (IBGMO12).

Gráfico 14. Los problemas del uso de la biotecnología en su justa dimensión

Existen algunos riesgos con el uso de la biotecnología. Sin embargo, estos riesgos no necesariamente implican que el mejor camino para México sea prohibir el acceso a la tecnología, sino el mejoramiento de la regulación y su cabal aplicación:

- Se ha criticado a la biotecnología de concentrar los mercados debido a que los altos costos de desarrollo la concentran en un puñado de grandes empresas con relativamente pocos productos (Alston et al. 2007). La solución no es evitar la biotecnología. Una adecuada regulación de la competencia y apoyo a los pequeños productores podría evitar que este

¹⁶ www.cimmyt.org

¹⁷ Habría que citar otras agencias y compañías: EFSA (UE); APHIS (EEUU), OGTR (AUS/NZ), EMBRAPA (BRA), Mahyco (Bangladesh), CIAT (Col/ CGIAR), ICGEB (Ita/ CGIAR), entre otros.

problema continúe.

- Se ha considerado el riesgo que los cultivos biotecnológicos aceleren las pérdidas de biodiversidad. Los cultivos biotecnológicos promueven la homogeneidad genética y grandes monocultivos, por lo que disminuyen la biodiversidad (Gertsberg 2011). Sin embargo, toda producción agrícola implica una pérdida de biodiversidad por la transformación de ecosistemas naturales heterogéneos a grandes cultivos homogéneos. Por ello, una adecuada protección a las semillas nativas debe ir de la mano con cualquier política que promueva la biotecnología. En el caso de México, la conservación de especies endémicas ha sido incluida en la legislación sobre bioseguridad.

SECCIÓN 4. MODELO DE EQUILIBRIO GENERAL

Los modelos de equilibrio general son representaciones estilizadas de las economías, utilizando datos reales de la producción y el consumo en los distintos países y sectores económicos, a partir de las matrices de insumo-producto que se generan en cada país.

El modelo de equilibrio general es, entonces, una maqueta de la economía. Como todas las maquetas, carece del nivel de detalle del mundo real. Es una abstracción y sin embargo, nos permite hacer experimentos de política pública y entender sus efectos.

IMCO ha trabajado con un modelo bastante conocido llamado GTAP (General Trade Analysis Project)¹⁸. El modelo GTAP surgió como una herramienta para revisar las implicaciones en el crecimiento de los países y los sectores a partir de distintas políticas fiscales y de comercio. El Anexo 1 contiene una descripción técnica del modelo, para el lector que resulte interesado.

A partir del modelo base, se realizan una serie de experimentos de política pública, con la idea de responder a dos preguntas:

- ¿Qué implica para las economías de México y el mundo la introducción de biotecnología en el cultivo de maíz en México?

- ¿Qué tipo de políticas de acompañamiento a la introducción de la biotecnología tienen que generarse para estimular una mayor producción de maíz en México?

Hay varias maneras de intervenir en un mercado. Se puede cambiar la tecnología (como claramente aboga este estudio), se puede subsidiar o gravar algún factor productivo, se puede incidir en los precios para que los agentes económicos ayuden a mover al mercado hacia el equilibrio deseado, o se pueden fijar metas de producción y uso de factores productivos. Si queremos que la producción de maíz en México aumente, no solamente se requiere un cambio en la tecnología para producir maíz. Se requiere, también, un cambio en los incentivos para producir el cultivo, que dependen de manera importante de los precios, y las utilidades que pueden generar los productores.

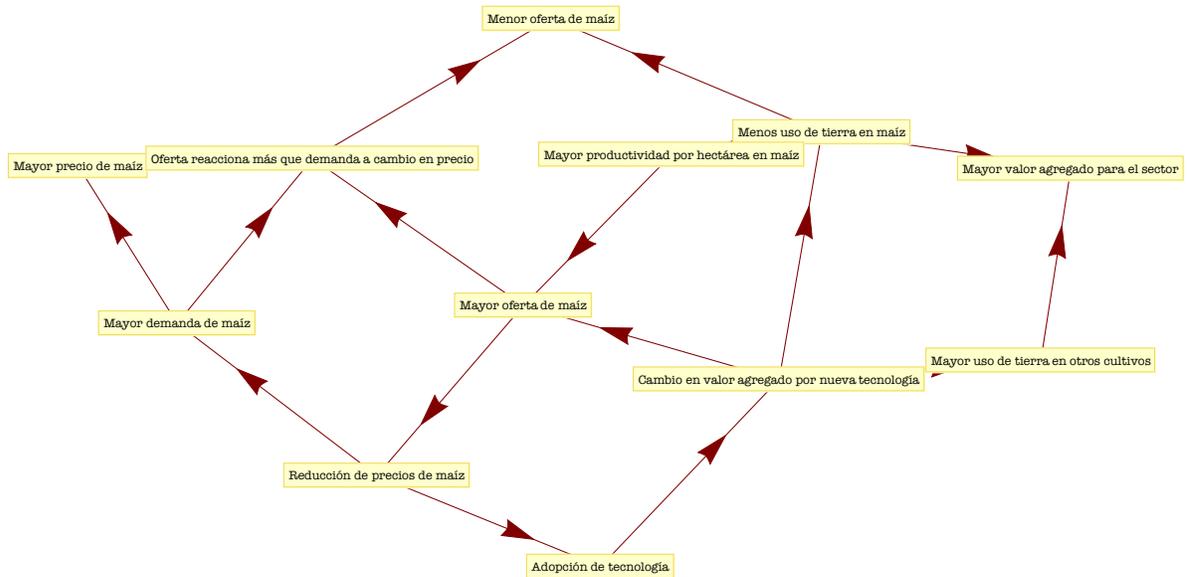
En esta sección, el argumento principal es que se necesitan varias políticas de acompañamiento para un cambio tecnológico que eleve la productividad del sector productor de maíz.

Un cambio de tecnología para la producción de maíz implica una reducción de los costos para los productores que adoptan la nueva tecnología. Ello genera una mayor oferta, lo cual a la vez reduce los precios. Un subconjunto del total de productores se mueve, tan rápido como lo permite el ciclo agrícola, a otros productos donde los precios no se han movido. Es posible que por razones culturales, de aislamiento regional, o de autoconsumo, el productor más ineficiente no reaccione a las señales de precio, y continúe produciendo maíz con eficiencias bajas y costos altos. Sin embargo, la competencia en el mercado no perdona a nadie, y el siguiente productor con costos altos que enfrenta precios relativamente bajos, tendrá que moverse a otro mercado, o adoptar mejor tecnología para la producción de maíz.

¹⁸ Badri Narayanan, Angel Aguiar and Robert McDougall, editores (2012). *Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 8 Data Base*, Center for Global Trade Analysis, Purdue University. Disponible en: http://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/v8/v8_doco.asp

Dichos procesos se resumen en el gráfico 16, abajo. En el diagrama, el punto clave es que la oferta parece reaccionar más (de manera negativa) a la reducción de precios obtenidos por el productor ante un cambio tecnológico. A pesar de la reducción de costos, algunos productores terminarían cambiando de negocio. Si el objetivo es incrementar la oferta de maíz solamente introducir la tecnología será insuficiente. Se requieren otras políticas complementarias.

Gráfico 15. Modelo de equilibrio general. Efectos esperados de la introducción de una tecnología que mejore el valor agregado del sector productor de maíz.



Así, una vez que se introduce la tecnología, es posible que un producto con precios altamente diferenciados, no *commodity*, como es el maíz mexicano, se convierta en un producto homogéneo, con costos poco diferenciados. Esto implica una reducción en los precios que puede hacer que el productor se mueva a cultivos de mayor valor agregado, aunque representen un mayor riesgo de precio.

