



La legislación nacional en bioseguridad y sus efectos en los retornos sociales de la inversión en biotecnología: El caso de los cultivos genéticamente modificados (GM) en Brasil y Colombia

Salomón Pérez Suárez

Trabajo presentado para optar al título de Magister en Economía de la Pontificia Universidad Javeriana

Resumen

Se estimaron los impactos en costos de producción y productividad de los cultivos genéticamente modificados (GM): Maíz y algodón Bt en Brasil y algodón con eventos apilados y maíz Bt en Colombia, respecto a un cultivar mejorado convencional. Estos son la base para estimar los excedentes económicos que generan a productores y consumidores. Se realizó un análisis de sensibilidad modificando los costos directos (dinero) e indirectos (tiempos) del cumplimiento de la normativa nacional de bioseguridad. Como resultado se obtuvo que los excedentes económicos generados y el retorno a la inversión en I&D en un cultivo GM es menor respecto a un convencional, y que estos parámetros no se alteran significativamente por cambios en los costos de cumplimiento de la normativa más si por el tiempo requerido por la misma. Por ende, los países deben tener normativas de bioseguridad más eficientes que reduzcan los costos y tiempos para la liberación de los cultivos GM, beneficiando tanto a productores y consumidores con semillas más baratas, al tiempo que incentiva la investigación y los retornos esperados de la inversión en la misma.

*Palabras claves: cultivos genéticamente modificados, normativa de bioseguridad, excedentes socioeconómicos, rentabilidad social.*

*Clasificación JEL: Q1, Q18*



National biosafety regulations and their impacts on social returns to the investment in  
biotechnology: the case of genetic modified crops in Brazil and Colombia.

Salomón Pérez Suárez

This paper is presented as a thesis to obtain a master's degree in economics from Pontificia  
Universidad Javeriana.

Abstract

The impacts on production costs and productivity of genetically modified (GM) crops, Bt corn and cotton in Brazil and Bt corn and stacked cotton in Colombia were estimated with respect to conventionally improved cultivars. These impacts were the basis for estimating economic surpluses generated by producers and consumers. A sensitivity analysis was conducted that modified the direct costs (money) and indirect costs (time) involved in complying with national regulations for biosafety. It resulted that fewer economic surpluses and lower returns on investment in R&D are generated for GM crops than for conventional crops, and that these parameters are not significantly altered either by changes in regulation compliance costs or for the time invested in compliance. We conclude that national biosecurity regulations should be more efficient, reduce costs, and expedite commercial release of GM cultivars. Such measures would benefit both producers and consumers with more economical seeds, while incentivizing research and boosting expected returns from investment.

*keywords: genetically modified crops, Biosafety regulations, socioeconomic surplus, socioeconomic returns.*

*JEL Classification: Q1, Q18*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que de una u otra forma me ayudaron a llevar a feliz término este trabajo, en especial a la Dra. Carolina González (CIAT), los Profesores José María Ferreira (Universidade de Campinas), George W. Norton y Jeffrey Alwang (ViginiaTech University), José Flalk Cepeda (IFPRI) y al proyecto LAC – Biosafety por su financiamiento, así como a todas aquellas personas que me brindaron su valioso tiempo y colaboración para atender mis visitas y preguntas, tanto en Brasil como en Colombia.

## TABLA DE CONTENIDO

Sección 1. <a href="#">INTRODUCCIÓN</a> .....	10
1.1 <a href="#">Los cultivos y tecnologías evaluadas</a> .....	13
1.2 <a href="#">Las normativas nacionales de bioseguridad</a> .....	14
Sección 2. <a href="#">METODOLOGÍA</a> .....	16
2.1 <a href="#">Análisis de excedentes económicos</a> .....	17
2.2 <a href="#">Caracterización de los sistemas nacionales de bioseguridad, costos y tiempos</a> .....	18
2.3 <a href="#">Estimación de cambios en costos de producción y rendimientos</a> .....	19
2.4 <a href="#">Parámetros usados</a> .....	20
2.5 <a href="#">Tasas de adopción</a> .....	21
2.6 <a href="#">Escenarios</a> .....	22
Sección 3. <a href="#">RESULTADOS</a> .....	24
3.1 <a href="#">La normativa nacional de bioseguridad</a> .....	24
3.1.1 <a href="#">El caso de Brasil</a> .....	24
3.1.2 <a href="#">Costos y tiempos para el cumplimiento de la normativa</a> <a href="#">nacional de bioseguridad</a> .....	25
3.1.3 <a href="#">El caso de Colombia</a> .....	27
3.1.4 <a href="#">Costos y tiempos por cumplimiento de la normativa nacional de</a> <a href="#">bioseguridad</a> .....	27
3.2 <a href="#">Cambios en costos de producción</a> .....	29
3.2.1 <a href="#">Maíz Bt en Brasil</a> .....	29
3.2.2 <a href="#">Algodón Bt en Brasil</a> .....	31

3.2.3 <a href="#">Maíz Bt en Colombia</a> .....	33
3.2.4 <a href="#">Algodón con eventos apilados o stacked en Colombia</a> .....	35
3.3 <a href="#">Cambios en productividad</a> .....	36
3.3.1 <a href="#">Maíz Bt en Brasil</a> .....	36
3.3.2 <a href="#">Algodón Bt en Brasil</a> .....	37
3.3.3 <a href="#">Maíz Bt en Colombia</a> .....	37
3.3.4 <a href="#">Algodón con eventos apilados o Stacked en Colombia</a> .....	37
3.4 <a href="#">Resultados análisis excedentes económicos</a> .....	38
3.5 <a href="#">Análisis de sensibilidad respecto a excedentes económicos y VPN</a> .....	39
3.6 <a href="#">Análisis de sensibilidad respecto a rentabilidad inversión en I&amp;D en GM</a> .....	44
Sección 4. <a href="#">CONCLUSIONES</a> .....	47
Sección 5. <a href="#">REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</a> .....	49
<a href="#">APÉNDICES</a> .....	53

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Tiempos e Inversión requerida para la aprobación de la liberación comercial de una variedad+ Tecnología de maíz y algodón GM en Brasil .....	26
Gráfica 2. Tiempos e Inversión requerida para la aprobación de la liberación comercial de una variedad+ Tecnología de maíz y algodón GM en Colombia .....	28
Gráfica 3. Cambio porcentual en los excedentes económicos de productores y consumidores y en el VPN de la inversión en I&D en maíz Bt en Brasil, según cambios en los costos y tiempos asociados al cumplimiento de la normativa nacional de bioseguridad. ....	39
Gráfica 4. Cambio porcentual en los excedentes económicos de productores y consumidores y en el VPN de la inversión en I&D en algodón Bt en Brasil, según cambios en los costos y tiempos asociados al cumplimiento de la normativa nacional de bioseguridad. ....	41
Gráfica 5. Cambio porcentual en los excedentes económicos de productores y consumidores y en el VPN de la inversión en I&D en algodón con eventos apilados ( <i>stacked</i> ) en Colombia, según cambios en los costos y tiempos asociados al cumplimiento de la normativa nacional de bioseguridad. ....	42
Gráfica 6. Cambio porcentual en los excedentes económicos de productores y consumidores de maíz Bt en Colombia , según cambios en los costos y tiempos asociados al cumplimiento de la normativa nacional de bioseguridad. ....	43
Gráfica 7. Cambio porcentual en el VPN menos costos por la I&D en maíz Bt EN Colombia, según cambios en los costos y tiempos asociados al cumplimiento de la normativa nacional de bioseguridad. ....	44

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Parámetros económicos utilizados para la estimación de los excedentes económicos .....	21
Cuadro 2. Escenarios usados en el análisis, según cambios en los costos y tiempos para el cumplimiento de la normativa nacional de las normativas nacionales de bioseguridad .....	23
Cuadro 3. Costos de producción para una hectárea de maíz convencional en Brasil (2011)(US\$) .....	29
Cuadro 4. Costos de producción para una hectárea de maíz GM en Brasil (2011)(US\$) .....	30
Cuadro 5. Costos de producción para una hectárea de algodón convencional en Brasil (Primavera do Leste, MT)(2011)(US\$) .....	31
Cuadro 6. Costos de producción para una hectárea de algodón Bt en Brasil (Primavera do Leste, MT)(2011)(US\$) .....	32
Cuadro 7. Costos de producción de una hectárea de maíz tecnificado convencional. Departamento de Antioquia. (2011) (US\$/ha). .....	33
Cuadro 8. Costos de producción de una hectárea de maíz GM (Bt). Departamento de Antioquia. (2011) (US\$/ha). .....	34
Cuadro 9. Costos de producción para una hectárea de algodón convencional en el departamento de Córdoba en Colombia (2011) (US\$).....	35
Cuadro 10. Costos de producción para una hectárea de algodón GM en el departamento de Córdoba en Colombia (2011) (US\$).....	36

Cuadro 11. Cambios en los excedentes económicos al productor y consumidor al adoptar una variedad GM y una convencional respectivamente.

