

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA ECONÓMICAS, A.C.



EVALUACIÓN DE RIESGOS DERIVADOS DE LA INTRODUCCIÓN DE
MAÍZ TRANSGÉNICO EN CAMPOS DE CULTIVO MEXICANOS

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ECONOMÍA

PRESENTA

JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ MENDOZA

DIRECTOR DE LA TESINA : DR. JUAN MANUEL TORRES ROJO

MÉXICO, D.F.

JUNIO, 2014

Agradecimientos

La realización del presente trabajo que representa la culminación de una etapa de dos años de grandes esfuerzos, recompensados por el invaluable conocimiento adquirido, hubiera sido imposible sin el apoyo de varias personas a las cuales creo pertinente agradecer.

Primero que nada a mi Padre, por su cariño y grandes consejos, por ser esa persona que siempre me escuchó en los momentos más difíciles y sobre todo por tener las palabras exactas para motivarme a seguir adelante, por ser la persona que más confió en mí y por la fuerza que me brindó para hacer caso omiso a las voces que decían que no iba a poder.

A mi madre, que aunque no la tenga físicamente a mi lado, sin el cariño que me brindó y los valores que me inculcó en el poco pero maravilloso tiempo que conviví con ella, hubiera sido imposible que alcanzara este objetivo que me tracé.

A mis profesores de la maestría, por ser esa valiosa fuente de conocimientos, por su paciencia, tiempo y dedicación en la enseñanza de las diversas asignaturas que me brindaron y que representó una de las principales armas para la realización del presente trabajo. Especial agradecimiento al Dr. Juan Manuel Torres Rojo, por su asesoría y guía.

A mis compañeros de la maestría, por ser ese excelente equipo de trabajo que nunca dejaba caer a ninguno de sus integrantes, por los momentos extra académicos que representaban un buen disuasivo de las presiones y estrés que a veces nos agobiaba e incluso por la amistad

muy valiosa que me llevo de algunos de ellos.

A mi familia y amigos, por ser ese soporte con el cual siempre sabía que podía contar, que aunque no estuviera en constante contacto con ellos, cuando los necesité siempre me escucharon y brindaron excelentes consejos y cariño que me ayudaron a seguir adelante.

A Dios por ser esa fuente invisible e inexplicable, pero presente, de mi fortaleza en momentos difíciles, de mi fuerza de voluntad, de mi motivación y sobre todo de mi salud, que sin dichos elementos sería imposible realizar algo.

Finalmente le agradezco a la vida, que a pesar de haber momentos difíciles, duros y tristes, son más aquellos los momentos felices, provocados a veces por situaciones insignificantes, pero que provocan valorarla en gran medida, pues sin ella, no habría nada.

Índice general

1. Introducción	6
2. Contexto	9
2.1. Organismos Genéticamente Modificados	10
2.2. Beneficios de los cultivos genéticamente modificados	12
2.2.1. Beneficios en producción	12
2.2.2. Beneficios en calidad de vida	13
2.3. Riesgos de los cultivos genéticamente modificados	15
2.3.1. Riesgos para el medio ambiente	15
2.3.2. Riesgos para la salud	16
2.3.3. Riesgos para la biodiversidad	17

<i>ÍNDICE GENERAL</i>	4
2.3.4. Riesgos para la competencia económica	17
2.4. Liberación de maiz transgénico en México	18
3. Modelo	22
3.1. Modelo con funciones específicas	25
4. Solución del modelo y resultados	29
5. Conclusiones	38
6. Bibliografía	41

Índice de figuras

2.1. Relación entre cantidad de insecticida utilizado y pérdida de la cosecha, con y sin transgénico Bt (Qaim y Zilberman, 2003).	12
2.2. Ejemplos de la reducción en el grado de toxicidad de los insecticidas utilizados (Qaim, 2009).	14
4.1. Promedios regionales por área de la porción de tierra dedicada a variedades tradicionales, precios sombra y precios de mercado (Arslan, 2008)	34

Capítulo 1

Introducción

En los años 60's la "Revolución Verde" permitió incorporar a la agricultura tradicional nuevas tecnologías de cultivo acompañadas de material genéticamente mejorado. Estas tecnologías dieron por resultado aumentos notables de rendimiento en cultivos agrícolas con sus consecuentes beneficios para la población, sobre todo aquella ubicada en las zonas más marginadas del planeta. El desarrollo genético de años recientes ha dejado atrás la simple y tradicional selección de especies y variedades introducida por Lineo y que dio origen a la señalada Revolución Verde, para dar paso a la biotecnología. En este nuevo contexto el tiempo de selección genética se acorta y se abre la posibilidad de intercambiar material genético entre especies aprovechando bondades de unas y otras con la finalidad de obtener material genético más resistente a plagas, enfermedades, sequía, de mayor rendimiento, con mayor capacidad para la producción de ciertas sustancias (proteínas o enzimas) o incluso con sabores y olores específicos. Si bien estas mejoras en el germoplasma usado podrían aumentar rendimientos, reducir costos y, al menos en teoría, mejorar la calidad del producto, existe el riesgo de que surjan varios efectos colaterales para el ambiente y la salud humana derivados del cultivo y consumo de material transgénico.

En México se permite el cultivo de ciertas especies transgénicas como el algodón y la

soya; sin embargo, en el caso del maíz resulta un tema complicado, debido a que el país es “Centro de Origen” y concentra una enorme diversidad genética de este cultivo. Esta diversidad genética posee una importancia sociocultural de gran trascendencia para una sustancial proporción de los productores de dicho cultivo, misma podría correr el riesgo de desaparecer sin un control adecuado en la liberación de variedades transgénicas. Adicionalmente, la introducción de variedades transgénicas y la concentración de insumos requeridos para este cultivo, podrían debilitar aún más un sector rural de por sí deteriorado. Sumado a lo anterior, el cultivo de transgénicos puede representar riesgos potenciales a la salud humana y al ambiente, que a pesar de no haberse comprobado nada aún, los expertos creen que aún pudieran existir consecuencias a largo plazo.

Dado que el cultivo de transgénicos representa muchas ventajas en términos de seguridad alimentaria, resulta importante desde el punto de vista económico analizar si los costos asociados a la introducción de maíz transgénico en campos de cultivo mexicanos son inferiores a los beneficios que podrían estar asociados al cultivo de Organismos Genéticamente Modificados (OGM). Tal comparación permitiría identificar no solo los costos asociados a enfrentar determinados riesgos, sino también las deficiencias de información y de desarrollo tecnológico para reducir o mitigar los riesgos asociados a la producción de transgénicos.

El trabajo consiste en desarrollar un modelo teórico sobre un planificador, el cual debe elegir entre la cantidad a cultivar de maíz transgénico y de maíz no transgénico, considerando como restricciones los beneficios y riesgos tanto económicos, sociales, culturales, ecológicos y de biodiversidad, que implica la implementación de variedades GM (Genéticamente Modificadas) en los campos de cultivo. La hipótesis del modelo es que debe existir un grado de coexistencia entre maíz genéticamente modificado y maíz no modificado, de tal forma que se exploten al máximo los beneficios de los OGM, tomando en cuenta los riesgos potenciales de éstos. El objetivo del presente será encontrar bajo qué condiciones se puede establecer esta relación de coexistencia.

El presente trabajo, pretende contribuir a la literatura existente sobre modelos teóricos que

analicen la introducción de OGM desde una perspectiva *ex ante* en el caso del maíz mexicano, el cual representa el principal cultivo del país y posee un sin número de atribuciones extra mercado que el maíz proporciona a la sociedad.

Debido a las posturas tan polarizadas sobre el tema, existen muchos mitos acerca de los OGM, por tanto, el trabajo tiene como primer objetivo documentar los beneficios y riesgos probados de los OGM, fundamentados en artículos de investigación, los cuales consideran pruebas empíricas, modelos económicos y econométricos o experiencias en otros países de la liberación de OGM en los campos de cultivo. Posteriormente se abrirá una sección que documentará la situación del campo mexicano y analiza si las experiencias con los OGM en otros países pueden ser comparables, así como posibles políticas aplicables, al campo mexicano. Finalmente, se desarrollará el modelo teórico que decidirá la óptima asignación de maíz transgénico y maíz endémico, que minimice los riesgos a los que se está expuesto con la liberación de este tipo de organismos. Con base al modelo desarrollado se encuentra que la coexistencia económica de ambos tipos de variedades es viable, debido a que el precio sombra mayor al precio de mercado que se observa en gran parte de las comunidades rurales, originado por la importancia sociocultural que brinda este cultivo a dichas comunidades, permitiría la creación de zonas de conservación *in situ de facto*, aunado a que las regiones que exhiben precios sombra por debajo de los precios de mercado, resultan ser zonas donde se practica la agricultura intensiva y resultaría una zona ideal para cultivar transgénicos y aprovechar la ventaja que ofrecen dichos cultivos.