Inducción a un mejor paquete tecnológico en el 50% de la superficie

El cambio que se requiere para mejorar significativamente la productividad del maíz mexicano es bastante grande. Imaginemos que logramos producir todo el maíz (y todo el valor agregado actual) de la industria maicera de México en la mitad de la superficie. Otra vez: si mi predio daba 2 t/ha, ahora tendría que dar 4 t/ha. En el límite, si mi predio daba 7 t/ha, ahora tendría que exigirle 14 t/ha. Las superficies que hoy dan 14 t/ha probablemente no darían mucho más de 15 t/ha. Para este cambio tecnológico necesitaríamos una combinación de maíces híbridos, que pudieran elevar la productividad de los maíces criollos que se siembran actualmente, y donde ya se siembran híbridos, tendríamos que usar maíces genéticamente modificados. Seguramente, en ciertas regiones del país, no habría posibilidades de usar maíz genéticamente modificado.

Otra vez, la implicación clara es que en el 50% de la superficie no podrían producirse las variedades de maíz amarillo o blanco. Tendríamos que dar a esos productores un paquete tecnológico para producir otra cosa en esas superficies. A lo mejor, crear una taxonomía de maíces de otros colores, incluso pagarles por preservar la biodiversidad. Solamente tendrían que ser variedades que no se contabilizaran en los promedios de productividad por hectárea de los maíces blanco y amarillo.

Si ese fuera el caso, los resultados son verdaderamente sorprendentes, como se ve en la siguiente tabla.

Gráfico 16. Experimento 2-b. Inducción de eficiencia mediante una reducción de la superficie maicera en 50% e introducción de tecnología para mantener el valor agregado del sector constante

	Oferta	Precio nal.	Importaciones	Uso de tierra
Maíz	8.3%	-11.5%	-7.5%	-50.0%
Trigo	6.5%	-1.2%	-0.7%	-7.8%
Bebidas y tabaco, azúcares	0.5%	-0.4%	-0.5%	-8.2%
Arroz	0.7%	-0.4%	0.2%	-8.9%
Vegetales, frutas, nueces	3.2%	-2.5%	0.1%	-10.2%
Otros productos alimenticios	0.6%	-0.5%	-0.8%	0.0%
Otros cultivos, fibras	3.1%	-2.3%	-4.1%	-10.4%
Oleaginosas	5.7%	-2.1%	0.4%	-8.4%
Ganado, carne, leche, derivados	1.5%	-0.9%	-1.9%	-8.4%
Bosque, maderables, productos de papel	-0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
Pesca	0.1%	0.0%	0.3%	0.0%
Químicos, hule, plástico, petróleo, carbón	-0.1%	0.0%	0.1%	0.0%
Maquinaria, equipo, equipo de transporte	-0.2%	0.0%	-0.1%	0.0%
Agua	-0.1%	0.0%	-0.1%	0.0%
Comercio y transporte	-0.1%	0.0%	-0.1%	0.0%
Administración pública, defensa, salud, educación	-0.1%	0.0%	0.1%	0.0%
Servicios a los negocios	-0.1%	0.0%	0.1%	0.0%
Extractivas	-0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
Otros sectores agregados	-0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
Seguros y servicios financieros	-0.1%	0.0%	0.0%	0.0%

El aprendizaje claro es que no debemos buscar maximizar el valor económico a partir de la producción de un bien agrícola que es altamente necesario, pero que al final es un *commodity*. El enfoque correcto es hacer eficiente al máximo el uso del factor productivo más importante asociado a la producción de ese bien: la tierra. Más que una intervención agrícola con base en subsidios, y en la cual impera una relativa anarquía respecto al paquete tecnológico¹⁹, México debería tratar de promover, demostrar, colaborar y convencer a sus productores de adoptar mejores paquetes tecnológicos. Si a los productores les gusta el maíz blanco más que el amarillo, porque el mercado doméstico favorece el consumo de la variedad blanca

¹⁹ Por paquete tecnológico nos referimos a la combinación de semillas, agroquímicos, fertilizantes, maquinaria y todo lo necesario para llevar a cabo la producción en condiciones óptimas.

sobre la amarilla, debemos tener desarrollos tecnológicos propios en maíz blanco que mejoren el rendimiento de esa variedad.

Un ejercicio de esta naturaleza implica un gran esfuerzo para la introducción de esta tecnología. Suponiendo que requerimos un agrónomo extensionista por cada 500 hectáreas, lo cual es una dificultad por el reducido tamaño de las propiedades agrícolas en México, requeriríamos entre 14 y 15 mil agrónomos desplegados en todo el país convenciendo productores de que este es un paquete tecnológico que vale la pena utilizar.

Por ejemplo, el CIMMYT crea unidades demostrativas regionales, para demostrar y generar colectivamente resultados positivos con el cambio de insumos (semillas de MasAgro) y tecnología (labranza de conservación)

De acuerdo con datos del IMCO²⁰, hay 164,696 agrónomos en el mercado laboral mexicano. La existencia en la economía mexicana del capital humano especializado para lograr esto no debería ser un obstáculo.

²⁰ Información del portal comparacarreras.org .

http://imco.org.mx/comparacarreras/#!/carrera/611?utm_source=www.comparacarreras.org.mx&utm_medium=redirects&utm_campaign=301

SECCIÓN 5. CONCLUSIONES, MENSAJES A GRUPOS SOCIALES Y RECOMENDACIONES DE POLÍTICA PÚBLICA

Como se dijo en las secciones anteriores, para que un cambio social grande se dé, se requiere de una coalición de fuerzas sociales y políticas que empuje dicho cambio, además de que dicha coalición sea mayor que las que se oponen. Los vectores de cambio en una sociedad van en sentidos diversos, y el resultado nunca es predecible. Esa es la lógica de la acción colectiva descrita por Olson (1971) [1965].

El uso de biotecnología en maíz ha sido una idea importante para mejorar la productividad del campo durante décadas. Sin embargo, esa idea no ha florecido, al no haberse inclinado la balanza a favor de quienes proponen el uso de estas tecnologías.

Como se explicó en el documento, existen una serie de miedos irracionales al uso de estas tecnologías. Dichos mitos, solo podrán revertirse con más y mejor divulgación de la ciencia detrás de la producción de alimentos biotecnológicos, y confianza en los procesos de regulación.

Debido a los efectos del cambio climático, no podremos alimentar a México- ni a la humanidad- utilizando tecnologías que no sean racionales en el uso de los recursos, ya que no habrá suficiente tierra, agua, trabajo, capital e insumos para sostener una agricultura ineficiente. El paradigma de la agricultura en el S. XIX era la automatización y mecanización; en el S. XX eran las economías de escala de las grandes extensiones; en el S. XXI el dominio de las ciencias de la vida serán lo que logrará una agricultura más productiva.

Para que la sociedad vea a la biotecnología con buenos ojos, hay una serie de mensajes que hay que dar a distintos grupos sociales. Las propuestas de IMCO para ese fin son las siguientes:

1. Mensajes a los consumidores. Los consumidores son el grupo social con mayores reservas respecto al tema biotecnológico. Nuestras recomendaciones para que los productos alimentarios genéticamente modificados tengan más aceptación con los consumidores son las siguientes:

- 1.1 *El maíz genéticamente modificado es uno de los cultivos más estudiados en la historia de la humanidad.* Las tecnologías más probadas, de maíces no biotecnológicos (híbridos), han estado en el mercado por más de 70 años. Los productos con tecnología más reciente han sido muy bien analizados y son cada vez más seguros.
- 1.2 *Uso de agroquímicos.* La producción biotecnológica de maíz permite que el control de plagas sea más biológico que químico. Un país como México, donde no se usa biotecnología en el principal grano producido, parece usar más agroquímicos por unidad de superficie y por dólar producido que un país como Estados Unidos, donde casi la mitad de la superficie de maíz está habilitada con biotecnología.
- 1.3 *No hay riesgos a la salud.* No existen riesgos a la salud derivados del consumo de maíz biotecnológico. De hecho, México importa cerca de 10 millones de toneladas de maíz por año y no se han documentado ningún tipo de alergia, complicaciones de salud o problemas derivados del consumo de estos maíces.