Escenario base y escenario 1. (Millones de dólares) ..... 38

Cuadro 12. Resultados Tasa Interna de Retorno (TIR) para todos los escenarios ..... 45

## ÍNDICE DE APÉNDICES

A. Apéndice A. Modelo para la estimación de excedentes económicos.....	53
B. Apéndice B. Datos y fuentes parámetros usados en el análisis de excedentes económicos .....	58
B.1 Caso de maíz en Brasil. ....	58
B.2 Caso algodón en Brasil. ....	59
B.3 Caso maíz en Colombia. ....	60
B.4 Caso algodón en Colombia.....	61

## Sección 1. INTRODUCCIÓN

Los organismos vivos modificados o genéticamente modificados (GM) son cualquier organismo vivo que posea una combinación nueva de material genético que se haya obtenido mediante la aplicación de la biotecnología moderna (ONU 2000, 4), así los cultivos GM son variedades en las cuales se ha introducido uno o más genes con el fin de conferirle una o más características puntuales que la variedad convencional no posee, adicionándoles propiedades como la capacidad de tener tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos, hongos y virus (Schaper 2001, 11). Según algunos expertos estos cultivos tienen considerables beneficios económicos, ambientales y sociales, lo cual ha llevado a millones de agricultores de todo el mundo a incrementar su superficie cultivada en los últimos años (James 2010,1). Su uso se ha extendido de tal forma que el área dedicada a los cultivos GM se ha multiplicado por 87 desde 1996, convirtiéndola en la tecnología de más rápida aceptación en la historia de la agricultura (James 2010,7). Estas tecnologías han representando para el sector agrícola la oportunidad de mejorar el rendimiento de los cultivos, racionalizar el uso de agroquímicos, aprovechar suelos pocos fértiles, entre otras ventajas (MADR 2006,1). Aunque según algunos círculos los cultivos genéticamente modificados (CGM) tienen algunas desventajas como por ejemplo los peligros para la salud humana, por el posible desarrollo de alergias a largo plazo, salud animal y el medio ambiente (desarrollo de súper malezas), así como el hecho que estas tecnologías están mayoritariamente en manos de unos pocos consorcios transnacionales, los cuales podrían ejercer un control casi total sobre la producción agrícola de todo el mundo, con graves consecuencias para los países en desarrollo y los agricultores más pobres (CEPAL 2004, 9).

Según El Sumario 42 del International Service of the Acquisition of the Agri-Biotech Applications (ISAAA) (2010), de los 29 países productores de cultivos GM en el mundo en 2010, 15 eran países en desarrollo y de los 15,4 millones de agricultores productores de este tipo de cultivos, 90% (14,4 millones) eran agricultores pequeños y de recursos escasos radicados en los países en desarrollo. Esta tendencia probablemente se acentuará en el futuro, ya que la mayor parte del crecimiento se producirá en estos países (James 2010,5). En el caso de América Latina, 10 países cultivaban GM en 2010: México, Honduras, Costa Rica, Colombia, Bolivia, Paraguay, Chile, Argentina, Uruguay y Brasil. En el caso de este último país, su crecimiento interanual absoluto

fue de 4 millones de hectáreas respecto a las registradas en 2009 (James 2010, 6). Así, los cultivos GM tienen un elevado potencial en los países denominados en vía de desarrollo en términos de crecimiento de la productividad, reducción de costos de producción, etc. (Qaim & Matuschke 2005; Ramasamy, Selvaraj, Norton & Vijayraghavan 2007). A pesar de esto, la cantidad de cultivos GM liberados comercialmente en estos países es poca (Atanassov et al. 2004, 2), así como el desarrollo de nuevos cultivares de este tipo se ha reducido dados los costos y tiempos asociados al cumplimiento de la normativa nacional de bioseguridad, entre otros factores (Pray, Bengali, & Ramaswami 2005, 268, Bradford et al. 2005, 687; Jaffe 2005, 4; McElroy 2003, 7; Miller and Conko 2005,11). Por ejemplo Pray (2005), afirma que cumplir con esta regulación puede hacer tan costoso invertir en investigación y desarrollo en esta tecnología que puede reducir el incentivo de muchas empresas a hacerlo, afectando principalmente a los países en desarrollo, ya que pocos cultivos GM comercializados en estos países han sido desarrolladas de acuerdo a sus propias necesidades.

Las normativas nacionales de bioseguridad en cada país son necesarias para la certificación de la seguridad de los organismos genéticamente modificados (OGM) al medio ambiente, la salud humana y animal. Pero dicha legislación debe ser lo suficientemente cautelosa para lograr sus objetivos sin sacrificar los beneficios potenciales derivados de esta tecnología (Bayer et al. 2010, 22). Los costos asociados al cumplimiento de esta normativa para el caso de un cultivo GM pueden representar una porción significativa de los costos totales de llevar el producto al mercado (Jaffe 2006, 6; Kalaitzandonakes, Alston, & Bradford 2006, 178; Pray et al. 2005, 287). Estos costos están representados por los costos directos de cumplimiento de la normativa así como por los costos de oportunidad de los beneficios que se pierden, debido a los retrasos que el cumplimiento de dicha normativa implica (Bayer et al 2010, 12).

Diferentes críticas se han hecho a las normativas nacionales de bioseguridad por su impacto en el desarrollo de la biotecnología aplicada al desarrollo de cultivos GM (Bayer, J. et al. 2010, 12), por ejemplo según Ingo Potrykus, director del proyecto del Arroz Dorado<sup>1</sup>, “los requerimientos

---

<sup>1</sup> El arroz dorado contiene dos genes (fitoeno sintasa y fitoeno doble-desaturasa) que producen hasta 35 microgramos del precursor de vitamina A (betacaroteno) por gramo de arroz comestible. El arroz dorado puede aportar vitamina A suficiente para reducir en buena medida las 6.000 muertes diarias que provoca la deficiencia en vitamina A entre las poblaciones consumidoras de arroz de los países en desarrollo

legales imprácticos e injustificados están frenando que los cultivos GM salven millones de vidas del hambre y la malnutrición”. Potrykus estima que, en general, cuesta diez años más y diez veces más dinero comercializar un cultivo GM que uno convencional, siendo los elevados costos de estos cultivos los que impiden que las instituciones públicas de investigación puedan participar en su desarrollo (Nature 2010, 561). El Sumario 41 del ISAAA formulaba conclusiones parecidas a las de Potrykus y destacaba que el exceso indebido de regulación era la principal limitación para que aumentase la adopción de los cultivos biotecnológicos en los países en desarrollo (James 2009, 10).

Por otra parte, el elevado costo de las normativas nacionales de bioseguridad implica una barrera a la entrada de instituciones públicas y pequeñas empresas privadas interesadas en desarrollar y comercializar estas tecnologías de interés general (McElroy 2004, 175). De igual forma, incrementa los costos totales a los que se debe enfrentar cualquier institución para desarrollar y liberar comercialmente un cultivo GM, incentivando la alianza y fusión entre organizaciones reduciendo la cantidad de estas que dominan el mercado (Schaper 2011, 18). Por tal razón, el reto para un país en desarrollo emergente que tenga experiencia de primera mano y voluntad política para la adopción de cultivos biotecnológicos es reducir la actual carga reguladora y aplicar un sistema responsable y eficaz (James 2010, 13).

El objetivo de este estudio es estimar los costos directos e indirectos (medidos como los beneficios sociales que dejan de recibir productores y consumidores) del cumplimiento de la normativa nacional de bioseguridad y su impacto en la rentabilidad social de la inversión en investigación y desarrollo de cultivos GM en Brasil y Colombia. Para este trabajo se tomaron dos cultivos de amplia difusión en la región, maíz y algodón, en dos países de Latinoamérica, Brasil y Colombia, los cuales se encuentran entre los más avanzados en el continente en este campo y donde no se han adelantado estudios de este tipo a la fecha, además pertenecen al proyecto *América Latina: Construcción de Capacidad Multi-País para el Cumplimiento del Protocolo de Cartagena sobre Bioseguridad – LAC-Biosafety*<sup>2</sup>, proyecto dentro del cual se enmarcó este trabajo. La regulación en bioseguridad y los costos asociados a su cumplimiento varían de un país a otro y

---

<sup>2</sup> LAC-Biosafety, es una iniciativa pionera que busca fortalecer la capacidad técnica en bioseguridad de los países participantes (Brasil, Colombia, Costa Rica y Perú), una capacidad sobre la cual se puedan tomar decisiones informadas que cumplan la Convención en Diversidad Biológica (CBD) y el Protocolo de Cartagena en Bioseguridad (PCB). Es un esfuerzo conjunto de instituciones nacionales e internacionales que cuentan con una sólida especialización en ciencias naturales, en biotecnología, y en socio economía. (ver [www.lacbiosafety.org](http://www.lacbiosafety.org))

por ende los efectos en los retornos esperados de la investigación y desarrollo en cultivos GM. De ahí la importancia de estimar dichos costos y sus efectos en forma comparativa para dos países con normativas de bioseguridad diferentes, así como para cultivos diferentes e incluso tecnologías diferentes.

Los costos para el cumplimiento de la normativa de seguridad dependen de factores como la tecnología a ser aprobada, el cultivo, la cantidad de subregiones para las cuales van a ser aprobadas, el tiempo requerido para monitoreo y evaluación una vez la variedad y tecnología han sido aprobadas, la cantidad de test de bioseguridad aprobados en otros países que son aceptados en el país en cuestión, si son para exportación y si son para consumo humano u otro destino. Por tal razón, para este trabajo se tomó el costo promedio de cumplimiento de la normativa nacional de bioseguridad, para un cultivo con destino al consumo humano y para exportación, con base en la opinión de los expertos consultados.

### **1.1 Los cultivos y tecnologías evaluadas**

Para este análisis se tomaron los cultivos de maíz y algodón por tener cultivares GM aprobados tanto en Brasil como en Colombia. Las tecnologías incluidas dependieron de la disponibilidad de información, particularmente en lo referente a costos de producción, rendimientos y adopción. Para el caso de Brasil se tomó maíz y algodón Bt, para Colombia se tomó maíz Bt y algodón con eventos apilados (*stacked*).