Capítulo 2

Contexto

Un tema polémico en las últimas décadas entre distintos grupos de la sociedad es el desarrollo, liberación y posterior comercialización de organismos genéticamente modificados (OGM) en la agricultura, alimentos y algunos medicamentos. Las posturas ante los OGM son variadas y algunas completamente polarizadas. Por un lado, los que están a favor mencionan que los OGM pueden presentar la solución a los problemas de hambruna en el mundo y garantizar el suministro de alimento ante el acelerado crecimiento de la población mundial. En el otro extremo, los opositores argumentan que ha transcurrido poco tiempo como para conocer los riesgos a la salud y al ambiente que los OGM puedan provocar; además del evidente poder de mercado que han adquirido las empresas biotecnológicas que comercian semillas genéticamente modificadas y que, protegidas por las leyes de patentes, prácticamente son un monopolio en la industria alimenticia de los países donde estas transnacionales tienen actividades.

Cabe destacar que los OGM no sólo son usados para producir alimentos, sino también para producir insumos en la industria farmacéutica y otras industrias, por ejemplo la petrolera. En estas industrias donde el uso de los OGM no es directo, la polémica es menor pues medicamentos como la insulina y bacterias encargadas de procesar desechos industriales, pa-

recen ser bien aceptadas por la sociedad en general, aunque el riesgo ecológico se mantenga. Sin embargo, la mayor controversia surge en los cultivos transgénicos destinados al consumo humano.

2.1. Organismos Genéticamente Modificados

Los OGM son organismos vivos (plantas, animales o bacterias) que han sido genéticamente manipulados mediante la inserción de un gen extraño. Dicho gen extraño, que puede provenir de muchas fuentes diversas, se inserta para aumentar el valor del organismo receptor, en el caso de los cultivos genéticamente modificados, se crean principalmente para reducir los costos de producción a nivel de fincas o para incrementar la calidad del producto (Feldmann et al., 2000).

La diferencia principal de la manipulación de genes (biotecnología) con los métodos tradicionales de mejoramiento del cultivo (ingeniería genética), como es el caso del fitomejoramiento, radica en que la biotecnología facilita la transferencia de genes a través de las barreras taxonómicas, es decir, no solo en organismos estrechamente emparentados sino también entre organismos completamente distintos (Ortega, 2008).

La aparición de las técnicas de biotecnología a principios de los años 70s abrió la posibilidad de aislar genes o sintetizarlos químicamente, lo que dio la oportunidad de producir OGM, pero no es sino hasta mediados de los años 90s cuando estos se comienzan a producir y comercializar en masa. China se convirtió en el primer país que introdujo un OGM comercial en cultivos, el cual fue una variedad de tabaco resistente a un virus denominado TMV (Tabacco Moisac Virus), posteriormente se fue extendiendo el número de países donde se introdujeron los OGM comerciales, tanto en países en desarrollo como en países desarrollados (Feldmann et. al, 2000).

Además se observó una rápida aceptación entre la comunidad agrícola; sin incluir a China, la superficie sembrada con cultivos transgénicos aumentó de 1.7 millones de hectáreas (ha) en 1996 a 11.0 millones de ha en 1997 y a 27.8 millones de ha en 1998 (James, 1998). Más recientemente, en 2008 dicho número siguió creciendo, pues a esa fecha la superficie sembrada ascendió a 125 millones de ha en 25 países, además de que EUA, el socio comercial más fuerte de México, tenía el 50% de esa superficie hasta entonces (James, 2008), lo que sugiere que es un tema que no puede pasar desapercibido por el país debido a la importancia agrícola del maíz en México.

Qaim (2009) distingue 3 categorías de OGM: La primera generación de cultivos GM son aquellos donde el objetivo es la mejora de las características agronómicas, como la mayor resistencia a herbicidas y plagas. La segunda generación incorpora mejoras en la calidad como agregar mayor número de nutrientes en la comida. Por último, la tercera generación la constituye el desarrollo de organismos capaces de generar sustancias específicas, las cuales son usadas para la producción de fármacos o insumos industriales. La primera de ellas es la que más se ha utilizado de forma comercial y de la cual ya se tienen datos e investigaciones sobre beneficios y riesgos. Sobre la segunda, a pesar de que la investigación ha sido fuerte, aún es muy poca su distribución comercial, por lo tanto representan riesgos y beneficios potenciales. De la tercera, no nos interesará en este trabajo debido a que no va dirigido al consumo humano como alimento.

El maíz genéticamente modificado representa el segundo cultivo que más se ha expandido, después de la soya HT (tolerante a herbicidas), y cubre el 30% del área destinado a cultivo GM y el 28% de la producción total del maíz en 2008 (James, 2008). Las variedades de maíz transgénico más desarrolladas son principalmente dos: por un lado está el maíz HT resistente a herbicidas y el otro es el maíz Bt, el cual expresa genes de la bacteria *Bacillus thuringiensis*, lo que resulta tóxico para diversas clases de plagas y tiene la ventaja de ser muy selectiva ecológicamente hablando, pues resulta inocua para otras especies.

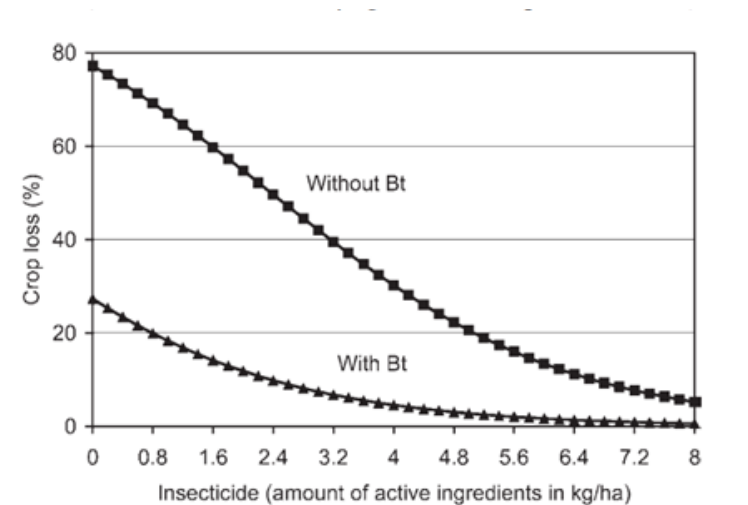


Figura 2.1: Relación entre cantidad de insecticida utilizado y pérdida de la cosecha, con y sin transgénico Bt (Qaim y Zilberman, 2003).

2.2. Beneficios de los cultivos genéticamente modificados

Se pueden distinguir dos grandes clasificaciones de los beneficios, por un lado están los beneficios sobre la producción y por el otro los beneficios sobre la calidad de vida, los que a su vez engloban temas como nutrición, salud y medio ambiente.

2.2.1. Beneficios en producción

El uso de cultivos GM, por ejemplo, el uso del maíz Bt, puede llevar a una *menor pérdida en la cosecha*, debido al efecto pesticida del Bt, lo cual reduce la probabilidad de pérdidas por plagas, incrementado el rendimiento del campo de cultivo. Dicho efecto se puede incrementar en la mayoría de países en desarrollo donde debido a sus condiciones climáticas, aumenta la incidencia de plagas y enfermedades (Qaim & Zilberman, 2003). En la Figura 2.1 se puede observar la relación entre el uso de insecticida y la pérdida de cosecha con datos del cultivo del Algodón Bt en la India, la cual muestra una importante reducción en el uso de insecticida y de pérdida de la cosecha.

Debido al menor uso de insecticidas y herbicidas, el uso de cultivos GM representa una *disminución en los costos de producción*. Carlson et al.(1997) señalan que el menor empleo de plaguicidas se traduce directamente en mayores utilidades, que suman entre US\$7 y US\$36 por ha en el caso del maíz cultivado en EUA. Con los OGM resistentes a herbicidas sucede algo similar, en el caso de la soya resistente al herbicida Roundup Ready aumentan las utilidades de los productores en un promedio de US\$14 por ha.

Ortega (2008) sugiere que el cultivo de OGM reduce la pérdida de la cosecha hasta un 30% durante la distribución y venta del cultivo, de manera que se puede ampliar la vida pos cosecha de los productos, además de permitir prácticas agrícolas sustentables y la posibilidad de la rápida aplicación de programas de conservación del suelo, ésta última idea también la sostiene Brooks & Barfoot (2008) al mencionar que se ha reducido la práctica de labranza, reduciendo la erosión del suelo. Estos claramente también son beneficios para el ambiente, aunque puede verse como elementos que *garanticen y faciliten la producción futura*.

2.2.2. Beneficios en calidad de vida

Si campesinos pobres pudieran acceder a cultivos GM, conjuntamente con buenas regulaciones donde no haya fuertes restricciones de patentes ni precios de semillas altos, así como restricciones de infraestructura, el uso de cultivos GM podrían *disminuir la pobreza* de éstas personas así como *reducir la desigualdad*, además de que muchos estudios han probado que las ventajas de la tecnología Bt para los pequeños productores es similar y en algunos casos mayores que en la producción a larga escala (Qaim, 2009).

Debido al aumento en el rendimiento del campo, en dichos campos de cultivo se requiere mayor personal en actividades de cosecha y otras actividades relacionadas, traducido lo anterior en *mayor empleo rural* y por tanto en mayores ingresos para estas comunidades (Subramanian & Qaim, 2009a,b).