1.4. *El maíz que importamos es genéticamente modificado*, y ello no ha causado problemas a la salud ni aquí ni en otros país donde el consumo de maíz modificado lleva ya varios años, no causa riesgos a la salud, y es equivalente nutrimentalmente a los productos producidos con métodos tradicionales.

2. Mensajes a los gobiernos:

2.1 *La discusión científica está superada*. Una excusa que usan los distintos reguladores del tema, así como muchos gobiernos locales, es que la discusión sobre el uso comercial de maíz genéticamente modificado es científica, no burocrática. La realidad es que la discusión científica está superada. Existe un amplio consenso científico y académico, construido con base en el peso de la evidencia y la participación de instituciones de investigación en todo el mundo, que la biotecnología agrícola es una tecnología cuyos beneficios superan con creces a sus riesgos. Necesitamos que la comunidad científica mexicana tenga discusiones de alto nivel con sus pares en el mundo, en países con características similares a México: que sean centro de origen de la planta pero que usen biotecnología en maíz. Ciertamente, tendrán que considerarse las zonas restringidas, así como las acciones y medidas de evaluación, monitoreo, control y sanción correspondientes, pero hay suficiente evidencia científica para mostrar que hay un beneficio neto para la sociedad derivado del uso de estas tecnologías.

2.2 *El uso de biotecnología en maíz es de bajo riesgo y alto beneficio productivo y social*. Los gobiernos, mediante la facilitación de uso de mejores paquetes tecnológicos y la aplicación de medidas de bioseguridad efectivas, pueden mejorar las condiciones de vida de millones de personas del sector rural.

De acuerdo con la Encuesta Nacional de Ingreso Gasto de los Hogares (ENIGH 2015) la distribución de consumo por producto agrícola y decil de ingreso se distribuye de la siguiente forma:

Gráfico 17. Consumo por producto agrícola y decil de ingreso

	Deciles de ingreso										
	Total	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Gran total	90.4%	95.1%	94.4%	93.4%	94.1%	92.9%	91.6%	91.4%	90.8%	89.4%	87.3%
Azúcar	0.3%	1.2%	0.8%	0.5%	0.4%	0.3%	0.3%	0.3%	0.2%	0.1%	0.1%
Energéticos	4.6%	6.1%	6.1%	6.0%	5.7%	5.5%	5.4%	5.1%	4.7%	4.3%	3.2%
Forestales	0.6%	0.8%	0.7%	0.8%	0.7%	0.7%	0.6%	0.8%	0.6%	0.6%	0.6%
Maíz y otros granos	5.1%	11.1%	9.9%	9.0%	8.5%	7.3%	6.7%	6.0%	5.2%	3.7%	1.8%
Ganado	10.6%	14.9%	15.1%	15.5%	14.6%	14.4%	13.4%	12.7%	12.0%	9.7%	5.6%
Otros cultivos, fibras	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	0.0%	0.1%	0.1%
Otros productos alimenticios	6.8%	10.3%	9.2%	8.7%	8.1%	8.4%	7.7%	7.9%	7.6%	6.8%	4.3%
Administración pública, salud, educación	12.3%	5.7%	8.0%	8.0%	10.3%	9.2%	9.2%	9.8%	11.1%	12.0%	17.5%
Productos químicos	12.0%	9.5%	8.3%	8.3%	8.8%	9.0%	9.9%	9.7%	11.4%	13.3%	15.6%
Otros sectores agregados	24.6%	18.5%	20.5%	20.7%	21.0%	21.9%	22.1%	23.6%	24.3%	26.2%	28.1%
Seguros y servicios financieros	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	0.0%	0.2%	0.6%
Comercio y transportes	8.0%	7.2%	7.1%	8.2%	8.5%	9.3%	9.7%	9.6%	8.1%	7.8%	7.0%
Vegetales y frutas	4.2%	8.4%	7.4%	6.6%	6.1%	5.6%	5.3%	4.6%	4.3%	3.4%	2.3%

Agua	1.0%	1.3%	1.1%	1.2%	1.3%	1.2%	1.3%	1.2%	1.1%	1.0%	0.7%
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Fuente: Encuesta Nacional de Ingreso-Gasto de los Hogares (ENIGH, 2015).

Mientras más pobre, más rural, y más consumidor es un hogar, mayor es el beneficio derivado del uso de la biotecnología. Una reducción de 11.5% en el precio del maíz, como se observa a partir del modelo de equilibrio general, implica una reducción el 1.2% en el gasto de una familia del decil I de ingreso.

2.3 *Las prohibiciones generan mercados ilegales y mal uso.* Una costumbre común de agricultores en países en desarrollo es usar maíz comercial como semilla para la siguiente cosecha. Si los productores siembran maíz biotecnológico importado, están usando una variedad que fue desarrollada para otra región del planeta.

Si se tienen permisos para la siembra comercial, es mucho más fácil controlar y prevenir las variedades que se están sembrando. No solamente eso: es posible crear el incentivo, tanto en los centros de investigación públicos, sin fines de lucro, como en las empresas privadas, para producir variedades mejor adaptadas a las necesidades de cada región mexicana.

3. *Mensajes a la SAGARPA:*

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) es la agencia gubernamental que puede incidir en el uso ampliado de biotecnología y promoverlo. Algunos de los beneficios que pueden derivarse para el sector coordinado por SAGARPA son los siguientes:

3.1 *Diversificar producción.* México está excesivamente concentrado en la producción de maíz, y lo hacemos generando poco valor en el proceso. La adopción de tecnologías que ahorren factores productivos, especialmente tierra, puede ser muy importante para que la pueda asignarse a actividades que generen más valor.

3.2 *Conservar bosques y selvas.* Uno de los usos alternos de la tierra agrícola redundante después de la introducción de variedades biotecnológicas en maíz, es hacer crecer el acervo de bosques y selvas, o preservar e incrementar los espacios silvestres o dedicados a la conservación de la naturaleza, que es útil para conservar biodiversidad en general, regenerar agua, y tener ecosistemas menos áridos y en equilibrio en México.

3.3 *Elevar valor agregado.* Eventualmente, las políticas de restricción al uso de tierra de forma ineficiente, se pueden combinar con políticas de incremento del valor agregado. La agricultura de granos, podría dejar de ser una trampa de pobreza, y convertirse en una fuente de crecimiento de la economía rural en México.

3.4 *Empoderar al pequeño productor.* La biotecnología puede ser adoptada por productores grandes y pequeños. Es neutral a la escala: el uso de semilla mejorada biotecnológicamente puede ayudar al minifundista y al gran agricultor. Ello permitirá que los pequeños agricultores incrementen su poder negociador con los grupos comercializadores grandes que apalancan su volumen de compra para obtener condiciones de precio por debajo de lo que habría en un mercado perfectamente competitivo (fenómeno de pocos compradores, u oligopsonio).