Maíz y algodón Bt: Maíz o algodón genéticamente modificado, el cual consiste en variedades con el gen *Bacillus Thuringiensis Berliner* (Bt) introducido, dándoles una alta resistencia a algunas plagas como el Lepidópteros (Amstrong et al. 1995, 552; Sharma; Ortiz 2000, 421). Esta plaga puede causar daños al 34% de la producción brasilera de maíz (Aparecido et al. 2009, 3), aunque algunos autores la estiman entre 17% y 38.7% (Fernandes et al. 2003, 25).

Algodón con eventos apilados o *stacked*: Algodón genéticamente modificado con la introducción del gen de resistencia a insectos y de tolerancia a herbicidas o de una combinación de estas dos características en una misma variedad (genes acumulados) (Silva, C. et al. 2005, 3), es decir, el algodón con tecnologías conjuntas (Bt + tolerante a herbicida) fue obtenido por mejoramiento convencional, mediante un cruce del algodón Bt y el algodón tolerante a herbicida (ICA 2004<sup>a</sup>, 7). Es el cultivo GM de mayor adopción en Colombia (Agrobio 2009, 2).

## 1.2 Las normativas nacionales de bioseguridad

Según la FAO (1999), el concepto de bioseguridad alude al uso sano y sostenible de los productos biotecnológicos y sus aplicaciones sobre los seres humanos, la biodiversidad y la sostenibilidad ambiental como soporte del aumento de la seguridad alimentaria global, y la normativa nacional de bioseguridad es el instrumento mediante el cual se reglamenta su utilización. Dado que estos cultivos son de reciente desarrollo y, por lo tanto, poco se sabe a largo plazo sobre el efecto de estos organismos sobre la salud humana, el medio ambiente y los peligros que encierran, es necesario desarrollar instrumentos de análisis de riesgo y mecanismos de seguimiento y rastreo (Onofre, R. & Pedro, M. 2004, 112). Aunque los riesgos potenciales asociados a la biotecnología no son diferentes a los de otras técnicas, los países paralelamente con el desarrollo de las nuevas tecnologías han adoptado marcos normativos de bioseguridad para garantizar la introducción segura de los cultivos GM (Crop Life 2003, 22).

Todos los organismos genéticamente modificados deben pasar por un grupo de evaluaciones y escrutinio regulatorio antes de poder ser liberados comercialmente. Las regulaciones de bioseguridad están formalizadas en el protocolo de Cartagena de Bioseguridad<sup>3</sup> convirtiéndola en un prerrequisito para la investigación en GM y su liberación en el ambiente. El protocolo de bioseguridad enfatiza en los efectos potenciales de los OGM en el medioambiente, aunque muchos sistemas regulatorios incluyen efectos sobre la alimentación humana y animal, así como consideraciones socioeconómicas y éticas (Bayer, J. et al. 2010, 13).

A pesar de las diferencias significativas entre los sistemas regulatorios nacionales, los expedientes presentados a las diferentes agencias regulatorias alrededor del mundo son similares en su estructura y frecuentemente comparten datos e información de soporte. Por este motivo, los costos de cumplimiento varían de un dossier a otro en función de la cantidad y tipo de ensayos de campo, test de análisis, análisis de bioinformación, estudios en animales, y otras evaluaciones de seguridad comparativas que son principalmente determinadas por el tipo de cultivo modificado, qué tratamiento fue introducido, en cuántos países será sometido para

---

<sup>3</sup> El protocolo de Cartagena sobre bioseguridad de la biotecnología fue adoptado por más de 130 países y entró en vigor desde el 11 de septiembre de 2003. Este protocolo marca el compromiso de la comunidad internacional para asegurar la transferencia, manipulación y uso seguro de los OGM. (Silva, C. et al. 2005).

aprobación y el tipo de aprobación solicitada para producción, importación, etc. (Kalaitzandonakes, N. et al. 2006, 177).

Los sistemas regulatorios fundamentalmente se centran en el análisis de riesgo, caso a caso, como una metodología científica que contribuye a la búsqueda sistematizada de un determinado peligro, que permita la evaluación del riesgo inherente y la adopción de medidas para eliminar o controlar el riesgo detectado. Los riesgos potenciales de los cultivos GM se asocian al nuevo ADN introducido, al producto de la expresión de ese ADN (proteína), a efectos no intencionales derivados de la introducción en el genoma y de la expresión de ese nuevo gen sobre caracteres aparentemente no relacionados (efecto pleiotrópico), y eventuales mutaciones (Lajolo y Nutti 2003, 80).

Las evaluaciones de los cultivos GM en general se fundamentan en la comparación con su homólogo convencional, para el cual existe un historial de uso seguro. Este método, basado en la comparación, es el concepto de “equivalencia sustancial” y provee un marco para la evaluación de bioseguridad de acuerdo con normativas y recomendaciones de organismos internacionales como FAO (Organización para la Agricultura y la Alimentación), OMS (Organización Mundial de la Salud), OECD (Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo) y Codex Alimentarius (FAO/OMS) (Robinson 2001, 45).

Las evaluaciones de seguridad se concentran en el rasgo o característica introducida (el gen y sus productos) en el cultivo o alimento como un todo. Estas evaluaciones son un paso previo necesario para la aprobación de la tecnología en los países productores o importadores donde se ha solicitado su autorización (Silva, C. et al. 2005, 2).

## Sección 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Análisis de excedentes económicos

Según la teoría Marshalliana de excedentes económicos la introducción de un cambio tecnológico, en este caso un cultivo GM, origina desplazamientos en las curvas de oferta y demanda los cuales generan excedentes al productor por el menor costo de producción y la mayor cantidad vendida, al tiempo que la mayor cantidad del bien disponible y el menor precio en el mercado generan beneficios al consumidor. Dichos excedentes representan flujos anuales de ingresos sociales durante la vida útil de la tecnología (tiempo de adopción y uso), por lo que introduciendo los flujos anuales de costos representados por la inversión en investigación, desarrollo y cumplimiento de la normativa nacional de bioseguridad se estimarán indicadores de rentabilidad social como el valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR) y la relación beneficio costo (B/C) de la inversión en investigación y desarrollo de dichos cultivos. Costos indirectos como posibles costos ambientales no fueron incluidos por la dificultad y falta de consenso en su estimación.

Para estimar los cambios en la curva de oferta, dado el cambio tecnológico, se estimó el parámetro K para medir el cambio vertical de la curva de oferta como proporción del precio sin cambio tecnológico, mientras el parámetro Z medirá la reducción en el precio relativo a dicho precio inicial. Las fórmulas para estimar los cambios en los excedentes económicos totales, así como al productor y al consumidor usando los parámetros K y Z para el momento t y el cultivo i serán las siguientes (Bayer et al. 2010, 57):

$$K_{t,i} = \left\{ \frac{\Delta Y_{t,i}}{\varepsilon_i} + \frac{\Delta c_{t,i}}{1 + \Delta Y_{t,i}} \right\} \times R_i + A_{t,i}$$

$$Z_{t,i} = \left\{ \frac{K_{t,i} \times \varepsilon_i}{\varepsilon_i \times \eta_i} \right\} = \frac{P_1 - P_0}{P_0}$$

Donde:

$K_{t,i}$  : es el cambio proporcional de la curva de oferta relativa al precio sin la introducción del cultivo GM.

$\Delta Y_{t,i}$  = diferencia en el rendimiento entre el cultivo GM y el cultivo convencional.

$\varepsilon_i$  = elasticidad precio de la oferta

$\Delta c_{t,i}$  = diferencia en el costo de producción entre el cultivo GM y el cultivo convencional.

$R_i$  = probabilidad de éxito del proceso de investigación y desarrollo.

$A_{t,i}$  = Tasa de adopción del cultivo GM.

Los cambios en los excedentes al productor, al consumidor y totales se estimarán con las siguientes fórmulas:

$$\Delta CS_{t,i} = P_0 Q_0 Z_{t,i} (1 + 0.5 Z_{t,i} \eta_i)$$

$$\Delta PS_{t,i} = P_0 Q_0 (K_{t,i} - Z_{t,i}) (1 + 0.5 Z_{t,i} \eta_i)$$

$$\Delta TS_{t,i} = P_0 Q_0 K_{t,i} (1 + 0.5 Z_{t,i} \eta_i)$$

Donde:

$\Delta CS_{t,i}$  = cambio en el excedente al consumidor

$\Delta PS_{t,i}$  = cambio en el excedente al productor

$\Delta TS_{t,i}$  = cambio en el excedente total

$\varepsilon_i$  = elasticidad precio de la oferta

$\eta_i$  = elasticidad precio de la demanda

$P_0$  = precio sin cambio tecnológico

Q0 = cantidad sin cambio tecnológico

Para estimar los beneficios netos descontados se utilizará la siguiente fórmula:

$$N_{t,i}^B = \sum_t = 1(\Delta PS_{t,i} + \Delta CS_{t,i} - C_{t,i}^{ID} - C_{t,i}^{Reg}),$$

Donde:

$C_{t,i}^{ID}$  = Costo en investigación y desarrollo

$C_{t,i}^{Reg}$  = costo de la regulación en el año t para el cultivo i

Los beneficios sociales son estimados como el cambio en los excedentes totales por año y los costos son los gastos en investigación y desarrollo adicional a los costos para la liberación comercial de la variedad, incluidos los costos de cumplimiento de la normativa nacional de bioseguridad, así como los costos de diseminación. Los costos y beneficios se traen a valor presente usando una tasa de descuento y la fórmula para la estimación del Valor Presente Neto:

(VPN): 
$$VPN = \sum_{t=1}^T \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t}$$
 , donde  $B_t$  son los beneficios en el año t,  $C_t$  son los costos en investigación, desarrollo, regularización y diseminación en el año t, e  $i$  es la tasa de descuento<sup>4</sup>.