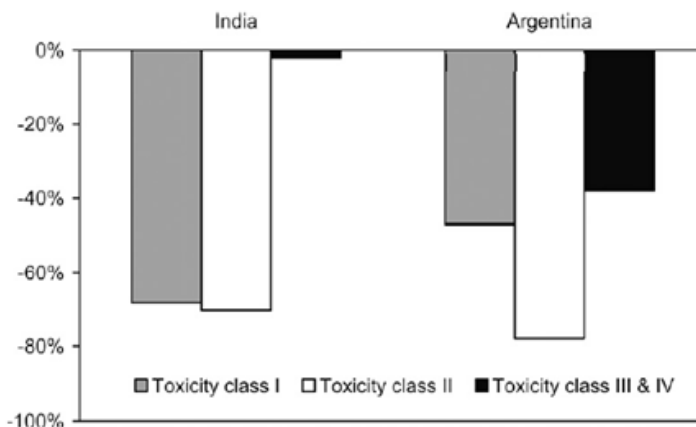


Figura 2.2: Ejemplos de la reducción en el grado de toxicidad de los insecticidas utilizados (Qaim, 2009).

Los *beneficios para el ambiente* son significativos, a pesar de que en muchos casos no se consigue una reducción significativa en el uso de herbicidas, no obstante, sí se observa un intercambio de éstos por unos mucho menos tóxicos, además de la disminución de prácticas como la labranza que provocan la erosión del suelo y del uso de maquinaria que requiere combustible fósil. Donde sí se observa una reducción significativa, es en el uso de insecticidas químicos (Figura 2.1). En la figura 2.2 se puede observar la reducción del uso de insecticida en los campos de algodón Bt, en la India y Argentina, por grado de toxicidad, donde la clase I representa el más tóxico y el III el menor.

Debido al menor uso de insecticidas y por tanto menor exposición durante la aplicación de éstos, se da una notable *mejora en la salud* de los agricultores. Hossain et al. (2004) utilizan modelos econométricos para establecer una relación causal entre el cultivar algodón Bt y el mejoramiento de la salud de los agricultores con datos de campos de cultivo chinos, obteniendo que si un agricultor destina 1/15 de ha más de área de algodón Bt, la probabilidad del agricultor de enfermarse por envenenamiento decrece 1.4%. Además debido a la disminución de residuos tóxicos de insecticidas en los alimentos y el agua, también se puede observar una mejora en la salud de los consumidores.

Finalmente, los OGM ofrecen un *beneficio potencial* el cual será una realidad cuando se

logren desarrollar y comercializar completamente los cultivos GM de segunda clase, es decir aquellos con mejoras en los nutrientes, lo cual puede ser favorable para la disminución de la desnutrición en muchos países pobres o en desarrollo. Además también se podría modificar los cultivos dedicados a alimento de ganado, proporcionando mejor calidad en estos productos.

2.3. Riesgos de los cultivos genéticamente modificados

Alrededor de los OGM existe mucha especulación sobre daños a la salud y al ambiente; sin embargo, no hay o son muy pocos los artículos de investigación publicados en revistas científicas reconocidas que demuestren riesgos a la salud o al ambiente, aunque tampoco hay datos que demuestren lo contrario. No obstante, generalmente antes de liberar alimentos que contengan OGM se hace una gran serie de estudios para aprobar la liberación de éstos. Empero, los temores de daños a largo plazo siguen latentes y deben considerarse como riesgos potenciales.

2.3.1. Riesgos para el medio ambiente

En cuestión de riesgos al ambiente se teme que surjan plagas resistentes a las toxinas del Bt, debido a la continua exposición de las plagas a dicha toxina. Si sucede esto, se tendrían que utilizar insecticidas más fuertes y dañinos al ambiente. Una de las estrategias que se siguen para evitar esto, es dejar zonas exentas de cultivos transgénicos donde puedan continuar viviendo los insectos no resistentes (Feldmann et al, 2000).

Se teme que la liberación de las toxinas Bt, que funcionan como insecticida dañen a insectos benéficos o insectos que no representan una plaga. Un estudio sobre la mariposa monarca, muestra un aumento en la mortalidad de las larvas alimentadas con polen de maíz

transgénico Bt (Losey, Raynor & Carter, 1999). Dicho estudio fue muy famoso y también altamente cuestionado pues se realizó en un ambiente de laboratorio con condiciones distintas a las del campo. Un caso similar a la resistencia de insecticidas es el temor de que los genes de resistencia a los herbicidas puedan pasar de los cultivos transgénicos a otras especies silvestres o cultivadas y producir super malezas que resistan los métodos tradicionales y se requiera de herbicidas más fuertes y dañinos para el ambiente.

2.3.2. Riesgos para la salud

Se teme que en el caso de los cultivos Bt, la resistencia a la ampicilina de los cultivos Bt se transfiera a organismos patógenos, aumentando los problemas de salud pública derivados del aumento de resistencia de determinados organismos a los antibióticos (Ortega, 2008).

Ortega (2008) menciona que es probable que se desarrollen alergias debido a que ingresan al cuerpo humano nuevas proteínas que resultan extrañas para el sistema inmunológico. En el caso del Bt utilizado como biopesticida, se ha demostrado que causa alergias a los trabajadores rurales, pero dado que se lavan las esporas antes de que el producto salga al mercado, no representa riesgo alguno para el consumidor; sin embargo, en el caso de un transgénico Bt es imposible lavar dichas esporas, pues el gen ya está presente en el código genético del cultivo, representando un verdadero riesgo potencial para el consumidor.

Otro de los riesgos potenciales que hasta la fecha no se ha demostrado en ningún trabajo de investigación, es la posibilidad de que exista transferencia horizontal de genes, es decir que el material genético introducido al OGM se incorpore en el material genético de otro organismo.

2.3.3. Riesgos para la biodiversidad

Este tipo de riesgo es el que principalmente causa conflicto en la posible introducción del maíz transgénico en campos de cultivo mexicanos, debido a la importancia sociocultural y económica de la agricultura tradicional del maíz, además de que el país es centro de origen de tan importante cereal (Ortega, 2008). Chapela y Quist (2001) encontraron un alto nivel de flujo genético de maíces transgénicos producidos industrialmente hacia poblaciones de maíces criollos en Oaxaca, México. Además por selección natural, al ser el maíz transgénico más fuerte contra plagas e incluso, de desarrollarse en un futuro, contra condiciones climáticas, se podría provocar la extinción de diversas variedades de maíz y sólo sobrevivir la GM.

2.3.4. Riesgos para la competencia económica

Una de las grandes problemáticas que ya se observa en otros países es la gran concentración de mercado del sector biotecnológico que desarrolla y comercia los OGM, en 2004 sólo cinco compañías controlaban la totalidad del mercado mundial: Monsanto (80% del mercado), Bayer CropScience (7%), Syngenta (5%), BASF (5%) y DuPont (3%) (Segrelles, 2005). Además en países como en EUA las leyes sobre propiedad y derechos de autor son muy fuertes, creando restricciones sobre los agricultores más pequeños, pues ellos podrían haber problemas legales si intentan reutilizar las semillas en la siguiente siembra. Peor aún, de concentrarse el mercado de los cultivos GM en unas pocas transnacionales, podría aumentar el precio de las semillas, empobreciendo a los campesinos y aumentando la desigualdad social, situación que eliminaría los beneficios en la calidad de vida y reducción de costos arriba mencionados.

2.4. Liberación de maíz transgénico en México

El caso particular de la liberación de maíz transgénico en campos mexicanos goza de cierta singularidad al ser el país centro de origen de dicho cultivo y poseer la mayor diversidad genética de éste cultivo (59 razas distintas) (Arslan, 2008), además de ser el más importante cultivo del país en cuanto a superficie cultivada, valor de producción y personal empleado. Aunado a la particular forma de producción agrícola del país, donde se pueden distinguir tres tipos de campos de cultivo; en primer lugar; el tipo “no comercial”, cuya producción va en mayor proporción al consumo del propio hogar (autoconsumo) y a un mercado muy limitado y hacia 1991 representaba el 34 % del total de la superficie mexicana cultivada; en segundo lugar, las “semi-comerciales”, cuya producción está destinada al consumo del hogar y un mercado más amplio, dicho sistema representa el 25 % de la superficie cultivada; finalmente están las “comerciales” las cuales representan el 31 % de plantaciones y su producción va destinada totalmente al mercado (Brush & Chauvet, 2004; INEGI, 1991). Aunado a eso, la tenencia de la tierra puede ser de tipo comunal (ejidos/comunidades), privado o ambos, lo que hace más complejo el análisis en el campo mexicano (Warman, 2001).

Los dos primeros tipos de plantaciones mencionados anteriormente utilizan limitados insumos como herbicidas y plaguicidas (Jourdain et al., 2001), por tanto, la introducción de maíz transgénico con las trazas que actualmente se comercializan en otros países, que son la resistencia a herbicidas y con el gen Bt (insecticida), traería ganancias marginales a los pequeños productores del país que representan más de la mitad de productores de dicho cultivo.

Además en este tipo de plantaciones se tienen técnicas milenarias, como es el caso de la milpa (Aguilar et al., 2003), la cual consiste en la plantación intercalada de distintos cultivos, principalmente maíz, frijol y calabaza, lo que sugiere que se debe prestar atención en los potenciales efectos de las variedades de maíz transgénico sobre los otros cultivos, como por ejemplo, el flujo genético que puede haber y las plagas que atacarían con mayor ímpetu a los otros cultivos, situaciones que podrían derivar incluso en la desaparición de estas técnicas de gran importancia sociocultural para el campesino mexicano.