3. 5 *Reducir la dependencia a los subsidios del productor de maíz.* Si la tecnología permite a los productores de todos los tamaños generar utilidades, la biotecnología puede ser una buena inversión para reducir y eventualmente eliminar la mayoría de los subsidios a la agricultura.
3. 6 *Usar mejor la tierra en todos los cultivos.* Los efectos de eficiencia derivados de la introducción de la tecnología en un solo cultivo (como el maíz) permiten al sector agregar más valor en otros cultivos, como se aprecia en los experimentos 2 y 2-b del modelo de equilibrio general. La explicación corta es que hay más tierra disponible para producir bienes agrícolas con mayor valor agregado, y es posible para el productor tomar un poco más de riesgo de mercado en la producción de bienes como frutas y hortalizas, por ejemplo, sin arriesgar el ingreso mínimo para mantener a su familia.
4. *Mensajes a los productores opositores a la tecnología.* El productor más eficiente con la tecnología actual, probablemente se opondrá a que el segundo más eficiente, y el tercero, y el último, adopten tecnologías que les reduzcan el costo.

La razón para esto es muy simple: el productor de más alto costo pone precio a los demás, y les permite generar utilidades extranormales. Mientras más heterogéneos sean los costos de los productores, más se beneficia el productor de bajo costo de ser eficiente. Es decir, el productor más eficiente hoy probablemente no quiere competencia.

Quizás, el mensaje más poderoso es que no adoptar la mejor tecnología disponible en el mercado implica quedarse atrás y perder la oportunidad de mejorar los rendimientos y reducir los costos. La realidad es que el comercio de maíz entre México y el mundo es un mercado administrado. Podemos importar todo el maíz que queramos de los Estados Unidos, el granero del mundo en maíz. Pero competimos por el grano con otros países, y para traer maíz de otros países, la Secretaría de Economía tiene que autorizar un cupo de importación. Esos cupos cumplen una función parecida a la de los aranceles: son una barrera al comercio.

El día que Estados Unidos tenga excedentes del grano que quiera vender en un mercado internacional donde no tiene restricciones a la exportación, o que la importación de maíz desde Argentina, Brasil o Sudáfrica no esté sujeta a cupos, los costos de los productores mexicanos más eficientes pueden ser más altos que la competencia internacional. Hasta el productor más eficiente en el Valle de Culiacán en maíz amarillo tendría que estar buscando reducir sus costos: simplemente porque esa es la dinámica de los negocios agrícolas.

La dependencia tecnológica debe ser un incentivo al desarrollo de tecnología propia, no un pretexto para la no adopción de la biotecnología. La gran biodiversidad de maíz en México debería ser un incentivo para formar o atraer a los biotecnólogos más brillantes del planeta para que hagan investigación desde México. Ante la ola de consolidaciones en la industria biotecnológica mundial, el sector privado está desaprovechando una oportunidad para participar de un lucrativo mercado de patentes y productos agrícolas biotecnológicos diferenciados. México podría ser el semillero del mundo nuevamente. El presidente Echeverría llevó el maíz híbrido a China, y es muy recordado en ese país por ello, porque ese gesto salvó a millones del hambre. Es justo que ahora México tenga un desarrollo biotecnológico propio y se generen recursos para el campo mexicano a partir de esa industria.

5. *Mensajes para los grupos conservacionistas.* La comunidad científica mexicana ha sido especialmente renuente al uso de estas tecnologías. Es importante convencerlos que la biotecnología puede ser un mecanismo altamente eficiente para que la agricultura mexicana se lleve a cabo con menos uso de tierra, que la conservación de bosques y selvas genera externalidades positivas para la conservación de el germoplasma de razas nativas y variedades criollas, y la conservación de biodiversidad en maíz puede convertirse en una fuente de recursos económicos para la conservación general de bosques y selvas.

Hay manera de separar en el territorio y en las épocas de siembra los maíces nativos de los biotecnológicos. Con aislamientos en distancia de cultivo a cultivo o desfases en fechas de floración, la coexistencia no solo es posible, sino que está científicamente sustentada y demostrada en décadas de experiencia de agricultores, semilleros, mejoradores, agrónomos, entre otros. Una buena regulación puede permitir que esto se logre, mientras que la prohibición propiciará la anarquía de los mercados ilegales.

Propuestas de política pública

De manera específica, IMCO pone en la mesa estas propuestas para los distintos órganos del Estado mexicano que sistemáticamente han bloqueado, pero que podrían administrar eficientemente la producción de maíz genéticamente modificado:

Sagarpa/Senasica: La recomendación principal de este estudio es invertir en el extensionismo agrícola enfocado a introducir mejores paquetes tecnológicos. En algunos casos, no serán OGMs. Es posible que la mejor opción sean maíces híbridos. En especial, el extensionismo debe concentrarse en la producción con mejores variedades, usando menos tierra y menos agroquímicos.

Bancos públicos de germoplasma. La riqueza genética del maíz mexicano puede conservarse en bancos de germoplasma. Esto implica que periódicamente hay que sacar esta semilla, reproducirla, y volverla a almacenar. Esto es un bien público. Un registro público de variedades, y una política fondeada adecuadamente de preservación de genomas nativos, puede ser una de las maneras más útiles de invertir en el futuro. No sabemos si el día de mañana un maíz teocintle prehispánico encerrará en sus genes un secreto importante para la salud humana, animal, de control de plagas, o de productividad del maíz.

Semarnat. La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales podría eliminar los bloqueos al uso de la biotecnología agrícola. La prohibición es un mecanismo ineficaz para la conservación de la biodiversidad. La biodiversidad como activo natural, debe usarse racionalmente y debe invertirse en su conservación. Si el uso comercial está prohibido, no hay recursos fiscales que alcancen para preservar genomas nativos.

Una política más eficaz es una que ordene el territorio para la convivencia de conservación y producción. Hay zonas del país que no son tan diversas en la producción de maíz, y que están dedicadas a la producción comercial del grano. Se requieren estudios muy robustos que definan las necesidades de conservación de la vegetación nativa en las distintas zonas del país y que encuentren los modelos de obtención de recursos económicos para su preservación.

SHCP. Una estrategia que Hacienda podría negociar con el Congreso es subsidiar menos la agricultura comercial y más la conservación del germoplasma nativo. México puede instrumentar un esquema de subsidios de transición para los agricultores comerciales, de manera que dependan de manera creciente de biotecnología y cada vez menos de los recursos fiscales.

Secretaría de Economía. Para incentivar el desarrollo de la biotecnología en México, necesitamos adoptar las mejores prácticas regulatorias comparadas con otros países, que reduzcan los tiempos de autorización y aumenten el tiempo de vigencia de las patentes en biotecnología.