Como indicadores de rentabilidad social se tomaron la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la relación Beneficio – Costo, con las siguientes fórmulas:

$$\text{Tasa Interna de Retorno} = \sum_{t=1}^T \frac{(B_t - C_t)}{(1 + TIR)^t} = 0$$

$$\text{Relación Beneficio – Costo} = B_t / C_t$$

---

<sup>4</sup> Tomado de notas de clase del profesor George Norton profesor del Departamento de Agricultura y Economía Aplicada de Virginia Tech University, basado en el libro de J. Alston, G. Norton, and P. Pardey entitled: *Science under Scarcity: principles and Practice for Agricultural Research Evaluation and Priority Setting* (CABI, 1998).

## **2.2 Caracterización de los sistemas nacionales de bioseguridad, costos y tiempos**

Con base en entrevistas realizadas a expertos vinculados con empresas privadas, investigadores, asesores expertos en los procesos regulatorios y miembros de las entidades gubernamentales vinculados a este tema, se hizo una caracterización sobre las normativas nacionales de bioseguridad en Brasil y Colombia. En el caso de Brasil, cuatro representantes de empresas privadas fueron entrevistados: un investigador de la Empresa Brasileira de Investigación Agropecuaria (EMBRAPA), miembros de los Ministerios de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento, Ministerio de Relaciones Exteriores y Ministerio de Ciencia y Tecnología, así como de la Asociación de Empresas de Biotecnología en la Agricultura y la Agroindustria (Agrobio), el Consejo de Información sobre Biotecnología, Comisión Técnica Nacional de Bioseguridad (CTNBio) y la Asociación Brasileira de Semillas y Plantas (ABRASEM). En Colombia fueron entrevistados dos representantes de la empresa privada, investigadores del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y un representante de la Asociación de Biotecnología vegetal de Agrobio.

## **2.3 Estimación cambios en costos de producción y rendimientos**

Para estimar el factor de desplazamiento K de la curva de oferta, se estimó el impacto que el uso de una variedad GM puede tener en los costos de producción y en los niveles de rendimientos comparados con los obtenidos con una variedad convencional o no GM. Para esto se usaron datos secundarios de informes y estudios realizados con cada uno de estos cultivos tanto en Brasil como en Colombia. A pesar de la existencia de varios reportes o estudios sobre el tema, se tomó como base para el estudio aquellos que contaran con el suficiente grado de detalle que permitiera hacer análisis de sensibilidad respecto a cambios en costos de semilla, insumos usados, etc.

Para el caso de maíz en Brasil se tomó la información del trabajo de Rodrigo de Paula Crisóstomo y Rodrigo Oliveira de Carvalho denominado “Análise de custo: milho transgênico x milho convencional”<sup>5</sup>, trabajo en el cual se realiza un análisis costo- beneficio entre maíz GM (maíz Bt) y maíz convencional. Para el caso de algodón en Brasil se usó la información del estudio

---

<sup>5</sup> Ver: Crisóstomo, R., et al. Análise de custo: milho transgênico x milho convencional. IV semana de ciencia e tecnologia IFMG – Campus Bambuí. IV jornada científica. 06 a 09 de dezembro de 2011.

“Estimativa do custo de producao de algodao, safra 2008/2009, para Mato Grosso do Sul e Mato Grosso”, los valores fueron actualizados a 2011 con base en el IPC del Instituto Brasileiro de Geografía y Estadista (IBGE)<sup>6</sup>. Para maíz en Colombia, se usó información de la Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas (FENALCE), específicamente se emplearon estructuras de costos de producción de maíz para el departamento de Antioquia, ya que era el único que contaba con estructura tanto para GM como convencional lo suficientemente desglosada para hacer el análisis de sensibilidad. Los costos para maíz GM estaban a precios de 2009 y fueron actualizados a 2011 según el Índice de Precios al Consumidor del período. Para los costos de producción de algodón en Colombia se utilizó la información suministrada por la Corporación Colombiana de Investigación Agrícola (CORPOICA) y la Escuela Colombiana de Ingeniería (ECI) basada en la encuesta realizada a productores de algodón en el departamento de Córdoba para el estudio “Evaluación económica del uso de algodón transgénico en Córdoba, Costa Atlántica Colombiana”. Estos costos fueron adaptados para reflejar el cambio generado por el uso en la tecnología, por lo que los costos fijos se dejaron invariables, ya que la tecnología per se no debe afectarlos al pasar de un cultivar<sup>7</sup> convencional a un GM.

#### **2.4 Parámetros usados**

Los parámetros económicos requeridos para estimación del modelo de excedentes económicos fueron tomados con base en información secundaria. Cuando fue requerido se actualizó usando el IPC nacional y convertido a dólares usando la tasa de cambio promedio anual (Cuadro 1). Los parámetros usados con sus respectivas fuentes se pueden consultar en el Apéndice 2. En el caso de las elasticidades, dada la falta de certeza sobre la robustez de su cálculo es recomendable hacer análisis de sensibilidad, aunque se trabajó con elasticidades usadas en publicaciones científicas para reducir el riesgo de falta de significancia.

---

<sup>6</sup> <http://www.ibge.gov.br>

<sup>7</sup> Material vegetativo que ha recibido algún tipo de tratamiento o mejoramiento

**Cuadro 1. Parámetros económicos utilizados para la estimación de los excedentes económicos.**

Parámetros	Maíz - Brasil	Algodón - Brasil	Maíz - Colombia	Algodón-Colombia
Elasticidad precio de la oferta	0.28	1.07	Corto plazo 0.22 Largo plazo 0.45	Corto plazo 0.59 Largo plazo 0.95
Elasticidad precio de la demanda	-1.59	-0.51	-1.38	-0.5
Tasa de crecimiento de la oferta	2.67%	4.68%	6.20%	-10.5
Adopción	1.3% anual	1.3% anual	1.3% anual	1.3% anual
Cambio en costos	-1.34%	-9.79%	52.38%	6.58%
Cambio en productividad	17.14%	3.6%	42.8%	4.87%
Precio mínimo (US\$/ton)	166.84	1040	385.64	488
Cantidad inicial (ton)	57,000,000	1,190,000	1,446,879	29,868
Precio inicial (US\$/ton)	255.33	579	390	1881.75
Periodo evaluado	20 años	20 años	20 años	20 años
Tasa de cambio	R\$1.67	R\$1.67	Col\$ 1846	Col\$ 1846

Fuente: ver Apéndice 2

Se simuló en ambos casos mercados abiertos y competitivos donde el precio se fija externamente, por lo que la tecnología tiene poco o ningún efecto en el precio interno de los productos.

## 2.5 Tasas de adopción

Para Brasil y Colombia, dadas las diferencias en las tasas de adopción existentes entre las diferentes variedades GM, se utilizó una tasa de adopción estándar para variedades GM empleada en todo el mundo, alcanzando el 9% después de siete años, representando una tasa anual acumulativa de 1.3% (Contini, E. et al. 2003, 10). Aunque estudios similares han simulado que el máximo nivel de adopción se alcanza en los años 14 y 15 (Bayer et al. 2010, 11) para este

estudio, por recomendación de los entrevistados, se supuso un crecimiento de la adopción hasta el año 10, a partir del cual se espera desadopción a la misma velocidad por la introducción de una nueva variedad, por lo que el periodo de análisis o vida útil de la tecnología se supuso en 20 años.

## **2.6 Escenarios**

Como escenario base se tomo la situación actual para el desarrollo y liberación de un cultivar GM con todos los tiempos y costos incurridos en el cumplimiento de la normativa nacional de bioseguridad. Como escenario testigo (escenario 1) se tomó el ejemplo de una variedad convencional, por lo que no hay cambios en costos de producción ni costos de inversión asociados al cumplimiento de la normativa nacional de bioseguridad, aunque sí se tiene cambio en la productividad, ya que se simula el cambio de una variedad convencional a otra mejorada de mayor rendimiento. Este cambio en productividad se supuso igual al cambio generado con el cultivar GM. De igual forma se manejaron escenarios intermedios con reducciones graduales en los costos asociados a la normativa de bioseguridad, lo cual se ve reflejado en una reducción en el costo de la semilla; en el caso más extremo (escenario 2), en el que no hay costos asociados a la normativa nacional de bioseguridad, se supuso una reducción en el costo de la semilla GM del 20%, ya que este es el peso promedio de los costos de la normativa en los costos totales de investigación, desarrollo y difusión un cultivar GM, y de esta forma mantener los márgenes y proporciones en la formación del precio de la semilla, incluidos aquellos que hacen parte de la cuota tecnológica, el cual es el porcentaje del precio de la semilla GM sobre el precio de la semilla convencional (Lopera 2011, 11). En los demás escenarios se suponen reducciones proporcionales en el precio de la semilla, según la reducción en los costos de la normativa. En los escenarios con reducción del tiempo no hay reducción en los costos asociados ni en el valor de la semilla. De igual forma se manejaron escenarios donde se eliminan los costos relacionados con los años requeridos para monitoreo y evaluación, ya que la mayoría de los entrevistados consideran estos costos muy elevados e innecesarios (ver cuadro 2).