La importancia de las técnicas tradicionales de cultivo y del campesino radica en el hecho de que el campesino mexicano se ha encargado de la preservación de la diversidad genética del maíz por milenios (Goodman & Barrios, 2004), además de que dichas técnicas poseen una función social que consiste en sostener la seguridad alimenticia ante diversos problemas sociales como desempleo, migración, pobreza extrema y el colapso rural (Bartra, 2004).

El mayor riesgo que actualmente enfrenta el campesino mexicano radica en la competencia internacional que enfrenta, pues desde la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), el campesino se enfrenta ante un maíz estadounidense subsidiado hasta un 30% (Nadal, 2000), que baja el precio de dicho cultivo y claramente deja al campesino en una posición vulnerable de no poder competir ante esos precios.

Actualmente el costo de desarrollar transgénicos es demasiado alto, aunado al lento efecto sobre el rendimiento de los campos, hace prácticamente imposible la inversión por parte de los campesinos a desarrollar estas especies, por tal se requeriría que dicha investigación corriera a cargo con recursos públicos (Brush & Chauvet, 2004) y que los resultados obtenidos estuvieran disponibles para cualquier tipo de productor agrícola incluyendo al campesino, de otra forma al dejarse dicha tarea al sector privado, dicha firma desarrolladora buscará recuperar su inversión protegiéndose como ha sucedido en otros países con leyes de propiedad intelectual fuertes, lo que le permitiría monopolizar los avances obtenidos. Esto provocaría precios más altos y que se ampliara la brecha de desigualdad entre el campo mexicano y los sectores rurales del país, así como aumentar la presión social para erradicar las formas tradicionales de cultivo.

Actualmente el riesgo de contaminación genética por la importación de maíz de EUA, en el cual hay diversidades transgénicas, es muy poca en zonas tropicales y subtropicales, debido al proceso de adaptación que tendría que tener dicho cultivo al clima de estas regiones. Sin embargo, en el norte del país sería más fácil esta adaptación debido a las similitudes de condiciones entre el norte del país y el sur de los EUA. No obstante, se considera que el riesgo al ambiente de las variedades transgénicas del maíz tendrían el mismo riesgo contra

la biodiversidad que los híbridos y las especies mejoradas del maíz que ya se han probado en el país, además se reduce el riesgo de contaminación genética si se plantan en una región específica, pues si esta transferencia logra traspasar las fronteras de la región, la adaptación dificultaría la sobrevivencia de dicha variedad (Goodman & Barrios, 2004).

Dado que se ha registrado alto flujo genético entre el maíz y el teosinte, especie silvestre del maíz, en caso de trazas de resistencia contra herbicidas, éstas podrían transferirse al teosinte, lo cual sería benéfico para dicha especie, pues podría detener su actual deterioro en número; sin embargo, también existe el temor de que se convierta en maleza, aunque debido a la superficie actual de teocinte esta posibilidad es algo remota (Kato, 1997).

Los OGM no son la única ni la más importante amenaza para el campo mexicano y sus formas de producción tradicionales, así como de la preservación de la diversidad genética del maíz. El incremento en el número de importaciones derivado del TLCAN, resulta una situación más peligrosa pues provoca fuertes presiones sociales al campesino mexicano, orillándolo a dejar los medios tradicionales e incluso a dejar el campo y recurrir a la migración (Fritscher, 1999).

La introducción de maíz transgénico con las trazas adecuadas que sean de mayor utilidad para el campesino, como resistencia a la sequía y control de plagas en el almacenamiento del grano, podrían beneficiar en gran medida al campesino, siempre y cuando dichos transgénicos sean desarrollados con recursos públicos que permitan su posterior libre acceso o en caso de ser desarrollado por la iniciativa privada, establecer leyes de propiedad intelectual menos estrictas que exenten a los campesinos mexicanos. Además si se da la introducción de maíz transgénico resulta necesaria la implementación y fortalecimiento de bancos de genes y dar los incentivos necesarios para mantener ciertas regiones como bancos genéticos in situ manejados por campesinos tradicionales, que a su vez salvaguarden las técnicas de cultivo tradicionales (Goodman & Barrios, 2004).

Aunado a una reglamentación adecuada del control de estos organismos, la cual puede

muy bien ser cubierto por la Ley de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados con la cual ya se cuenta, no se ve mayor limitación para la liberación de variedades transgénicas de maíz y no generar un rezago tecnológico que genere una disminución en la competitividad contra la producción de otros países.

Dado lo anterior, es necesario un mayor número de estudios que investiguen más a fondo los costos y beneficios de la introducción de éste tipo de organismos al campo mexicano, para poder determinar la liberación más eficiente de éstos y gozar de los innegables beneficios, sin olvidar las restricciones económicas, sociales, culturales y de biodiversidad, estas últimas muy particulares e importantes para nuestro país.

Capítulo 3

Modelo

Acerca de modelos teóricos que traten de la asignación óptima de la tierra, Alihan Arslan (2008) analiza el caso para maíz tradicional y maíz mejorado (High Yield Variety) en comunidades rurales de México, extendiendo el modelo teórica de Arslan & Taylor (2008), llegando al resultado de que si el precio sombra de los productores es diferente del precio de mercado, la signación de la tierra diferirá de lo observado bajo un escenario de mercado perfecto, pues éstos asignarán mayor porción de tierra a las variedades tradicionales.

El modelo que se diseñó podría verse como una extensión de dicho modelo, con la diferencia de que el modelo anteriormente citado se hace para un agricultor representativo y en nuestro caso para un tomador de desiciones, además de que en el modelo que acontinuación se desarrolla se considera la externalidad negativa que representa el cultivo de variedades transgénicas, hacia la salud, el ambiente y a la producción de variedades tradicionales.

La idea general del modelo que plantearemos será el de asumir un tomador de decisiones que dispone de una extensión de terreno que se normalizará a 1 y determinará la cantidad de maíz transgénico que permitirá cultivar en los campos de cultivo, eligiendo la porción de terreno que destinará al cultivo de maíz endémico e híbrido (θ), la cantidad de isnumos a

utilizar (I) y la contaminación genética potencial que permitirá emitir (G), tomando en cuenta los beneficios y posibles riesgos que implica la liberación de maíz genéticamente modificado.

Se esta considerando un tomador de desiciones pues si se considerara un productor representativo este se inclinaría por producir aquel cultivo que le ofrezca mayores beneficios, por tanto elegiría cultivar mayor cantidad de maíz transgénico subestimando los posibles riesgos al ambiente, a la salud y a la biodiversidad que este tipo de cultivos podría generar. Tal solución es de esperarse dado que el productor sólo se vería afectado por una porción del total de la externalidad negativa que se genera.

El tomador de desiciones está limitado por una demanda de maíz que tiene que satisfacer a la sociedad y maximizará una función de bienestar social, tomando en cuenta tanto los costos de producción como los posibles riesgos ambientales y de salud, que el planificador tomará como algo indeseado.

El modelo en su forma general se planteará de la siguiente manera:

$$\max_{\{\theta, I, G\}} W(M_E, M_T, h^s)$$

s.a.

$$M_T + M_E = Q \quad (3.1)$$

$$M_E = \beta(G)g(\theta, I) \quad (3.2)$$

$$M_T = h((1 - \theta), I, G) \quad (3.3)$$

$$h^s = h^s(I, G) \quad (3.4)$$

$$I, G \geq 0 \quad (3.5)$$

$$0 \leq \theta \leq 1 \quad (3.6)$$

La función de bienestar dependerá de la cantidad de maíz endémico e híbrido cultivado (en adelante sólo se mencionará maíz endémico) (M_E), debido a que le interesa la conservación de diversidad genética, así como la importancia socio cultural y de seguridad alimenticia que ofrece este tipo de cultivo. La cantidad de maíz transgénico (M_T) también estará en la función de bienestar, debido a los beneficios en productividad y ahorro de insumos que ofrece este cultivo que le permitirá alcanzar más fácilmente la demanda de la sociedad. Por último también se incluye un término que representa la seguridad ambiental y humana (h^s), donde se engloban temas de salud pública y calidad ambiental que también son importantes para la sociedad y por tanto para el planificador.

La ecuación (3.1) se refiere a la cantidad demandada de maíz que el planificador debe cumplir para suministrar a la sociedad, dicha demanda se satisfará con ambos tipos de cultivos, tanto transgénico como endémico.

La ecuación (3.2) representa la función de producción del maíz endémico que tendrá como insumos la porción de tierra dedicada a dicho cultivo (θ) y ciertos insumos que pueden llegar a ser dañinos como herbicidas y plaguicidas (I). La función de producción esta multiplicada por una función $\beta(G)$, $0 \leq \beta \leq 1$, la cual representa la potencial pérdida de maíz endémico ante la contaminación genética por parte de la introducción del maíz transgénico. El término β se relaciona negativamente con el nivel de G , pues a mayor externalidad negativa menor cantidad de maíz endémico ($\beta'(G) < 0$), además los insumos se relacionan positivamente con la producción a tasas decrecientes ($\frac{\partial g}{\partial \theta} > 0$, $\frac{\partial g}{\partial I_D} > 0$).