Referencias bibliográficas

- Annaluru, Narayana, Héloïse Muller, Leslie A. Mitchell, Sivaprakash Ramalingam, Giovanni Stracquadanio, Sarah M. Richardson, Jessica S. Dymond, et al. 2014. "Total Synthesis of a Functional Designer Eukaryotic Chromosome." *Science* 344 (6179): 55–58.
- Badri Narayanan, Angel Aguiar and Robert McDougall, Editors (2012). *Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 8 Data Base*, Center for Global Trade Analysis, Purdue University. Disponible en línea: http://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/v8/v8_doco.asp
- Baltes, Nicholas J., and Daniel F. Voytas. 2015. "Enabling Plant Synthetic Biology through Genome Engineering." *Trends in Biotechnology* 33 (2): 120–131.
- Benbrook, Charles M. 2012. "Impacts of Genetically Engineered Crops on Pesticide Use in the U.S. -- the First Sixteen Years." *Environmental Sciences Europe* 24 (1): 24. doi:10.1186/2190-4715-24-24.
- Blanco, Carlos et al (2014). "Maize Pests in Mexico and Challenges for the Adoption of Integrated Pest Management Programs". *Journal of Integrated Pest Management*, Volume 5, Issue 4, 1 December 2014, Pages E1–E9, <https://doi.org/10.1603/IPM14006>
- Carpenter, Janet E. 2010a. "Peer-Reviewed Surveys Indicate Positive Impact of Commercialized GM Crops." *Nature Biotechnology* 28 (4): 319–321.
- . 2010b. "Peer-Reviewed Surveys Indicate Positive Impact of Commercialized GM Crops." *Nature Biotechnology* 28 (4): 319–321.
- Clive James. 2003. "Global Review of Commercialized Transgenic Crops: 2002 Feature: Bt Maize." <http://www.argenbio.org/adc/uploads/pdf/maize%202002.pdf>.
- Dixelius, Christina, Torbjörn Fagerström, and J F Sundström. 2012. "European Agricultural Policy Goes down the Tubers." *Nature Biotechnology* 30 (6): 492–93. doi:10.1038/nbt.2255.
- Domingo, Jose L. 2007. "Toxicity Studies of Genetically Modified Plants: A Review of the Published Literature." *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 47 (8): 721–733.
- Domingo, José L., and Jordi Giné Bordonaba. 2011. "A Literature Review on the Safety Assessment of Genetically Modified Plants." *Environment International* 37 (4): 734–42. doi:10.1016/j.envint.2011.01.003.
- Dona, Artemis, and Ioannis S. Arvanitoyannis. 2009. "Health Risks of Genetically Modified Foods." *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 49 (2): 164–175.
- Dymond, Jessica S., Sarah M. Richardson, Candice E. Coombes, Timothy Babatz, Héloïse Muller, Narayana Annaluru, William J. Blake, et al. 2011. "Synthetic Chromosome Arms Function in Yeast and Generate Phenotypic Diversity by Design." *Nature* 477 (7365): 471–476.

- FAO. 2016. "FAO Statistical Pocketbook 2015 World Food and Agriculture." Food and Agriculture Organization. Accessed October 27. <http://www.fao.org/3/a-i4691e.pdf>.
- Fernandez-Cornejo, Jorge. 2004. "The Seed Industry in US Agriculture: An Exploration of Data and Information on Crop Seed Markets, Regulation, Industry Structure, and Research and Development." United States Department of Agriculture, Economic Research Service. <https://ideas.repec.org/p/ags/uersab/33671.html>.
- Fernandez-Cornejo, Jorge, Seth Wechsler, Mike Livingston, and Lorraine Mitchell. 2014. "Genetically Engineered Crops in the United States." USDA-ERS Economic Research Report, no. 162. http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2503388.
- Finger, Robert, Nadja El Benni, Timo Kaphengst, Clive Evans, Sophie Herbert, Bernard Lehmann, Stephen Morse, and Nataliya Stupak. 2011. "A Meta Analysis on Farm-Level Costs and Benefits of GM Crops." *Sustainability* 3 (5): 743–762.
- FIRA. 2015. "Panorama Agroalimentario Carne de Porcino 2015." https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61951/Panorama_Agroalimentario_Carne_Porcino_2015.pdf. ———. 2016. "Panorama Agroalimentario Maíz 2015." Accessed October 10. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61952/Panorama_Agroalimentario_Ma_z_2015.pdf.
- Fleming, David A (2010). "Slippage Effects of the Conservation Regime Program: New Evidence from Satellite Imagery", Selected Paper prepared for presentation at the Agricultural and Applied Economics Association 2010
- AAEA, CAES, &WAEA Joint Annual Meeting, Denver, Colorado, July 25-27,2010. Disponible en: http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/61394/2/AAEA2010%20Paper_DFleming.pdf. Fecha de último acceso: 15 de noviembre de 2016.
- Giddings, Glynis, Gordon Allison, Douglas Brooks, and Adrian Carter. 2000. "Transgenic Plants as Factories for Biopharmaceuticals." *Nature Biotechnology* 18 (11): 1151–1155.
- Hartung, Frank, and Joachim Schiemann. 2014. "Precise Plant Breeding Using New Genome Editing Techniques: Opportunities, Safety and Regulation in the EU." *The Plant Journal* 78 (5): 742–752.
- Hernández, Antonio F., Tesifón Parrón, Aristidis M. Tsatsakis, Mar Requena, Raquel Alarcón, and Olga LópezGuarnido. 2013. "Toxic Effects of Pesticide Mixtures at a Molecular Level: Their Relevance to Human Health." *Toxicology* 307: 136–145.
- Holme, Inger Blæksted, Toni Wendt, and Preben Bach Holm. 2013. "Intragenesis and Cisgenesis as Alternatives to Transgenic Crop Development." *Plant Biotechnology Journal* 11 (4): 395–407.
- INEGI, SAGARPA. 2015. "Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) 2014, Información Relevante." http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2015/especiales/especiales2015_08_8.pdf.

- ISAAA, 2016. Brief 52, Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2016. Disponible electrónicamente en: <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/52/download/isaaa-brief-52-2016.pdf> . Fecha de último acceso: 14 de octubre de 2017.
- Jacobsen, E., and H. J. Schouten. 2008. "Cisgenesis, a New Tool for Traditional Plant Breeding, Should Be Exempted from the Regulation on Genetically Modified Organisms in a Step by Step Approach." *Potato Research* 51 (1): 75–88.
- Jacobsen, Evert, and Henk J. Schouten. 2007. "Cisgenesis Strongly Improves Introgression Breeding and Induced Translocation Breeding of Plants." *Trends in Biotechnology* 25 (5): 219–223.
- James, and James, Clive. 2016. "Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2014. Executive Summary." Accessed October 10. <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/49/executivesummary/pdf/B49-ExecSumEnglish.pdf>.
- Jesse, Laura C. Hansen, and John J. Obrycki. 2000. "Field Deposition of Bt Transgenic Corn Pollen: Lethal Effects on the Monarch Butterfly." *Oecologia* 125 (2): 241–248.
- Joensuu, J. J., V. Niklander-Teeri, and J. E. Brandle. 2008. "Transgenic Plants for Animal Health: Plant-Made Vaccine Antigens for Animal Infectious Disease Control." *Phytochemistry Reviews* 7 (3): 553–577.
- Kalaitzandonakes, Nicholas, Julian M Alston, and Kent J Bradford. 2007. "Compliance Costs for Regulatory Approval of New Biotech Crops." *Nature Biotechnology* 25 (5): 509–11. doi:10.1038/nbt0507-509.
- Klümper, Wilhelm, and Martin Qaim. 2014. "A Meta-Analysis of the Impacts of Genetically Modified Crops." *PLoS One* 9 (11): e111629.
- Laursen, Lucas. 2012. "BASF Moves GM Crop Research to US." *Nature Biotechnology* 30 (3): 204–204. doi:10.1038/nbt0312-204b.
- Losey, John E., Linda S. Rayor, and Maureen E. Carter. 1999. "Transgenic Pollen Harms Monarch Larvae." *Nature* 399 (6733): 214–214.
- Margulis, Charles. 2006. "The Hazards of Genetically Engineered Foods." *Environmental Health Perspectives* 114 (3): A146.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, Committee on Genetically Engineered Crops, Board on Agriculture and Natural Resources, and Division on Earth and Life Studies. 2016. *Genetically Engineered Crops: Experiences and Prospects*. Washington, D.C.: National Academies Press. <http://www.nap.edu/catalog/23395>.
- Nicolia, Alessandro, Alberto Manzo, Fabio Veronesi, and Daniele Rosellini. 2014. "An Overview of the Last 10 Years of Genetically Engineered Crop Safety Research." *Critical Reviews in Biotechnology* 34 (1): 77–88. doi:10.3109/07388551.2013.823595.