**Cuadro 2. Escenarios usados en el análisis según cambios en los costos y tiempos para el cumplimiento de la normativa nacional de bioseguridad.**

<b>Escenario</b>	<b>Descripción</b>
Base	Situación actual, con todos los costos y tiempos asociados al cumplimiento de la normativa de bioseguridad.
Escenario 1	Variedad convencional. No hay costos ni tiempos asociados al cumplimiento de la normativa, ni cambios en costos de producción pero sí en rendimiento.
Escenario 2	Variedad GM sin ningún costo ni tiempo asociado a la normativa de bioseguridad. Costo de semilla se reduce en 20%. (Escenario hipotético, no real, para determinar el máximo costo que el cumplimiento de la normativa puede tener )
Escenario 3	Reducción en los costos asociados a la normativa en 25%. Costos de semilla se reducen en 5%.
Escenario 4	Reducción en los costos asociados a la normativa en 50%. Costos de semilla se reducen en 10%.
Escenario 5	Reducción en los costos asociados a la normativa en 75%. Costos de semilla se reducen en 15%.
Escenario 6	Sin costos de monitoreo y evaluación. Reducción costo semilla 5%.
Escenario 7	Reducción tiempo para el cumplimiento de la normativa en 1 año. No hay reducción de costos en la normativa.
Escenario 8	Reducción tiempo para el cumplimiento de la normativa en 2 años. No hay reducción de costos en la normativa.
Escenario 9	Reducción tiempo para el cumplimiento de la normativa en 3 años. No hay reducción de costos en la normativa.
Escenario 10	Reducción tiempo para el cumplimiento de la normativa en 3 años. Sin costos de monitoreo y evaluación, el costo de la semilla se reduce en 5%.

## **Sección 3. RESULTADOS**

### **3.1 La normativa nacional de bioseguridad**

#### **3.1.1 El caso de Brasil**

La ley 8974 y el decreto 1752/1995 crearon el Comité Nacional de Bioseguridad (CTNBio), agencia responsable por el desarrollo de los lineamientos para el uso de OGM (Organismo Genéticamente Modificados) en Brasil. La política nacional permitía la investigación en OGM y permitía productos comerciales que contuvieran material genéticamente modificado, pero prohibía la producción comercial de cultivos GM (Oda y Soares 2000, 188). En 2005, Brasil lanza la Ley de Bioseguridad, la cual permite la producción, transporte, importación, exportación, almacenamiento, transformación, investigación y comercio de OGMs. Esta ley introdujo algunos cambios importantes relacionados con la CTNBio. Bajo la antigua legislación, esta institución fue parte de la Presidencia, actualmente pertenece al Ministerio de Ciencia y Tecnología (González et al. 2009, 286).

La Ley de Bioseguridad No. 11.105 del 24 de marzo de 2005 reglamenta los incisos II, IV y V del ítem 1 del Art. 225 de la Constitución Federal, estableciendo normas de seguridad y mecanismos de fiscalización de actividades que involucren OGM y sus derivados, crea el Consejo Nacional de Bioseguridad – CNBS, reestructura la Comisión Técnica Nacional de Bioseguridad – CTNBio y dispone sobre la Política Nacional de Bioseguridad (Valle y Barreira 2007,70). A la CTNBio, que es parte del Ministerio de Ciencia y Tecnología, se la define como un órgano de consulta y deliberación, multidisciplinario y colegiado, que proporciona apoyo técnico al Gobierno Federal para formular, actualizar e implementar la Política nacional de bioseguridad para los OGM y sus derivados, al tiempo que establece normas técnicas de seguridad respecto a la autorización de actividades relacionadas con la investigación y el uso comercial de estos organismos y sus derivados (FAO 2009, 2).

Para el desarrollo, manipulación o cualquier tipo de trabajo con OGM se debe contar con la aprobación de la CTNBIO quien da acreditación a las instituciones autorizadas a realizar este tipo de procedimientos, así como se debe seguir su Resolución Normativa No.5 del 12 de marzo de 2008 para la liberación comercial de OGM's y sus derivados.

En resumen, los pasos a cumplir para la aprobación de la liberación comercial de un OGM según la Resolución Normativa No.5 de la CTNBio son:

1. Someter la propuesta de aprobación a la CTNBio una vez se tenga la aprobación de la Comisión Interna de Bioseguridad (CIBio).
2. Tener una copia del parecer técnico de la CIBio sobre la propuesta.
3. Declaración de veracidad sobre la información suministrada.
4. Resumen ejecutivo de la propuesta.
5. Informaciones relativas al OGM.
6. Evaluación de riesgo a la salud humana y animal.
7. Evaluación de riesgo al medio ambiente.
8. Plan de monitoreo.

La CTNBio tiene treinta días para informar al solicitante si la información está completa.

### **3.1.2 Costos y tiempos para el cumplimiento de la normativa nacional de bioseguridad**

Con base en las entrevistas realizadas se estimaron los costos y tiempos para la aprobación comercial de un cultivar GM. Aunque los costos y tiempos pueden variar algo según el cultivar, la tecnología y los países que lo van a usar, se estimaron unos costos y tiempos promedio basado en las opiniones conseguidas.

Según los expertos consultados toma entre tres y cinco años cumplir con los requerimientos de la normativa, entre los cuales los más importantes son:

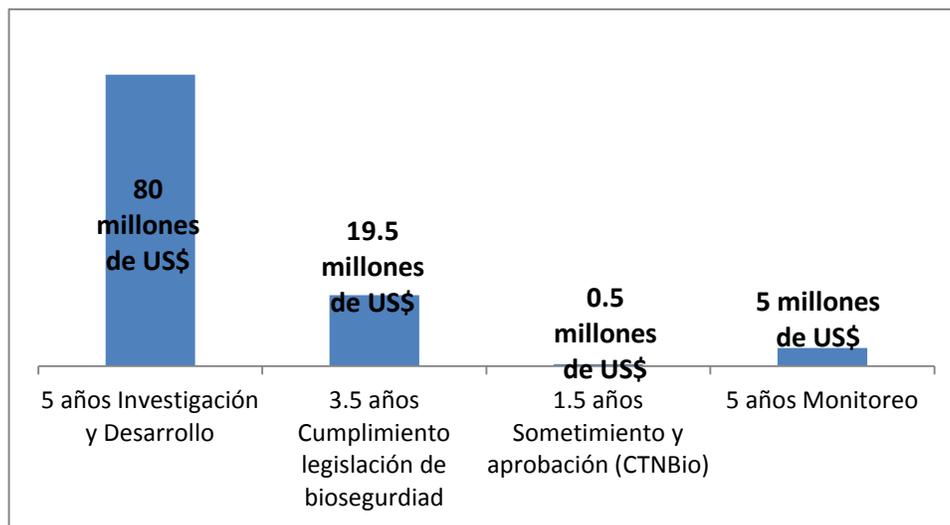
1. Caracterización molecular para demostrar estabilidad.
2. Caracterización agronómica para que no haya un cambio diferente al del gen.
3. Sembrar en diferentes lugares representativos para el cultivo durante dos o tres años. Dos veces al año dependiendo de la planta.
4. Seguridad ambiental. No son diferentes para el medio ambiente los parentales (Flujo de genes).

5. Seguridad alimentaria. Análisis In silico<sup>8</sup>, por si hay un defecto, por ejemplo una proteína. Se hace con animales por dos generaciones.

Una vez la CTNBio ha recibido la propuesta de aprobación, esta tarda entre año y medio y dos años para dar su respuesta final.

En el caso del Brasil puede tomar cerca de 10 años y 100 millones de dólares desarrollar y liberar comercialmente un cultivar GM como el maíz y el algodón, incluido el concepto favorable para su exportación. De estos 10 años, cinco años y cerca de 20 millones de dólares se destinan al cumplimiento de la normativa nacional de bioseguridad. Realizar los estudios toma entre tres a cinco años, y entre uno y dos años para la aprobación de la CTNBio. A lo anterior hay que sumarle los cinco años de monitoreo que exige la CTNBio, el cual puede tener un costo de un millón de dólares por cada año (ver gráfica 1).

**Gráfica 1. Tiempo e inversión requerida para la aprobación de la liberación comercial de una variedad + tecnología de maíz y algodón GM en Brasil.**



Fuente: Cálculos propios con base en consulta a expertos.

<sup>8</sup> Análisis realizados a través de programas computacionales.

### **3.1.3 El caso de Colombia**

El Decreto No. 4525/05 del 06 de diciembre de 2005, constituye la norma básica en Colombia en materia de procedimientos sobre seguridad de la biotecnología. Según este Decreto para la liberación comercial de un cultivar GM se debe contar con la autorización del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Agropecuario (ICA) (FAO 2009, 12). De igual forma, mediante el artículo 18 de este Decreto, se establecen los Comités Técnicos Nacionales en Bioseguridad. Estos comités son los encargados de recomendar a la Autoridad Nacional Competente respectiva la expedición del acto administrativo que aprueba o niega las solicitudes para desarrollo de actividades con OGM. Esta recomendación se realiza luego que el Comité examina y evalúa los documentos de evaluación de riesgo de los OGM, solicita la información que debe ser presentada por el interesado y examina las medidas dentro del marco de la Ley 740 de 2002 (Agrobi, 2009, 4).

El Comité Técnico nacional de Bioseguridad para OGM con fines agrícolas está conformado por:

1. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural o delegado.
2. Ministerio de la Protección Social o su delegado
3. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
4. Gerente del ICA o su delegado.