La ecuación (3.3) representa la función de producción del maíz transgénico que depende de la porción dedicada a este cultivo ($1 - \theta$), de los insumos (I) y de un factor G que representa los potenciales riesgos a la salud y al ambiente provocados por el flujo genético y liberación de ciertas proteínas, dicho factor se considerará como insumo debido a que puede verse como "necesaria" para producir el transgénico. A pesar de que se utilizan los mismos insumos de producción que en el maíz endémico, la tecnología entre uno y otro cambia, se supondrá que la productividad del maíz transgénico es mayor para capturar los beneficios en producción

que ofrecen los cultivos GM. Como en la función de producción del maíz endémico, los insumos también se relacionan positivamente con la producción del transgénico.

La ecuación (3.4) representa la función de seguridad humana y ambiental o “human and environmental safety”, como en Sydorovych and Marra (2007), donde representa esta función en términos de la cantidad de herbicida utilizado. En este modelo se considerará en vez de sólo herbicida, los insumos, pues algunos de ellos pueden llegar a ser dañinos y la externalidad G producida por cultivar maíz transgénico. La relación de estos con la función h^s es negativa, pues a mayor cantidad de estos contaminantes, menor seguridad humana y ambiental ($\frac{\partial h^s}{\partial I_D} < 0$, $\frac{\partial h^s}{\partial G} < 0$).

Finalmente la ecuación (3.5) es la restricción de no negatividad.

3.1. Modelo con funciones específicas

Para obtener resultados más claros de la solución del modelo, se propusieron formas funcionales específicas al modelo general que anteriormente se mostró, quedando de la siguiente manera:

$$\max_{\{\theta, I, G\}} \pi - D^s$$

s.a.

$$M_T + M_E = \bar{Q} \quad (3.7)$$

$$\pi = p(1 - \omega)M_E + (P_S)\omega M_E + pM_T - P_I I - p_\theta \theta - p_{1-\theta}(1 - \theta) \quad (3.8)$$

$$M_E = \theta^\psi I^\beta \left(1 - \frac{G^\alpha}{\bar{G}}\right) \quad (3.9)$$

$$M_T = (1 - \theta)^{\psi + \psi_T} I^{\beta + \beta_T} G^\gamma \quad (3.10)$$

$$D^s = \phi I + \rho G \quad (3.11)$$

$$I, G \geq 0 \quad (3.12)$$

$$0 \leq \theta \leq 1 \quad (3.13)$$

La función a maximizar por el planificador estará dada por los beneficios netos de la industria del maíz y por una función de daños representando los posibles costos ambientales y de salud pública. Los beneficios netos de la industria agrícola del maíz estarán dados por la ecuación 3.8, los cuales a su vez resultan del producto del precio de mercado del maíz (p) y la cantidad producida de dicho maíz (M_E), este producto estará ponderado por $(1 - \omega)$, el cual representa la porción de maíz endémico que se vende en el mercado; por tanto, ω representa la porción de maíz endémico que se produce para autoconsumo, para dicha fracción el precio que se considerará será el precio sombra p_S , que representa el valor sociocultural y de seguridad alimenticia que dicho cultivo proporciona a cierta porción de la población. También se considera el producto del precio del maíz (p) por la cantidad producida de maíz transgénico (M_T), descontando los costos de producción dados por el precios de los insumos (p_I) y la cantidad utilizada de estos (I), así como los costos por la renta de la tierra ($p_\theta \theta$, $p_{1-\theta}(1 - \theta)$).

Los daños a la salud y al ambiente estarán dados por la ecuación 3.11, la cual representa los daños por la utilización de ciertos insumos dañinos como herbicidas y plaguicidas y los

daños generados por la externalidad que provoca el maíz transgénico. Dicha ecuación se propone aditivamente debido a que la ausencia de una causante de daño (ya sea insumos (I) o externalidad (G)) no implica que el daño sea cero si la otra causante es positiva. Además se consideran los parámetros ϕ y ρ ($0 < \phi, \rho < 1$) para representar la proporción en que la utilización de insumos y la generación de externalidad, provocan daños a la salud y al ambiente, de otra manera, si estos parámetros fueran 1 se supondría que por cada unidad utilizada de insumo y de externalidad generada, se reduciría en la misma unidad los beneficios sociales, situación que no precisamente ocurre.

La función de producción del maíz endémico está dada por la ecuación 3.9, donde θ es la porción de tierra dedicada al cultivo de maíz endémico, I son los insumos ocupados, tales como herbicidas, plaguicidas e incluso maquinaria, G es el nivel de la externalidad generada por la producción de maíz transgénico y \bar{G} es el nivel crítico de dicha externalidad, a la cual el maíz endémico se deja de producir; si el nivel de la externalidad es cero, es decir, que no se produzca maíz transgénico, entonces la función de producción del maíz endémico dependerá únicamente de los insumos y la porción de tierra dedicada a dicho cultivo. Además para que la tierra y los insumos exhiban rendimientos decrecientes, se supondrá $0 < \psi, \beta < 1$. El parámetro α ($0 < \alpha < 1$) determinará el grado en que la externalidad afecta la producción de maíz endémico.

La función de producción del maíz transgénico está determinada por la ecuación 3.10, donde $1 - \theta$ es la porción de tierra dedicada al cultivo de maíz transgénico, I son los insumos ocupados y G es el nivel de la externalidad generada, este último se toma como insumo debido a que es necesario generar dicha externalidad para producir maíz transgénico. Se supondrá que $0 < \beta + \beta_T < 1$, para que los insumos exhiban rendimientos decrecientes, además $\frac{\partial M_E}{\partial I} < \frac{\partial M_T}{\partial I}$, la diferencia estará determinada por el término β_T , que representa la mayor productividad de los insumos por el uso de transgénicos; de la misma manera la productividad marginal de la tierra dedicada a maíz transgénico será mayor que la del maíz endémico, representada dicha diferencia por el término ψ_T , así mismo la tierra también exhibirá rendimientos decrecientes, por tanto se supondrá $0 < \psi + \psi_T < 1$. El parámetro γ representa la

proporción de externalidad generada al cultivar maíz transgénico y se supondrá entre cero y uno.

Finalmente el tomador de decisiones debe cumplir con cierta demanda dada, la ecuación 3.7 representa que dicha demanda debe ser cubierta por el monto producido de maíz transgénico y endémico.

Capítulo 4

Solución del modelo y resultados

Para facilitar los cálculos cambiaremos la notación de los exponentes en los insumos y en la porción de tierra dedicada a cultivar maíz transgénico de la función de producción de dicho cultivo, así quedará ψ_M y β_M en vez de $\psi + \psi_T$ y $\beta + \beta_T$. Además, sea $p_{RE} = p(1 - \omega) + p_S\omega$, el precio real del maíz endémico que considera tanto la porción de dicha producción dedicada al autoconsumo con su precio sombra, como aquella proporción de la producción destinada a ventas de mercado con su correspondiente precio de mercado. De 3.7, 3.9 y 3.10:

$$\begin{aligned}\theta^\psi I^\beta \left(1 - \frac{G^\alpha}{\bar{G}}\right) + (1 - \theta)^{\psi_M} I^{\beta_M} G^\gamma &= \bar{Q} \\ \Rightarrow \theta^\psi I^\beta \left(1 - \frac{G^\alpha}{\bar{G}}\right) &= \bar{Q} - (1 - \theta)^{\psi_M} I^{\beta_M} G^\gamma\end{aligned}\tag{4.1}$$

De 3.8,3.9,3.10:

$$\begin{aligned}\pi &= p_{RE}M_E + pM_T - p_I I - p_\theta \theta - p_{1-\theta}(1 - \theta) \\ \pi &= p_{RE} \theta^\psi I^\beta \left(1 - \frac{G^\alpha}{\bar{G}}\right) + p(1 - \theta)^{\psi_M} I^{\beta_M} G^\gamma - p_I I - p_\theta \theta - p_{1-\theta}(1 - \theta)\end{aligned}$$

De 4.1:

$$\pi = p_{RE}(\bar{Q} - (1 - \theta)^{\psi_M} I^{\beta_M} G^\gamma) + p(1 - \theta)^{\psi_M} I^{\beta_M} G^\gamma - p_I I - p_\theta \theta - p_{1-\theta}(1 - \theta)$$

$$\Rightarrow \pi = p_{RE} \bar{Q} + (p - p_{RE})(1 - \theta)^{\psi_M} I^{\beta_M} G^\gamma - p_I I - p_\theta \theta - p_{1-\theta}(1 - \theta)$$

$$\text{Dado } p - p_{RE} = p - p(1 - \omega) - p_S \omega = p - p + \omega p - \omega p_S = \omega(p - p_S)$$

Esto reduce el problema de maximización a:

$$\max_{\{1-\theta, I, G\}} p_{RE} \bar{Q} + (p - p_{RE})(1 - \theta)^{\psi_M} I^{\beta_M} G^\gamma - p_I I - p_\theta \theta - p_{1-\theta}(1 - \theta) - \phi I - \rho G$$

s.a.