Olson, Mancur (1971) [1965]. *The Logic of Collective Action: Public Goods and the Theory of Groups* (Revised ed.). Harvard University Press.

Rutherford (2010) Rutherford, T. F.: „GTAP7inGAMS“, Center for Energy Policy and Economics, Department of Management, Technology and Economics ETH Zurich, Working paper, (April 2010).

Séralini, Gilles-Eric, Emilie Clair, Robin Mesnage, Steeve Gress, Nicolas Defarge, Manuela Malatesta, Didier Hennequin, and Joël Spiroux de Vendômois. 2014. “Republished Study: Long-Term Toxicity of a Roundup Herbicide and a Roundup-Tolerant genetically Modified Maize.” *Environmental Sciences Europe* 26 (1): 1.

Anexo 1. El modelo de equilibrio general.

Para este estudio, estamos utilizando una implementación muy conocida de GTAP desarrollada por Rutherford ²¹(2010), conocido como GtapInGams con modificaciones hechas en IMCO, quitando énfasis en los efectos de energía y usando los datos de GTAP 8.1 (Badri, Aguilar y McDougall , 2012). GTAP es una base de datos muy bien documentada que describe la economía mundial en 2008. Por ello, todos nuestros escenarios base se refieren al estado de la economía mundial en 2008. Incluso, GTAP corrige por las distorsiones en el comercio internacional, las discrepancias en los reportes de lo exportado y lo importado entre países. La base de datos cuenta con más de 24 millones de datos y es quizás el esfuerzo colaborativo entre economistas más grande del planeta.

El MEG mide las dotaciones iniciales que los países tienen de los factores productivos (tierra, capital, trabajo y recursos naturales), y a partir de la matriz de insumo-producto o de contabilidad social de cada país (SAM, por sus siglas en inglés) determina las cantidades producidas de 57 bienes compuestos. Cada uno de estos bienes representa la producción de una industria, en la clasificación de UNCTAD.

También, el MEG asimila la estructura comercial, de aranceles y subsidios efectivos internos. Cada decisión de política sectorial tiene un impacto en las cantidades producidas, los precios, las cantidades que se exportan e importan, y los precios de importación.

Gráfico 1. Bienes compuestos descritos en el MEG

Maíz
Trigo
Bebidas y tabaco, azúcares
Arroz
Vegetales, frutas, nueces
Otros productos alimenticios
Otros cultivos, fibras
Oleaginosas
Ganado, carne, leche, derivados
Bosque, maderables, productos de papel
Pesca
Químicos, hule, plástico, petróleo, carbón
Energéticos
Maquinaria, equipo, equipo de transporte
Agua
Comercio y transporte
Administración pública, defensa, salud, educación
Servicios a los negocios
Extractivas

²¹ Rutherford, Thomas (2010), *GTAP7inGAMS*, Center for Energy Policy and Economics Department of Management, Technology and Economics ETH Zurich.

Otros sectores agregados
Seguros y servicios financieros

El tamaño de este MEG implica hacer agrupaciones de bienes, o de países, o de ambos, con el fin de que los cálculos sean realizables. Esta versión del MEG tiene el mayor nivel posible de detalle en los bienes, pero hace algunas agrupaciones regionales, tratando de dar más detalle a países cercanos y/o competidores de México en los mercados internacionales, como sigue:

Gráfico 2. Agrupaciones regionales, MEG

País/región
Australia
Canadá
Estados Unidos
México
Argentina
Brasil
Chile
Colombia
Perú
Sudáfrica
España
Unión Europea (sin España)
Resto del Mundo

Anexo 2. Código de GAMS para los experimentos de política pública

El código utilizado es una adaptación del modelo de Rutherford (2010) GTAP8inGAMS.

\$title GTAP8inGAMS - Para modelos 2016

option

limrow = 10000, limcol = 100

* \$if not set ds \$set ds iea_001

\$include /Users/mjmolano/Desktop/agbmeg/build/gtap8data.gms

parameter esub(g) Top-level elasticity indemand /C 1/;

alias (j,jj), (g,gg), (f,ff);

nonnegative variables

Y(g,r) Supply
 M(i,r) Imports
 YT(j) Transportation services
 FT(f,r) Specific factor transformation

P(g,r) Domestic output price
 PM(j,r) Import price
 PT(j) Transportation services
 PF(f,r) Primary factors rent
 PS(f,g,r) Sector-specific primary factors
 RA(r) Representative agent;

equations

prf_y(g,r) Supply
 prf_m(i,r) Imports
 prf_yt(j) Transportation services
 prf_ft(f,r) Factor transformation

mkt_p(g,r) Domestic output price
 mkt_pm(j,r) Import price
 mkt_pt(j) Transportation services
 mkt_pf(f,r) Primary factors
 mkt_ps(f,j,r) Specific factor

inc_ra(r) Representative agent;

* -----

* Define some macros which diagnose the functional form:

\$macro Leontief(sigma) (yes\$(round(sigma,2)=0))
 \$macro CobbDouglas(sigma) (yes\$(round(sigma-1,2)=0))
 \$macro CES(sigma) (yes\$(round(sigma-1,2)<>0 and round(sigma,2)<>0))

* -----
 * Profit function for production and consumption activities:

* \$prod:Y(g,r)\$vom(g,r) s:esub(g) i.tl:esubd(i) va:esubva(g)
 * o:P(g,r) q:vom(g,r) a:RA(r) t:rto(g,r)
 * i:P(i,r) q:vdfm(i,g,r) p:(1+rtfd0(i,g,r)) i.tl: a:RA(r) t:rtfd(i,g,r)
 * i:PM(i,r) q:vifm(i,g,r) p:(1+rtfi0(i,g,r)) i.tl: a:RA(r) t:rtfi(i,g,r)
 * i:PS(sf,g,r) q:vfm(sf,g,r) p:(1+rtf0(sf,g,r)) va: a:RA(r) t:rtf(sf,g,r)
 * i:PF(mf,r) q:vfm(mf,g,r) p:(1+rtf0(mf,g,r)) va: a:RA(r) t:rtf(mf,g,r)

* Benchmark value shares:

parameter	thetaf(f,g,r)	Factor share of value added,
	thetad(i,g,r)	Domestic share of intermediate input,
	thetai(i,g,r)	Import share of intermediate input,
	theta_f(g,r)	Value added share of sectoral output;

thetaf(f,g,r) = 1;
 thetaf(f,g,r)\$sum(ff,vfm(ff,g,r)*(1+rtf0(ff,g,r)))
 = vfm(f,g,r)*(1+rtf0(f,g,r)) / sum(ff,vfm(ff,g,r)*(1+rtf0(ff,g,r)));

thetad(i,g,r) = 1;
 thetad(i,g,r)\$vdfm(i,g,r)*(1+rtfd0(i,g,r)) + vifm(i,g,r)*(1+rtfi0(i,g,r))
 = vdfm(i,g,r)*(1+rtfd0(i,g,r)) /
 (vdfm(i,g,r)*(1+rtfd0(i,g,r)) + vifm(i,g,r)*(1+rtfi0(i,g,r)));

thetai(i,g,r) = 1;
 thetai(i,g,r)\$vom(g,r)
 = (vdfm(i,g,r)*(1+rtfd0(i,g,r)) + vifm(i,g,r)*(1+rtfi0(i,g,r))) / vom(g,r);

theta_f(g,r) = 1;
 theta_f(g,r)\$vom(g,r) = sum(ff,vfm(ff,g,r)*(1+rtf0(ff,g,r))) / vom(g,r);