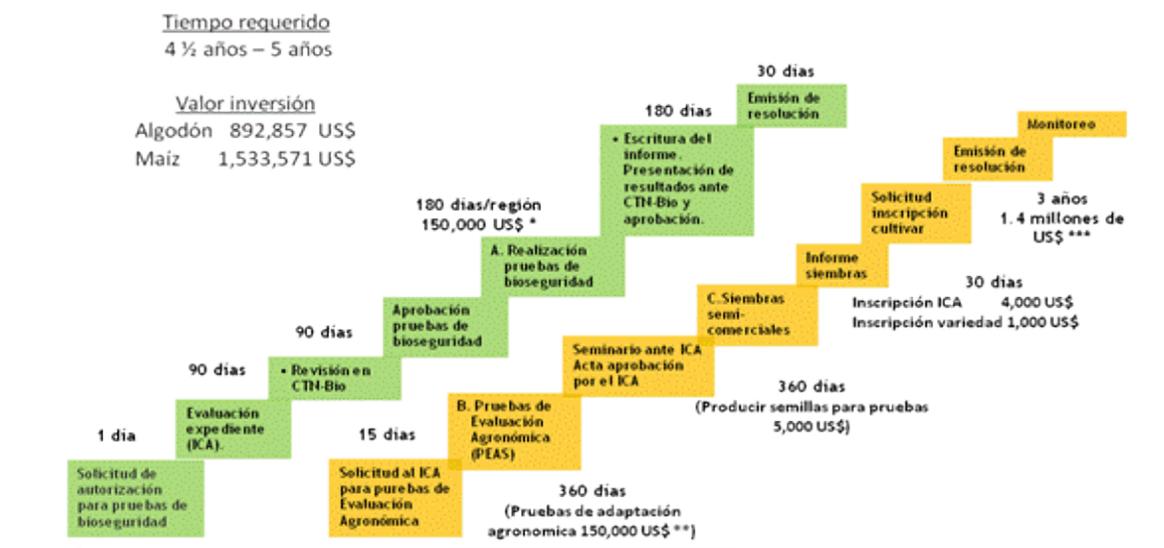
### **3.1.4 Costos y tiempo por cumplimiento de la normativa nacional de bioseguridad**

Los principales pasos a cumplir para la aprobación de la liberación comercial de un cultivar GM, según la normativa nacional de bioseguridad son:

1. Realizar pruebas de bioseguridad para probar la tecnología, si sirve para lo que está especificado y no afecta otras especies.
2. Realizar pruebas de adaptación agronómica. El ICA exige que se realicen en cuatro localidades por subregión, pero normalmente se hacen en seis para reducir riesgos.
3. Una vez se tenga la aprobación ante el ICA se realizan siembras semi-comerciales, un ciclo por subregión.
4. Una vez se tenga la aprobación del Comité Técnico se realizan tres años de monitoreo y evaluación. Este se debe realizar en 20 hectáreas.

De acuerdo con la información suministrada por los expertos consultados la aprobación de una nueva variedad con una nueva tecnología puede tomar entre año y medio y dos años. Sumando los tres años obligatorios de monitoreo y evaluación pos – aprobación, todo el proceso puede tomar entre cuatro años y medio y cinco años, con un costo que varía según el cultivo y la cantidad de subregiones para las cuales se está solicitando la aprobación. En el caso del maíz se puede solicitar aprobación para cinco subregiones productoras y en el caso de algodón pueden ser dos, por lo que las pruebas de evaluación agronómicas, las siembras semicomerciales y el monitoreo y evaluación son más costosos en el caso de maíz que con algodón (ver gráfica 2).

**Gráfica 2. Tiempo e inversión requerida para la aprobación de la liberación comercial de una variedad + tecnología de maíz y algodón GM en Colombia.**



- Las pruebas de evaluación agronomica (B) y las semicomerciales pueden ser simultaneas. Toma 1 año, de lo contrario toma 2 años.
- \*\* Las pruebas de bioseguridad se realiza 1 por cada subregion, en el caso del maíz pueden ser 5 y 2 para algodón (costo unitario 30,000 US\$)
- \*\*\* Las pruebas de bioseguridad se realiza 1 por cada subregion, en el caso del maíz pueden ser 5 y 2 para algodón (costo unitario 15,000 US\$)
- \*\*\*\* Seguimiento, plan de manejo, bioseguridad y seguimiento (3 años) en 20 has

Fuente: Cálculos propios con base en consulta a expertos.

## 3.2 Cambios en costos de producción

### 3.2.1 Maíz Bt en Brasil

Al tomarse como referencia para el maíz GM el Bt, la única diferencia en términos de costos entre este y el maíz convencional está en la utilización de insecticidas; en este último se requiere prestar atención a las plagas e insectos que pueden afectar de manera total o parcial el rendimiento del cultivo (Crisóstomo et al. 2011, 3). La estructura de maíz convencional, además de incluir el costo de los insecticidas el cual representa algo más del 5% de los costos totales de producción, incluye un valor de la semilla menor, ya que se tratan de híbridos simples. (Ver cuadro 3).

**Cuadro 3. Costos de producción para una hectárea de maíz convencional en Brasil (2011)(US\$).**

Descripción	Especificaciones	Unidades	Cantidades	precio/unidad	Costos/ha
<b>Preparación del suelo</b>					
Cal	Dolomítico	toneladas	3	14.97	44.91
Aplicación cal	Tractor 85 hp	hm	1.5	41.92	62.87
Herbicida (desección)	Glifosato	litros	3	3.59	10.78
Aplicación de herbicida	tractos 85 hp + pulv. Barra	hm	0.5	41.92	20.96
<b>Siembra</b>					
Semilla	Híbridos simples (60.000)	sacos	1.1	173.65	191.02
Tratamiento semilla	Standak	Litros	0.12	239.52	28.74
Fertilizante liberación L.	16-16-16	Kg	600	0.79	473.05
Siembra/fertilización	Tractor 120 hp	hm	1	41.92	41.92
<b>Otras tareas</b>					
Herbicida	Sansom	litros	0.3	31.14	9.34
Aplicación de herbicida	Trator 85 hp	hm	0.5	41.92	20.96
Insecticida 01	Metomex	litros	0.6	13.97	8.38
Insecticida 02	Nomolt	litros	0.15	53.89	8.08
1ra aplicación de insecticidas	Aplaiación aérea	ha	1	14.37	14.37
Insecticida 01	Metomex	litros	0.6	13.97	8.38
Insecticida 02	Nomolt	litros	0.15	53.89	8.08
2da aplicación de insecticidas	Aplicación aérea	ha	1	14.37	14.37
Fungicida	Opera	Litros	0.75	46.71	35.03
Aplicación fungicida	Aplicación aérea	ha	1	14.37	14.37
<b>Cosecha</b>					
Cosecha mecanizada	Plataforma cosechadora	hm	1.5	99.80	149.70
<b>Costos Total</b>					<b>1165.33</b>
Productividad (Ton/ha)					7
costo/ton					166.48

Fuente: Crisóstomo et al., 2011

El uso de maíz GM permite la reducción en el uso de insecticidas por lo que las actividades relacionadas con esta labor se reducen considerablemente (ver cuadro 4), en algunos cultivos varían de dos a ocho aplicaciones, de igual forma se ve reflejado en la productividad según la presión que ejercían las plagas en el maíz no GM (Crisóstomo et al. 2011, 3). Así, la diferencia entre estos dos cultivos está en el costo de la semilla, siendo mayor la GM, y en el costo del control de plagas (insecticidas), teniendo como resultado que el costo por hectárea del cultivo del maíz GM es -1.34% menor respecto al maíz convencional, mientras la productividad es 17.14% mayor, por lo que el costo por tonelada de maíz GM es 15.77% menor respecto al costo por tonelada de maíz convencional. En el caso de Céleres (2009) encontró las siguientes disparidades para diferentes estados de Brasil en el costo por hectárea: 4.4% para Paraná, 2.1% en Goias, 2.43% en Mato Grosso.

**Cuadro 4. Costos de producción para una hectárea de maíz GM en Brasil (2011)(US\$)**

Descripción	Especificaciones	Unidades	Cantidades	precio/un	Costos/ha
<b>Preparación del suelo</b>					
Cal	Dolomítico	toneladas	3	14.97	44.91
Aplicación cal	Tractor 85 hp	hm	1.5	41.92	62.87
Herbicida (desección)	Glifosato	litros	3	3.59	10.78
Aplicación de herbicida	tractos 85 hp + pulv. Barra	hm	0.5	41.92	20.96
<b>Siembra</b>					
Semilla	transgenico (60.000)	sacos	1.1	215.57	237.13
Tratamiento semilla	Standak	Litros	0.12	239.52	28.74
Fertilizante liberación L.	16-16-16	Kg	600	0.79	473.05
Siembra/fertilización	Tractor 120 hp	hm	1	41.92	41.92
<b>Otras tareas</b>					
Herbicida	Sansom	litros	0.3	31.14	9.34
Aplicación de herbicida	Trator 85 hp	hm	0.5	41.92	20.96
Fungicida	Opera	Litros	0.75	46.71	35.03
Aplicación fungicida	Aplicación aérea	ha	1	14.37	14.37
<b>Cosecha</b>					
Cosecha mecanizada	Plataforma cosechadora	hm	1.5	99.80	149.70
<b>Costos Total</b>					<b>1149.76</b>
Productividad (Ton/ha)					8
Costo/ton					140.21

Fuente: Crisóstomo et al., 2011

### 3.2.2 Algodón Bt en Brasil

Al igual que con el maíz Bt, la única diferencia entre el algodón Bt y el algodón convencional está en la utilización de insecticida, mientras en el cultivo convencional se emplean 14.18 lt/kg en el cultivo GM se emplea 7.17 lt/kg, esto representa una reducción en los costos totales de producción del 9.79% respecto al cultivo convencional (cuadros 5 y 6).