$$(1 - \theta), I, G \geq 0$$

Planteando el lagrangiano:

$$\begin{aligned} \mathcal{L} = & p_{RE} \bar{Q} + (p - p_{RE})(1 - \theta)^{\psi_M} I^{\beta_M} G^\gamma - p_I I - p_\theta \theta - p_{1-\theta}(1 - \theta) - \phi I - \rho G \\ & + \lambda_1(1 - \theta) + \lambda_2 I + \lambda_3 G \end{aligned} \quad (4.2)$$

Obteniendo las Condiciones de KKT:

$$\frac{\partial(\cdot)}{\partial I} = (p - p_{RE})(1 - \theta)^{\psi_M} \beta_M I^{\beta_M - 1} G^\gamma - p_I - \phi + \lambda_2 = 0 \quad (4.3)$$

$$\frac{\partial(\cdot)}{\partial G} = (p - p_{RE})(1 - \theta)^{\psi_M} I^{\beta_M} \gamma G^{\gamma - 1} - \rho + \lambda_3 = 0 \quad (4.4)$$

$$\frac{\partial(\cdot)}{\partial(1 - \theta)} = (p_T - p_{RE}) \psi_M (1 - \theta)^{\psi_M - 1} I^{\beta_M} G^\gamma - p_{1-\theta} + \lambda_1 = 0 \quad (4.5)$$

$$\lambda_1(1 - \theta) = 0 \quad \theta, 1 - \theta \geq 0 \quad (4.6)$$

$$\lambda_2 I = 0 \quad I \geq 0 \quad (4.7)$$

$$\lambda_3 G = 0 \quad G \geq 0 \quad (4.8)$$

$$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \geq 0 \quad (4.9)$$

A continuación se analizarán los 3 posibles casos más relevantes, en el primero se examina bajo que condiciones los productores estarán incentivados a permitir una coexistencia de ambos tipos de cultivos, en el segundo caso se estudia bajo que condiciones no se dará la coexistencia referida y en el tercero, se analiza el caso extremo donde sólo se cultiven variedades tradicionales.

Caso I: Precio de mercado mayor al precio sombra del maíz endémico ($p > p_S$) e insumos positivos ($(1 - \theta), I, G > 0$).

De 4.6, 4.7, 4.8:

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 0$$

De 4.3 y 4.4:

$$(p - p_{RE})(1 - \theta)^{\psi_M} \beta_M I^{\beta_M - 1} G^\gamma = p_I + \phi \quad (4.10)$$

$$(p - p_{RE})(1 - \theta)^{\psi_M} I^{\beta_M} \gamma G^{\gamma - 1} = \rho \quad (4.11)$$

Dividiendo 4.10 entre 4.11:

$$\begin{aligned} \frac{(p - p_{RE})(1 - \theta)^{\psi_M} \beta_M I^{\beta_M - 1} G^\gamma}{(p - p_{RE})(1 - \theta)^{\psi_M} I^{\beta_M} \gamma G^{\gamma - 1}} &= \frac{p_I + \phi}{\rho} \\ \Rightarrow \frac{G \beta_M}{I \gamma} &= \frac{p_I + \phi}{\rho} \\ \Rightarrow G &= \frac{p_I + \phi}{\rho} \frac{\gamma}{\beta_M} I \end{aligned} \quad (4.12)$$

De 4.3 y 4.5:

$$\begin{aligned} \frac{(p - p_{RE})(1 - \theta)^{\psi_M} \beta_M I^{\beta_M - 1} G^\gamma}{(p - p_{RE}) \psi (1 - \theta)^{\psi_M - 1} I^{\beta_M} G^\gamma} &= \frac{p_I + \phi}{p_{1-\theta}} \\ \Rightarrow \frac{(1 - \theta) \beta_M}{I \psi_M} &= \frac{p_I + \phi}{p_{1-\theta}} \\ \Rightarrow (1 - \theta) &= \frac{p_I + \phi}{p_{1-\theta}} \frac{\psi_M}{\beta_M} I \end{aligned} \quad (4.13)$$

De 4.12, 4.13 en 4.4:

$$\begin{aligned}
 (p - p_{RE}) \left(\frac{p_I + \phi}{p_{1-\theta}} \frac{\psi_M}{\beta_M} \right)^{\psi_M} I^{\psi_M} I^{\beta_M} \gamma \left(\frac{p_I + \phi}{\rho} \frac{\gamma}{\beta_M} \right)^{\gamma-1} I^{\gamma-1} &= \rho \\
 I^{\psi_M + \beta_M + \gamma - 1} &= \left(\frac{p_{1-\theta}}{\psi_M} \right)^{\psi_M} \left(\frac{p_I + \phi}{\beta_M} \right)^{1 - \psi_M - \gamma} \left(\frac{\rho}{\gamma} \right)^{\gamma} \left(\frac{1}{p - p_{RE}} \right) \\
 I &= \left[\frac{1}{p - p_{RE}} \right]^{\frac{1}{\psi_M + \beta_M + \gamma - 1}} \left[\frac{p_{1-\theta}}{\psi_M} \right]^{\frac{\psi_M}{\psi_M + \beta_M + \gamma - 1}} \\
 &\quad \left[\frac{p_I + \phi}{\beta_M} \right]^{\frac{1 - \psi_M - \gamma}{\psi_M + \beta_M + \gamma - 1}} \left[\frac{\rho}{\gamma} \right]^{\frac{\gamma}{\psi_M + \beta_M + \gamma - 1}}
 \end{aligned} \tag{4.14}$$

Sustituyendo 4.14 en 4.12 y 4.13:

$$\begin{aligned}
 G &= \left[\frac{1}{p - p_{RE}} \right]^{\frac{1}{\psi_M + \beta_M + \gamma - 1}} \left[\frac{p_{1-\theta}}{\psi_M} \right]^{\frac{\psi_M}{\psi_M + \beta_M + \gamma - 1}} \\
 &\quad \left[\frac{p_I + \phi}{\beta_M} \right]^{\frac{\beta_M}{\psi_M + \beta_M + \gamma - 1}} \left[\frac{\rho}{\gamma} \right]^{\frac{1 - \psi_M - \beta_M}{\psi_M + \beta_M + \gamma - 1}}
 \end{aligned} \tag{4.15}$$

$$\begin{aligned}
 (1 - \theta) &= \left[\frac{1}{p - p_{RE}} \right]^{\frac{1}{\psi_M + \beta_M + \gamma - 1}} \left[\frac{p_{1-\theta}}{\psi_M} \right]^{\frac{1 - \beta_M - \gamma}{\psi_M + \beta_M + \gamma - 1}} \\
 &\quad \left[\frac{p_I + \phi}{\beta_M} \right]^{\frac{\beta_M}{\psi_M + \beta_M + \gamma - 1}} \left[\frac{\rho}{\gamma} \right]^{\frac{\gamma}{\psi_M + \beta_M + \gamma - 1}}
 \end{aligned} \tag{4.16}$$

Por tanto $M_E, M_T > 0$.

Sea $\psi_M + \beta_M + \gamma < 1$ para que la función de producción exhiba rendimientos decrecientes a escala, se puede observar que:

De 4.14, $\frac{\partial I}{\partial p_I} < 0$ y $\frac{\partial I}{\partial \phi} < 0$, es decir, que mientras más grande sea el precio de los insumos, menor será la demanda de éstos por parte del productor, por otra parte, mientras más peligrosos sean estos insumos y mientras mayor sea la contribución de estos al daño ambiental y de salud, menor será la demanda de estos insumos.

De 4.15, $\frac{\partial G}{\partial \rho} < 0$, es decir, entre más peligrosa sea la externalidad, menor será la cantidad deseada de ésta, traducido, en que será menos deseado cultivar maíz transgénico, lo que sugiere que mientras surja mayor evidencia científica de riesgos a la salud y al ambiente, será menos deseable la producción de este tipo de cultivo.

Además de 4.16 y 4.15, $\frac{\partial(1-\theta)}{\partial p_{1-\theta}} < 0$ y $\frac{\partial G}{\partial p_{1-\theta}} < 0$, lo que indica que entre mayor sea la renta de la tierra dedicada al cultivo de maíz transgénico menor será la proporción de tierra dedicada a este tipo de cultivo, provocando que disminuya la externalidad negativa, dicho resultado podría sugerir que para evitar el cultivo desmedido de maíz transgénico en el país que provoque la liberación descontrolada de la externalidad negativa, se podría cobrar un impuesto a la renta de la tierra que vaya a ser destinada al cultivo de maíz transgénico para elevar el precio de esta.

Para analizar como se comporta la externalidad y por tanto la cantidad de maíz transgénico a cultivar con respecto a los precios del maíz, primero se observa que $p - p_{RE} = p - p(1 - \omega) - p_S \omega = p - p + \omega p - \omega p_S = \omega(p - p_S)$.