* User cost indices for factors, domestic and imported
 * intermediate inputs:

\$macro P_PF(f,g,r) (((PF(f,r)\$mf(f)+PS(f,g,r)\$sf(f))*(1+rtf(f,g,r)) \\
 / (1+rtf0(f,g,r)))\$thetaf(f,g,r) + 1\$(thetaf(f,g,r)=0))
 \$macro P_D(i,g,r) ((P(i,r)*(1+rtfd(i,g,r)) \\
 / (1+rtfd0(i,g,r)))\$thetad(i,g,r) + 1\$(thetad(i,g,r)=0))
 \$macro P_I(i,g,r) ((PM(i,r)*(1+rtfi(i,g,r)) \\
 / (1+rtfi0(i,g,r)))\$(1-thetad(i,g,r)) + 1\$(thetad(i,g,r)=1))

* Compensated cost functions:

\$if defined f_ \$abort "The CF(g,r) macro requires a uniquely defined alias for f."

alias (f,f_);

```
$macro CF(g,r) ( \
    (sum(f_, thetad(f_,g,r)*P_PF(f_,g,r)))$Leontief(esubva(g)) + \
    (prod(f_, P_PF(f_,g,r)**thetad(f_,g,r))$CobbDouglas(esubva(g)) + \
    (sum(f_, thetad(f_,g,r)*P_PF(f_,g,r)**(1-esubva(g))**(1/(1-esubva(g))))$CES(esubva(g)))
```

```
$macro CI(i,g,r) ( \
```

```
    (thetad(i,g,r)*P_D(i,g,r) + (1-thetad(i,g,r))*P_I(i,g,r))$Leontief(esubd(i)) + \
    (P_D(i,g,r)**thetad(i,g,r) * P_I(i,g,r)**(1-thetad(i,g,r)))$CobbDouglas(esubd(i)) + \
    ( (thetad(i,g,r) *P_D(i,g,r)**(1-esubd(i)) + \
    (1-thetad(i,g,r))*P_I(i,g,r)**(1-esubd(i))**(1/(1-esubd(i))))$CES(esubd(i)))
```

* Cost function:

\$if defined i_ \$abort "The CY(g,r) macro requires a uniquely defined alias for i."

alias (i,i_);

```
$macro CY(g,r) ( \
    ( sum(i_, thetai(i_,g,r)*CI(i_,g,r)) + theta_f(g,r)*CF(g,r))$Leontief(esub(g)) + \
    (prod(i_, CI(i_,g,r)**thetad(i_,g,r))*CF(g,r)**theta_f(g,r))$CobbDouglas(esub(g)) + \
    ((sum(i_, thetai(i_,g,r)*CI(i_,g,r)**(1-esub(g))) + \
    theta_f(g,r)*CF(g,r)**(1-esub(g))**(1/(1-esub(g))))$CES(esub(g)) )
```

prf_y(g,r)\$vom(g,r).. $CY(g,r) = P(g,r) * (1 - rto(g,r));$

* Demand functions:

```
$macro DDFM(i,g,r) (vdfm(i,g,r) * Y(g,r) * \
    (CY(g,r)/CI(i,g,r))**esub(g) * \
    (CI(i,g,r)/P_D(i,g,r))**esubd(i))$vdfm(i,g,r)
```

```
$macro DIFM(i,g,r) (vifm(i,g,r) * Y(g,r) * \
    (CY(g,r)/CI(i,g,r))**esub(g) * \
    (CI(i,g,r)/P_I(i,g,r))**esubd(i))$vifm(i,g,r)
```

```
$macro DFM(f,g,r) (vfm(f,g,r) * Y(g,r) * \
    (CY(g,r)/CF(g,r))**esub(g) * \
    (CF(g,r)/P_PF(f,g,r))**esubva(g))$vfm(f,g,r)
```

* Associated tax revenue flows:

```
$macro REVTO(r) (sum(g$vom(g,r), rto(g,r) * P(g,r) * vom(g,r)*Y(g,r)))
```

```
$macro REVTFD(r) (sum((i,g)$vdfm(i,g,r), rtf(i,g,r) * P(i,r) * DDFM(i,g,r)))
```

```
$macro REVTFI(r) (sum((i,g)$vifm(i,g,r), rtf(i,g,r) * PM(i,r) * DIFM(i,g,r)))
```

```
$macro REVTF(r) (sum((f,g)$vfm(f,g,r), rtf(f,g,r) * PF(f,r) * DFM(f,g,r)))
```

* -----
 * Profit function for international transportation services:

* \$prod:YT(j)\$vtw(j) s:1
 * o:PT(j) q:vtw(j)
 * i:P(j,r) q:vst(j,r)

prf_yt(j)\$vtw(j)..
 prod(r, P(j,r)**(vst(j,r)/vtw(j))) =e= PT(j);

* Demand Function:

\$macro DST(j,r) (vst(j,r)*YT(j)*PT(j)/P(j,r))\$vst(j,r)

* -----
 * Profit function for bilateral trade aggregation:

* \$prod:M(i,r)\$vim(i,r) s:esubm(i) s.tl:0
 * o:PM(i,r) q:vim(i,r)
 * i:P(i,s) q:vxmd(i,s,r) p:pvxmd(i,s,r) s.tl: a:RA(s) t:(-rtxs(i,s,r)) a:ra(r) t:(rtms(i,s,r)*(1-rtxs(i,s,r)))
 * i:PT(j)#(s) q:vtwr(j,i,s,r) p:pvtwr(i,s,r) s.tl: a:RA(r) t:rtms(i,s,r)

* User cost indices:

\$macro P_M(i,s,r) ((P(i,s)*(1-rtxs(i,s,r))*(1+rtms(i,s,r))/pvxmd(i,s,r))\$vxmd(i,s,r) + 1\$(vxmd(i,s,r)=0))
 \$macro P_T(j,i,s,r) (PT(j)*(1+rtms(i,s,r))/pvtwr(i,s,r))\$vtwr(j,i,s,r)

parameter thetavxmd(i,s,r) Value share of goods in imports,
 thetavtwr(j,i,s,r) Value share of transportation services,
 thetam(i,s,r) Bilateral import value share
 vxmt(i,s,r) Value of imports gross transport cost;

vxmt(i,s,r) = vxmd(i,s,r)*pvxmd(i,s,r) + sum(j,vtwr(j,i,s,r)*pvtwr(i,s,r));
 thetavxmd(i,s,r)\$vxmt(i,s,r) = vxmd(i,s,r)*pvxmd(i,s,r) / vxmt(i,s,r);
 thetavtwr(j,i,s,r)\$vxmt(i,s,r) = vtwr(j,i,s,r)*pvtwr(i,s,r) / vxmt(i,s,r);
 thetam(i,s,r)\$vim(i,r) = vxmt(i,s,r)/vim(i,r);

* Price index of bilateral imports (Leontief cost function):

\$if defined j1 \$abort "The PT_M(i,s,r) macro requires a uniquely defined alias for j."
 alias (j,j1);
 \$macro PT_M(i,s,r) (P_M(i,s,r)*thetavxmd(i,s,r) + sum(j1, P_T(j1,i,s,r)*thetavtwr(j1,i,s,r)))

* Unit cost function for imports (CES):