**Cuadro 5. Costos de producción de una hectárea de algodón convencional en Brasil (Primavera do Leste.MT), (2011) (US\$).**

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo Total
<b>Insumos</b>				
Cal	ton	0.75	47.62	35.72
Semilla	kg	13.00	5.70	74.12
Fertilizante (manutención)	ton	0.50	913.33	456.66
Fertilizante cobertura	ton	0.45	874.18	393.38
Fertilizante foliar	kg	0.50	2.58	1.29
Herbicida desecante	lt	4.50	12.62	56.78
Herbicidas pre-emergentes	lt	3.30	17.84	58.88
Herbicidas pos-emergentes	lt	3.65	16.12	58.84
Insecticidas	lt/kg	14.18	23.51	333.39
Fungicidas	lt	2.10	57.42	120.59
Regulador de crecimiento	lt	0.70	27.55	19.28
Madurador	lt	0.25	83.50	20.88
Defoliante	lt	0.60	36.53	21.92
<b>Costos total insumos</b>				<b>1,651.73</b>
<b>Operaciones agrícolas</b>				
Distribución de cal	hm	0.25	42.94	10.73
Siembra	hm	1.00	55.95	55.95
Fertilización cobertura	hm	2.25	46.23	104.03
Fertilización foliar	hm	0.25	54.59	13.65
Aplicación de herbicidas	hm	0.20	54.59	10.92
Aplicación de herbicidas	hm	0.12	54.59	6.55
Aplicación de insecticidas	hm	0.50	54.59	27.30
Aplicación de fungicidas	hm	0.05	54.59	2.73
Aplicación de desfoliante	hm	0.05	54.59	2.73
Deshierbas	dh	2.00	11.74	23.49
Monitoreo de plagas		1.00	35.15	35.15
Cosecha	hm	0.53	159.11	84.33
Destrucción soqueria	hm	1.16	39.98	46.37
<b>Costos totales Operaciones Agrícolas</b>				<b>423.92</b>
<b>Otros costos</b>				<b>382.77</b>
Costos fijos				489.62
Costos Totales				2,948.04
Productividad (Ton/ha)				2.84
<b>Costo total/ Tonelada (US\$/Ton)</b>				<b>1,039.87</b>

Fuente: Adaptado de Estimativa do Custo de producao de Algodao. Safra 2008/09, para Mato Grosso do Sul y Mato Grosso.

**Cuadro 6. Costo de producción de una hectárea de algodón Bt en Brasil (Primavera do Leste.MT), (2011) (US\$).**

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo Total
<b>Insumos</b>				
Cal	ton	0.75	47.62	35.72
Semilla	kg	13.00	5.70	74.12
Fertilizante (manutención)	ton	0.50	913.33	456.66
Fertilizante cobertura	ton	0.45	874.18	393.38
Fertilizante foliar	kg	0.50	2.58	1.29
Herbicida desecante	lt	4.50	12.62	56.78
Herbicidas pre-emergentes	lt	3.30	17.84	58.88
Herbicidas pos-emergentes	lt	3.65	16.12	58.84
Insecticidas	lt/kg	7.17	21.91	157.12
Fungicidas	lt	2.10	57.42	120.59
Regulador de crecimiento	lt	0.70	27.55	19.28
Madurador	lt	0.25	83.50	20.88
Defoliante	lt	0.60	36.53	21.92
<b>Costos total insumos</b>				<b>1,475.46</b>
<b>Operaciones agrícolas</b>				
Distribución de cal	hm	0.25	42.94	10.73
Siembra	hm	1.00	55.95	55.95
Fertilización cobertura	hm	2.25	46.23	104.03
Fertilización foliar	hm	0.25	54.59	13.65
Aplicación de herbicidas	hm	0.20	54.59	10.92
Aplicación de herbicidas	hm	0.12	54.59	6.55
Aplicación de insecticidas	hm	0.35	54.59	19.11
Aplicación de fungicidas	hm	0.05	54.59	2.73
Aplicación de desfoliante	hm	0.05	54.59	2.73
Deshierbas	dh	2.00	11.74	23.49
Monitoreo de plagas		1.00	16.64	16.64
Cosecha	hm	0.53	159.11	84.33
Destrucción soqueria	hm	0.36	28.48	10.25
<b>Costos totales Operaciones Agrícolas</b>				<b>361.10</b>
<b>Otros costos</b>				<b>390.99</b>
Costos fijos				457.51
Costos Totales				2,685.05
Productividad (Ton/ha)				2.94
<b>Costo total/ Tonelada (US\$/Ton)</b>				<b>914.20</b>

**Fuente:** Adaptado de Estimativa do Custo de producao de Algodao. Safra 2008/09, para Mato Grosso do Sul y Mato Grosso (Richetti 2008, 3).

### 3.2.3 Maíz Bt en Colombia

La diferencia del gasto total en semilla entre el escenario tradicional y el escenario con maíz Bt es bastante elevada, mil trescientos cincuenta y cinco por ciento (1355%), así como el gasto en otros insumos, ciento quince por ciento (115%), dando como resultado un costo por hectárea un 52,38% mayor respecto al cultivo tradicional (ver cuadro 7). Según AgroBio et al. (2010), la diferencia en los costos de producción por hectárea para maíz amarillo tecnificado convencional<sup>9</sup> y GM en los departamentos de Córdoba, Meta, Tolima, Sucre y Valle fue en promedio algo mayor al 25%.

**Cuadro 7. Costos de producción de una hectárea de maíz tecnificado convencional.**

**Departamento de Antioquia. 2011 (US\$/ha).**

	Unidad	Cantidad	Costo Unit.	Costo Total
<b>PREPARACION</b>				
Rastrillada	Pase			0
Siembra	Jorn	10	13.01	130
Cultivadas	H.M.		0.00	0
Riego - Drenaje	No.		0.00	0
Labores Manuales	Jorn	10	13.01	130
<b>Total Preparacion</b>			<b>0.00</b>	<b>260.18</b>
<b>APLICACIONES</b>				
			0.00	
Fertilizantes	Jorn	6	13.01	78
Herbicida terrestre	Jorn	2	13.01	26
Herbicida aéreo	Vuelo		0.00	0
Fungicida terrestre	H.M.	1.2	13.01	16
Fungicida aéreo	Vuelo		0.00	0
Insecticida terrestre	Jorn	2	13.01	26
Insecticida aéreo	Vuelo		0.00	0
Aplicación Biológicos			0.00	0
<b>Total Aplicaciones</b>			<b>0.00</b>	<b>145.70</b>
<b>RECOLECCION</b>				
			0.00	
Cosecha	Jorn	15	13.01	195.14
Desgrane	Bulto	85	0.71	60
Transporte centro Acopio	Bulto	85	1.48	126
Cargues Internos	Ton	3.2	3.55	11
Transporte interno	Bulto	141.6	0.33	47
Secamiento	Ton	3.2	26.61	85
<b>Total Recolección</b>			<b>0.00</b>	<b>524.92</b>
<b>Subtotal Labores</b>			<b>0.00</b>	<b>930.81</b>
<b>INSUMOS</b>				
			0.00	
Semilla	Kg	15	0.65	9.75
Fertilizantes	Bulto	5	36.69	183
Insecticidas	Kg ó Lt	4	2.28	9
Fungicidas	Kg ó Lt	1.0	42.65	43
Herbicidas	GL	2	9.05	18
Empaque	Saco	100	0.18	17.74
Cabuya		1	4.73	5
Tratamiento Semilla	cc	40	0.22	9
Transporte Insumos	Bulto	5	1.77	9
<b>Subtotal Insumos</b>				<b>303.25</b>
<b>COSTOS TOTALES POR HA</b>				<b>1,234.06</b>
<b>REND.TON/Ha.</b>				<b>3.20</b>
<b>COSTO TOTAL POR TON.</b>				<b>385.64</b>

Fuente: Adaptado de Fenalce. Costos actualizados a 2011.

<sup>9</sup> Maíz tecnificado es aquel cultivo donde se emplean semillas híbridas y variedades mejoradas.

Sin embargo, dado el cambio en productividad de 3.2 ton/ha en el escenario convencional a 5.6 ton con el GM el costo de producción por tonelada se reduce en 12.92% (ver cuadro 8), dando como resultado final un beneficio para el productor al pasar de la variedad convencional a la GM.

**Cuadro 8. Costos de producción para una hectárea de maíz GM (Bt). Departamento de Antioquia. 2011 (US\$/ha).**

	Unidad	Cantidad	Costo Unit.	Costo Total
<b>PREPARACION</b>				
Rastrillada	Pase			0
Siembra	Jorn	10	13.01	130.09
Cultivadas	H.M.		0.00	0.00
Riego - Drenaje	No.		0.00	0.00
Labores Manuales	Jorn	10	13.01	130.09
<b>Total Preparacion</b>			<b>0.00</b>	<b>260.18</b>
<b>APLICACIONES</b>				
			0.00	
Fertilizantes	Jorn	6	13.01	78.05
Herbicida terrestre	Jorn	3	13.01	39.03
Herbicida aéreo	Vuelo		0.00	0.00
Fungicida terrestre	H.M.	3	13.01	39.03
Fungicida aéreo	Vuelo		0.00	0.00
Insecticida terrestre	Jorn	3	13.01	39.03
Insecticida aéreo	Vuelo		0.00	0.00
Aplicación Biológicos			0.00	0.00
<b>Total Aplicaciones</b>			<b>0.00</b>	<b>195.14</b>
<b>RECOLECCION</b>				
			0.00	
Cosecha	Jorn	20	13.01	260.18
Desgrane	Bulto	120	0.71	85.15
Transporte centro Acopio	Bulto	120	1.48	177.40
Cargues Internos	Ton	6	3.55	21.29
Transporte interno	Bulto	141.6	0.33	47.31
Secamiento	Ton	6	26.61	159.66
<b>Total Recolección</b>			<b>0.00</b>	<b>750.99</b>
<b>Subtotal Labores</b>			<b>0.00</b>	<b>1,206.31</b>
<b>INSUMOS</b>				
			0.00	
Semilla	Kg	20	7.10	141.92
Fertilizantes	Bulto	11	34.19	376.11
Insecticidas	Kg ó Lt	4	2.49	9.97
Fungicidas	Kg ó Lt	2	42.65	63.97
Herbicidas	GL	3	9.29	27.87
Empaque	Saco	140	0.18	24.84
Cabuya		1	4.73	4.73
Tratamiento Semilla	cc	40	0.22	8.85
Transporte Insumos	Bulto	9	1.77	15.97
<b>Subtotal Insumos</b>				<b>674.21</b>
<b>COSTOS TOTALES POR HA</b>				<b>1,880.51</b>
<b>REND.TON/Ha.</b>				<b>5.60</b>
<b>COSTO TOTAL POR TON.</b>				<b>335.81</b>

Fuente: Adaptado de Fenalce. Costos actualizados a 2011.