De 4.15, $\frac{\partial G}{\partial p} > 0$, mientras mayor sea el precio de mercado y como se está suponiendo que $p > p_S$, se producirá mayor cantidad de transgénico que a su vez representará mayor cantidad de la externalidad G , lo anterior debido a que, como se está suponiendo que el precio sombra o precio subjetivo del maíz es menor que el precio de mercado, entonces se preferirá cultivar maíz transgénico debido a su mayor productividad. Sin embargo, de la misma ecuación se puede observar que $\frac{\partial G}{\partial p_S} < 0$, es decir, entre mayor sea el precio sombra o valor subjetivo del maíz endémico, el deseo de cultivar maíz transgénico disminuiría y se cultivaría más endémico.

Según Arslan & Taylor (2008) las variedades tradicionales de maíz en México exhiben un precio sombra que difiere del precio de mercado de éstos en las comunidades rurales, ocasionado por la importancia sociocultural que representa una externalidad positiva de este tipo de cultivo a ciertas comunidades, lo anterior no sucede con las variedades modernas,

Regions	TVshare	Shadow p.	Market p.
South-Southeast	0.70	87.75	2.34
Central	0.76	31.60	1.72
Western Cent.	0.61	57.35	1.51
Northwest	0.29	0.18	2.28
Northeast	0.73	24.69	1.30

Figura 4.1: Promedios regionales por área de la porción de tierra dedicada a variedades tradicionales, precios sombra y precios de mercado (Arslan, 2008)

donde se observa que el precio sombra y de mercado de este tipo de cultivos es el mismo.

Dicho precio sombra que exhiben las variedades tradicionales, o en nuestro modelo variedades endémicas, varían según la region del país, como se puede observar en la figura 4.1. La única región donde se cumplen las características para el caso que estamos analizando ($p > p_S$), es el noroeste del país, donde el precio de mercado es de 2.28 y el precio sombra de 0.18, por tanto, no hay grandes incentivos a la conservación de variedades tradicionales, aunado a que dicha región exhibe condiciones ideales para una agricultura intensiva, la convertiría en una zona ideal para que se aprovechen las ventajas de las variedades transgénicas. Otra situación donde se observaría este supuesto de que el precio de mercado es mayor que el precio sombra, sería con los productores industrializados, los cuales valoran más los beneficios monetarios y las variedades tradicionales por tanto, no les brindan las externalidades positivas que brindan a los productores rurales.

Caso contrario sucede en las demás regiones del país, especialmente en el sur-sureste donde se observan precios sombra muy grandes y mayores a los de mercado; por tal, es necesario analizar la viabilidad de la coexistencia de ambas variedades bajo este nuevo supuesto ($p_S > p$).

Caso 2: Precio sombra del maíz endémico mayor al precio de mercado ($p_S > p$) e insumos positivos ($(1 - \theta), I, G > 0$).

De 4.6, 4.7, 4.8:

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 0$$

Lo anterior nos lleva a seguir como en el caso 1, obteniendo para los insumos óptimos lo mismo que en 4.14, 4.15, 4.16; sin embargo, como se está suponiendo que $p_S > p$, entonces $(1 - \theta), I, G < 0$. Lo cual contradice el supuesto de que los insumos son todos positivos.

La intuición del resultado anterior se puede observar de mejor manera, resolviendo de la siguiente manera:

De 3.1, en vez de despejar M_E en función de M_T , se hará de al revés, es decir,

$$M_T = \bar{Q} - M_E \quad (4.17)$$

Sustituyendo en 3.8,

$$\begin{aligned} \pi &= p\bar{Q} + (p_{RE} - p)M_E - p_I I - p_\theta \theta - p_{1-\theta}(1 - \theta) \\ \Rightarrow \pi &= p\bar{Q} + \omega(p_S - p)M_E - p_I I - p_\theta \theta - p_{1-\theta}(1 - \theta) \end{aligned}$$

Entonces el problema a resolver será:

$$\begin{aligned} \max_{\{\theta, I, G\}} & p\bar{Q} + \omega(p_S - p)\theta^\psi I^\beta \left(1 - \frac{G^\alpha}{\bar{G}}\right) - p_I I - p_\theta \theta - p_{1-\theta}(1 - \theta) - \phi I - \rho G \\ \text{s.a.} & \\ & \theta, I, G \geq 0 \end{aligned}$$

Planteando el lagrangiano:

$$\begin{aligned} \mathcal{L} &= p\bar{Q} + \omega(p_S - p)\theta^\psi I^\beta \left(1 - \frac{G^\alpha}{\bar{G}}\right) - p_I I - p_\theta \theta - p_{1-\theta}(1 - \theta) - \phi I - \rho G \\ & + \lambda_1 \theta + \lambda_2 I + \lambda_3 G + \lambda_4(1 - \theta) \end{aligned} \quad (4.18)$$

Obteniendo las Condiciones de KKT:

$$\frac{\partial(\cdot)}{\partial I} = (p_S - p)\omega\theta^\psi\beta I^{\beta-1}\left(1 - \frac{G^\alpha}{\bar{G}}\right) - p_I - \phi + \lambda_2 = 0 \quad (4.19)$$

$$\frac{\partial(\cdot)}{\partial G} = -\omega(p_S - p)\theta^\psi I^\beta \frac{\alpha}{\bar{G}} G^{\alpha-1} - \rho + \lambda_3 = 0 \quad (4.20)$$

$$\frac{\partial(\cdot)}{\partial \theta} = \omega(p_S - p)\psi\theta^{\psi-1}I^\beta\left(1 - \frac{G^\alpha}{\bar{G}}\right) - p_\theta + \lambda_1 - \lambda_4 = 0 \quad (4.21)$$

$$\lambda_1\theta = 0 \quad \theta \geq 0 \quad (4.22)$$

$$\lambda_2 I = 0 \quad I \geq 0 \quad (4.23)$$

$$\lambda_3 G = 0 \quad G \geq 0 \quad (4.24)$$

$$\lambda_4(1 - \theta) = 0 \quad (1 - \theta) \geq 0 \quad (4.25)$$

$$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4 \geq 0 \quad (4.26)$$

Para $I, G, \theta > 0$ y $p_S > p$, de 4.20 puede observarse que, de la condición de optimalidad (costo marginal igual a beneficio marginal) los beneficios marginales son cero, es decir, al cultivar maíz transgénico y generar la externalidad G solo se están generando costos y ningún beneficio. Por tanto, se elegirá un nivel de externalidad igual a cero, lo que significa que se cultivará solamente maíz endémico. En el caso 1, debido a que el precio de mercado es mayor que el precio sombra, es decir, la externalidad positiva del maíz endémico no era tan grande, se obtenían beneficios monetarios de cultivar maíz transgénico que en el óptimo compensaban los costos sociales de la externalidad generada por dicho cultivo, lo que permitía la coexistencia de ambos; sin embargo, en este caso, debido a que la externalidad positiva del maíz endémico es muy grande y que cultivar maíz transgénico significa afectar la producción del maíz endémico, no se tienen incentivos a cultivar variedades transgénicas, lo que ocasiona el surgimiento de zonas de conservación *in situde facto* de las especies endémicas de la región.

Debido a que no puede haber coexistencia bajo las condiciones de este caso, se analizará el caso donde solamente se cultiva maíz endémico.

Caso 3: Precio sombra del maíz endémico mayor al precio de mercado ($p_S > p$) y $(1 - \theta) = 0, I > 0, G = 0$.

Como $(1 - \theta) = 0$ y $G = 0$, entonces $M_T = 0$, $\theta = 1$ y $M_E = I^\beta$, de 3.1,

$$\begin{aligned} M_E &= \bar{Q} \\ &\frac{1}{\beta} \\ \Rightarrow I &= \bar{Q}^{\frac{1}{\beta}} > 0 \end{aligned}$$

Debido a que en la situación planteada anteriormente se mostró que bajo precios sombra mayores a precios de mercado no puede haber coexistencia de variedades transgénicas con endémicas, sólo se cultivaría maíz endémico, esto podría observarse en zonas donde la externalidad positiva que las variedades tradicionales proporcionan es muy grande, así sucede en la región sur-sureste como puede verse en la figura 4.1. Dichas zonas que exhiben precios sombras grandes concuerdan con las zonas donde se encuentra mayor diversidad de variedades tradicionales, por tanto, con una adecuada regulación en los precios del maíz transgénico, es viable la liberación de este en los campos de cultivo mexicanos, pues el mismo mercado considerando los precios sombra, permitiría la conservación de maíz endémico y la asignación de zonas ideales para el cultivo de variedades transgénicas.

Como se pudo observar en los tres casos anteriores, no hay ninguno en el cual se tenga incentivos a sólo cultivar maíz transgénico y no conservar las variedades tradicionales, esto debido a las diferencias entre los precios sombra y de mercado que exhiben las variedades tradicionales de maíz. El mayor temor de la liberación de maíz transgénico en los campos de cultivo nacionales radica en la potencial extinción de las variedades endémicas, pues México es centro de origen de muchas de estas especies; sin embargo, esta situación se convierte también en la fortaleza con la que cuenta el país, debido a que dichos cultivos tienen una importancia sociocultural muy importante para los productores ubicados en zonas de mayor diversidad genética de maíz, provocando que dichos productores revelen precios sombra altos, mayores a los de mercado, incentivando a estos a la conservación de estas variedades.