\$if defined s_ \$abort "The CIM(i,r) macro requires a uniquely defined alias for s."
 alias (s,s_);

```

$macro CIM(i,r) ( \
  sum(s_, thetam(i,s_,r) * PT_M(i,s_,r) )$Leontief(esubm(i)) + \
  prod(s_, PT_M(i,s_,r)**thetam(i,s_,r) )$CobbDouglas(esubm(i)) + \
  (sum(s_, thetam(i,s_,r) * PT_M(i,s_,r)**(1-esubm(i))**(1/(1-esubm(i))))$CES(esubm(i)) )

```

```

prf_m(i,r)$vim(i,r)..    CIM(i,r) =e= PM(i,r);

```

* Demand function:

```

$macro DXMD(i,s,r) ((vxmd(i,s,r) * M(i,r) * (PM(i,r)/PT_M(i,s,r))**esubm(i))$vxmd(i,s,r))
$macro DTWR(j,i,s,r) ((vtwr(j,i,s,r) * M(i,r) * (PM(i,r)/PT_M(i,s,r))**esubm(i))$vtwr(j,i,s,r))

```

* Associated tax revenue:

```

$macro REVTXS(r) (sum((i,s)$vxmd(i,r,s), -rtxs(i,r,s) * P(i,r) * dxmd(i,r,s)))

```

\$if defined j2 \$abort "The REVTMS(r) macro requires a uniquely defined alias for j."
alias (j,j2);

```

$macro REVTMS(r) (sum((i,s)$vxmd(i,s,r), rtms(i,s,r) * \
  (P(i,s)*(1-rtxs(i,s,r))*DXMD(i,s,r) + sum(j2, PT(j2)*DTWR(j2,i,s,r))))))

```

* -----

* Transforamtion sector for sluggish factors:

```

* $prod:FT(sf,r)$evom(sf,r) t:etrae(sf)
* o:PS(sf,j,r) q:vfm(sf,j,r)
* i:PF(sf,r) q:evom(sf,r)

```

parameter thetavfm(f,j,r) Value shares of specific factors;
thetavfm(sf,j,r) = vfm(sf,j,r)/evom(sf,r);

\$if defined j3 \$abort "The PVFM(sf,r) macro requires a uniquely defined alias for j."
alias (j,j3);

```

$macro PVFM(sf,r) (sum(j3,thetavfm(sf,j3,r)*PS(sf,j3,r)**(1+etrae(sf))**(1/(1+etrae(sf))))))

```

```

prf_ft(sf,r)$evom(sf,r)..    PF(sf,r) =e= PVFM(sf,r);

```

* -----

* Income balance condition:

```

* $demand:RA(r)
* d:P("c",r) q:vom("c",r)
* e:P("c",r,mum) q:vb(r)
* e:P("g",r) q:(-vom("g",r))
* e:P("i",r) q:(-vom("i",r))
* e:PF(f,r) q:evom(f,r)

```

inc_ra(r)\$ra.lo(r) < ra.up(r)..

$$RA(r) = e = \text{sum}(\text{rnum}, P("c", \text{rnum}) * \text{vb}(r)) \\ - P("g", r) * \text{vom}("g", r) \\ - P("l", r) * \text{vom}("l", r) \\ + \text{sum}(f, PF(f, r) * \text{evom}(f, r)) \\ + \text{REVTO}(r) + \text{REVTFD}(r) + \text{REVTFI}(r) \\ + \text{REVTF}(r) + \text{REVTXS}(r) + \text{REVTMS}(r);$$

* -----
* Market clearance associated with firm output:

mkt_p(g,r)\$vom(g,r)..

$$Y(g, r) * \text{vom}(g, r) = e = (RA(r) / P(g, r)) \$\text{sameas}(g, "C") + \\ \text{vom}(g, r) \$(\text{sameas}(g, "G") \text{ or } \text{sameas}(g, "l")) + \\ \text{sum}(i \$\text{sameas}(i, g), \text{sum}(gg, \text{DDFM}(i, gg, r)) + \text{sum}(s, \text{DXMD}(i, r, s)) + \text{DST}(i, r));$$

* -----
* Market clearance associated with imports:

mkt_pm(i,r)\$vim(i,r).. $M(i, r) * \text{vim}(i, r) = e = \text{sum}(g, \text{DIFM}(i, g, r));$

* -----
* Market clearance associated with transport services:

mkt_pt(j)\$vtw(j).. $YT(j) * \text{vtw}(j) = e = \text{sum}((i, s, r), \text{DTWR}(j, i, s, r));$

* -----
* Market clearance associated with primary factors:

mkt_pf(f,r)\$evom(f,r).. $\text{evom}(f, r) = e = \text{sum}(j, \text{DFM}(f, j, r)) \$\text{mf}(f) + (\text{evom}(f, r) * \text{FT}(f, r)) \$\text{sf}(f);$

* -----
* Market clearance associated with specific factors:

mkt_ps(sf,j,r)\$vfm(sf,j,r)..
 $\text{vfm}(sf, j, r) * (PS(sf, j, r) / PF(sf, r)) ** \text{etrae}(sf) * \text{FT}(sf, r) = e = \text{DFM}(sf, j, r);$

model gtap8mcp /
prf_y.Y,prf_m.M,prf_yt.YT,prf_ft.FT,
mkt_p.P,mkt_pm.PM,mkt_pt.PT,mkt_pf.PF,mkt_ps.PS,
inc_ra.RA/;

* MMR: NO TENEMOS UNA LICENCIA DEL SOLVER CONOPT. NO VERIFICAMOS
EQUIVALENCIA SOLUCION
* model gtap8cns /

```
*      prf_y,prf_m,prf_yt,prf_ft,
*      mkt_p,mkt_pm,mkt_pt,mkt_pf,mkt_ps,
*      inc_ra;
```

* Assign default values:

```
Y.L(g,r) = 1;
M.L(i,r) = 1;
YT.L(j) = 1;
```

* Liberamos el valor del factor sluggish para que no tome un valor predefinido

```
FT.L(sf,r) = 1;
P.L(g,r) = 1;
PM.L(j,r) = 1;
PT.L(j) = 1;
PF.L(f,r) = 1;
PS.L(sf,j,r) = 1;
RA.L(r) = vom("c",r);
```

* Fix variables which should not enter the model:

```
Y.FX(g,r)$vom(g,r)=0 = 1;
M.FX(i,r)$vim(i,r)=0 = 1;
YT.FX(j)$vtw(j)=0 = 1;
P.FX(j,r)$vom(j,r)=0 = 1;
PM.FX(j,r)$vim(j,r)=0 = 1;
PT.FX(j)$vtw(j)=0 = 1;
PF.FX(f,r)$evom(f,r)=0 = 1;
PS.FX(f,g,r)$not i(g) = 0;
PS.FX(f,j,r)$((not sf(f)) or (vfm(f,j,r)=0)) = 1;
```

```
FT.FX(f,r)$((not sf(f)) or (evom(f,r)=0)) = 1;
```

* Establish a price normalization using the reference region:

```
RA.FX(rnum) = RA.L(rnum);
```

```
gtap8mcp.iterlim = 0;
solve gtap8mcp using mcp;
gtap8mcp.iterlim = 10000;
```

```
solve gtap8mcp using mcp;
```

```
Display Y.I, P.L, M.L, RA.L, PS.L;
```

* INTRODUCIMOS AHORA LOS CHOQUES

* INTENTAMOS UN APPROACH DISTINTO AL ENDOWMENT FIX. MENOS TIERRA DISPONIBLE PARA MAÍZ

```
PS.FX("Land","GR","MEX")=0.5;
```

```
solve gtap8mcp using mcp;
```

```
Display Y.I, P.L, M.L, RA.L, FT.L, PS.L;
```

```
$exit
```

Con el apoyo de AgroBIO México.