Capítulo 5

Conclusiones

En el presente trabajo se demostró que la coexistencia, desde un punto de vista económico, entre maíz transgénico y variedades tradicionales de maíz es viable. Por un lado los productores rurales de variedades endémicas tienen el incentivo económico a conservarlas, por exhibir un precio sombra mayor al precio de mercado. Por otro lado, aquellos productores rurales cuyo precio sombra es inferior al precio de mercado cultivarán ambas especies; con este tipo de productores la cantidad de cada variedad estará determinada por los parámetros de productividad, es decir, entre más productivos sean las variedades transgénicas, mayores incentivos habrá para cultivar éstos por parte de dichos productores. Además de que estos últimos son los que practican la agricultura intensiva y aprovecharían al máximo las ventajas de los cultivos genéticamente modificados.

El mayor temor de la liberación de maíz transgénico en los campos de cultivo mexicanos es el de la extinción de la diversidad genética del maíz con la que cuenta el país; sin embargo, como se pudo mostrar en el modelo que se diseñó, dicha liberación es factible, pues los campesinos tradicionales en gran parte del territorio nacional conservarán las especies endémicas de facto, pues conforme con Arslan & Taylor (2008), dichas variedades tradicionales poseen un precio sombra por encima del de mercado en estas comunidades, además de que las zonas

donde hay mayor diversidad de especies de maíz, concuerdan con las zonas donde el precio sombra es significativamente mayor. Aunado a que este tipo de productores representa prácticamente la mitad del total de productores de maíz en el país, existirá conservación *in situ* de variedades endémicas.

Como ha sucedido por milenios, una vez más los campesinos tradicionales brindarán el servicio de conservar las variedades tradicionales de maíz; sin embargo, resulta necesario que se les compense dicha externalidad positiva que generan a la sociedad. Esta compensación podría ser en la forma de un subsidio igual al beneficio marginal de conservar la diversidad genética de este cultivo, el cual ayude a mejorar la situación de dichos productores ante un comercio exterior desigual, con un maíz estadounidense subsidiado casi al 30%. Resultaría interesante plantear un esquema de certificación, donde se etiquete el maíz endémico que va al mercado, así el consumidor promedio podría reconocer ese precio sombra, extendiéndolo más allá de aquellos que lo producen para autoconsumo. Además resultará necesario cobrar un impuesto a los productores de maíz transgénico proporcional al daño marginal al ambiente y una transferencia de estos a los productores de maíz endémico, por la externalidad negativa que origine en su producción, para internalizar las externalidades causadas por estos productores.

Al tratarse de un tema interdisciplinario, resulta claro que cierto tipo de análisis se sale del alcance de la disciplina económica, pero resultaría interesante tomar en cuenta el riesgo de contaminación genética de maíz entre regiones, por ejemplo, de cultivar maíz transgénico en el norte del país y sus repercusiones en los campos de maíz endémico en el sur. También para poder estimar los daños potenciales al ambiente y a la salud, representados en el modelo como daño social y poder extender las recomendaciones de política pública.

En el presente trabajo, se realizó un modelo que pretende simular la introducción de maíz transgénico en campos de cultivo mexicanos, modelo ausente en la literatura, lo cual abre la puerta a futuras extensiones y modificaciones que proporcionen mayor información sobre este tema, como podría ser: con base a los resultados obtenidos estimar los valores de los

parámetros y obtener los valores de producción de cada variedad de maíz, modificar el modelo de estático a dinámico y analizar las repercusiones tanto económicas y ecológicas a futuro, introducir al modelo generaciones traslapadas donde el regulador con base a la importancia que otorgue a las generaciones actuales y futuras decida la cantidad de maíz transgénico que permitirá producir.

Además de que el modelo puede ser aplicable no sólo a México con el caso del maíz sino también en aquellas regiones centro de origen de cultivos, donde se analice la viabilidad de la introducción de variedades transgénicas de estos. Por otro lado, resultan necesarios estudios donde se analice la regulación del precio de la semilla de maíz transgénico en México, donde se consideren los precios sombra antes mencionados, para así poder fijar el esquema de precios adecuado para mejorar el bienestar social.

Capítulo 6

Bibliografía

Aguilar, J., Illsey, C. & Marielle, C. (2003). Los sistemas agrícolas y sus procesos técnicos. En *Sin maíz no hay país*, G. Esteva y C. Marielle, 83-122. México, D.F.: Consejo Nacional para la Cultura y las Artes.

Arslan, A. (2008). Shadow vs. Market Prices in Explaining Land Allocation: Subsistence Maize Cultivation in Rural Mexico. *Kiel Working Paper No. 1469*, 1-19.

Arslan, A., & Taylor, E. (2008). Farmers' Subjective Valuation of Subsistence Crops: The Case of Traditional Maize in Mexico. *Kiel Working Paper*, 1-37.

Bartra, A. (2004). Rebellious cornfields: Toward food and labour sovereignty. En *Mexico in transition: Neoliberal Globalism, the State, and Civil Society*, Gerardo Otero, London and New York: Zed Books. In press.

Brookes, G., & Barfoot, P. (2008). GM Crops: Global Socioeconomic and Environmental Impacts 1996-2008. Dorchester: PG Econ.

Brush, S., & Chauvet, M. (2004). Assesment of Social and Cultural Efects Associated with Transgenic Maize Production. En M. A. Group, *Maize and Biodiversity: The Effects of Transgenic Maize in Mexico*. Secretariat for Enviromental Cooperation of North America.

Carlson, G., Marra, M., & Hubbel, B. (1997). Transgenic technology for crop protection: the new super seeds. *Choices*, 31-36.

Comite de Biotecnología. (2011). Por un uso responsable de los organismos genéticamente modificados. México D.F.: Academia Mexicana de Ciencias.

Demont, M., Cerovska, M., Daems, W., Dillen, K., Fogaras, J., & Mathus, E. (2008). Ex ante impact assessment under imperfect information: biotechnology in new member states of the EU. *J. Agroc. Econ.* 59, 463-86.

Feldmann, M., Morris, M., & Hoisington, D. (2000). ¿Por qué sucitan tanta polémica los organismos genéticamente modificados? Respuestas a 10 preguntas frecuentes acerca de los OGM. *Publicación del CIMMYT*.

Fritscher, M. (1999). El maíz en México: Auge y crisis en los noventa. *Cuadernos agrarios*. 17/18:142-163.

Goodman, M., & García Barrios, L. E. (2004). Assesment of Biological Effects in Agriculture in Mexico. En M. A. Group, *Maize and Biodiversity: The effect of Transgenic Maize in Mexico*. Secretariat of Enviromental Cooperation of North America.

Hossain, F., Pray, C., Lu, Y., Huang, J., & Hu, R. (2004). Genetically Modified cotton and farmers' health in China. *Int. J. Occup. Environ. Health* 10, 296-303.

INEGI. 1991. VI Censo Agropecuario-Forestal. México, D.F.: INEGI.

James, C. (1998). *Global Review of Commercialized Transgenic Crops: 1998*. Ithaca, NY: ISAAA.

James, C. (2008). *Global status of commercialized biotech/GM crops: 2008*. Ithaca, NY: ISAAA.

Jourdain, D., Scopel, E., & Affholder, F. (2001). The impact of conservation tillage on the productivity and stability of maize cropping systems: A case study in western Mexico. CIMMYT.

Kato, Y. (1997). Review of introgression between maize and teosinte. En *Mem. Forum on Gene Flow between Landrace Maize, Improved Maize, and Teosinte*, J. A. Serratos, M.C. Wilcox, and F. Castillo, 44-53. El Batán, Edo. México, México: INIFAP, CIMMYT, and CNBA.

Losey, J., Raynor, L., & Carter, M. (1999). Transgenic Pollen harms monarch larvae. *Nature*, 214.

Nadal, A. (2000). *The Environmental & Social Impacts of Economic Liberalization on Corn Production in Mexico*. Gland, Switzerland: World Wide Fund for Nature, and Oxford, UK: Oxfam, GB.

Ortega, R. (2008). Maíz transgénico: riesgos y beneficios. *Revista Universidad de Sonora*, 41-43.

Qaim, M. (2009). The Economics of Genetically Modified Crops. *The Annual Review of Resource Economics*, 665-693.

Qaim, M., & Zilberman, D. (2003). Yield effects of genetically modified crops in developing countries. *Science*, 299: 900-2.

Quist, D., & Chapela, I. (2001). Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico. *Nature*, 541-543.

Segrelles, J. (2005). El problema de los cultivos transgénicos en América Latina: Una nueva revolución verde. *Entorno Geográfico*, 93-120.

Subramanian, A. & Qaim, M. (2009a). The impact of Bt cotton on poor households in rural India. *J. Dev. Stud.* In press.

Subramanian, A. & Qaim, M. (2009b). Village-wide effects of agricultural biotechnology: the case of Bt cotton in India. *World Dev.* 37: 256-67

Sydorovych, O., & Marra, M. (2007). A Genetically Engineered Crop's Impact on Pesticide Use: A Revealed-Preference Index Approach. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 476-491.

Traxler, G., Godoy-Avila, S., Falek-Zepeda, J., & Espinoza-Arellano, J. (2002). Transgenic Cotton in Mexico: Economic and Environmental Impacts. *The Economic and Environmental Impacts of Agbiotech: A Global Perspective*.

Warman, A. (2001). El campo mexicano en el siglo XX. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.