### 3.2.4 Algodón con eventos apilados o *stacked* en Colombia

Según la estructura de costos para un hectárea de algodón convencional, se requieren 20.30 kg de semilla para una hectárea a un costo de 6.93 US\$/kg (cuadro 9), mientras para una hectárea de algodón GM se requiere 15.1 kg a un costo de 18.24 US\$ /kg (cuadro 10). El mayor costo de la semilla no se ve compensado por el menor costo en actividades como el control de plagas, enfermedades y malezas, las cuales son menos necesarias con la variedad GM que con la convencional. El análisis de los costos de producción muestra que si bien las variedades GM presentan una importante disminución en los costos de limpieza de malezas (US\$-155.973/ha), representada tanto en el número de jornales utilizados en la limpieza manual como en el valor total de aplicaciones de herbicidas y una disminución en aspersiones contra gusano rosado, estas no alcanzan a compensar el mayor valor de la semilla, el aumento en el costo de combate a picudo y *Spodóptera* y el mayor costo de combate a enfermedades (CORPOICA y ECI 2012, 3) representando un cambio en los costos de producción del 6.58% al pasar del cultivo convencional al GM.

**Cuadro 9. Costo de producción para una hectárea de algodón convencional en el departamento de Córdoba en Colombia (2011) (US\$).**

Costos Variables	Cantidad	Precio	US\$/ha
Preparación de suelos			56.25
semilla	20.30	6.93	140.66
Siembra Resiembra y Raleo			80.77
Fertilización			260.86
Control de plagas			186.33
Control enfermedades			31.99
Control Malezas			155.58
Recolección y cosecha			443.01
<b>Total costos Variables</b>			1355.46
Costos fijos			
Arriendo			261.61
Administración			67.77
Costo Financiero			185.33
<b>Total Costos fijos</b>			514.71
<b>COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN</b>			1870.18
Productividad (Kg/ha) algodón semilla			1950
Costo de producción (US\$/Ton)			959.06

Fuente: (Corpoica y ECI, 2012)

**Cuadro 10. Costo de producción para una hectárea de algodón GM en el departamento de Córdoba en Colombia (2011). (US\$).**

Costos Variables	Cantidad	Precio	US\$/ha
Preparación de suelos			62.32
semilla	15.10	18.24	275.36
Siembra Resiembra y Raleo			71.57
Fertilización			284.35
Control de plagas			193.37
Control enfermedades			58.60
Control Malezas			71.05
Recolección y cosecha			461.90
<b>Total costos Variables</b>			<b>1478.51</b>
Costos fijos			
Arriendo			261.61
Administración			67.77
Costo Financiero			185.33
<b>Total Costos fijos</b>			<b>514.71</b>
<b>COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN</b>			<b>1993.22</b>
Productividad (Kg/ha) algodón semilla			2045
Costo de producción (US\$/kg)			974.68

Fuente: (Corpoica y ECI, 2012)

### 3.3 Cambios en productividad

#### 3.3.1 Maíz Bt en Brasil

En cuanto a cambios en productividad, experimentos en campo realizados en Brasil sugieren un incremento del 24% en la productividad media del maíz Bt respecto al maíz convencional (James 2003<sup>a</sup>, 2003b). Por otra parte Céleres (2009) encontró una diferencia de 7.6% en Goiás, 6.7% en Mato Grosso y 6.8% en Paraná. En el caso de Argentina se ha encontrado un incremento del 10% (Trigo y Cap 2003, 88), mientras en países como Filipinas esta ha llegado al 34% y en Canadá al 5% (Gruère et al. 2007, 50). Según Crisóstomo et al., el cambio en productividad es del 17.14% al pasar de 7 ton/ha del maíz convencional a 8.2 ton/ha con el maíz Bt. Este último valor se utilizará como referente en este trabajo al ser el utilizado en la estructura de costos base empleada.

### **3.3.2 Algodón Bt en Brasil**

Aunque Richetti (2008) no estima ningún cambio en productividad del algodón Bt respecto al convencional, otros estudios estiman según la variedad cambios que pueden ir entre 3.6% al 12.5% (Céleres 2010, 1.3). Por tal razón se decidió dejar el cambio mínimo en productividad reportado, 3.6%, ya que según opinión de expertos consultados, la probabilidad de cambios en la productividad al pasar de semilla convencional a Bt es elevada. Así, la productividad pasaría de 2.84 ton/ha en el escenario convencional a 2.94 en el escenario Bt.

### **3.3.3 Maíz Bt en Colombia**

Con base en los cuadros 7 y 8, el cambio en el rendimiento promedio entre ambos cultivos es significativo al pasar de 3.2 ton/ha a 5.6 ton/ha, representando una diferencia en las productividades de 75%. Según el informe “El beneficio económico por la adopción de la tecnología de OGM para maíz en Colombia”, los rendimientos de las variedades GM son mayores respecto a las variedades tradicionales. Entre los años 2000 – 2008 se observa un rango entre 6 ton/ha y 7 ton/ha para los maíces GM y de 4.1 ton/ha y 6.2 ton/ha para los tradicionales; esto representa una diferencia promedio de algo más de 42.8% en la productividad entre estos dos tipos de maíz. Para este análisis se trabajó con este último valor por acercarse más al valor real, según los expertos, y por representar el promedio del cambio estimado para todas las regiones productoras del país.

### **3.3.4 Algodón con eventos apilados o *Stacked* en Colombia**

Además de la diferencia en los costos de producción anteriormente mencionados, la productividad del cultivo GM es mayor respecto al convencional en un 4.87%, al pasar de 1950 kg/ha de algodón semilla con la variedad convencional a 2045 kg/ha con la variedad GM. Teniendo en cuenta dichas diferencias el costo de producción por kilogramo de algodón semilla GM es 1.63% menor respecto al convencional.

### 3.4 Resultados de los análisis de excedentes económicos

Los cambios en los excedentes económicos derivados de la introducción de un nuevo cultivar son levemente mayores en el caso del cultivar GM que en el caso de un cultivar mejorado convencional. Así mientras en el caso de maíz en Brasil, si es GM el cambio en los excedentes al productor por reducción de costos de producción y mayor producción, serían de 17.503 millones de US\$, mientras en el caso de la variedad mejorada convencional dicho cambio sería de 17.178 millones de US\$ (ver cuadro 11). Caso similar sucede con maíz en Colombia, donde el cambio en los excedentes tanto a productor como consumidor no son muy diferentes entre el GM y el convencional. Caso contrario sucede con algodón en Colombia, donde el cambio en el excedente total es mucho mayor, -11.9 millones en el caso de GM versus 6.27 en el caso de la mejorada convencional.

**Cuadro 11. Cambios en los excedentes económicos al productor y consumidor al adoptar una variedad GM y una convencional respectivamente. Escenario base y escenario 1. (Millones de dólares).**

		<b>Variedad Genéticamente modificada</b>	<b>Variedad mejorada convencional</b>
Maíz (Brasil)	Productor	17,503	17,178
	Consumidor	-3,082	-3,025
Algodón (Brasil)	Productor	-125.69	-33.15
	Consumidor	263.7	69.54
Maíz (Colombia)	Productor	1,373.20	1,799.70
	Consumidor	-266.79	-364.29
Algodón (Colombia)	Productor	-5.6	-26.9
	Consumidor	-6.3	33.17

Fuente: cálculos propios

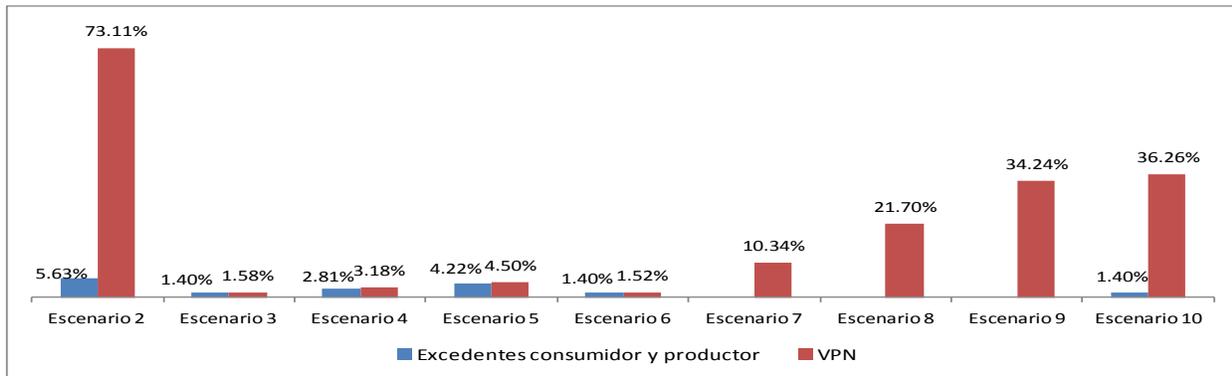
La introducción de cultivares GM o variedades mejoradas convencionales implicará cambios positivos en los excedentes al productor de maíz en ambos países, asociados a la mayor productividad y/o menores costos de producción que estos implican, mientras que dichos cambios son negativos para el caso del consumidor (cuadro 11), ya que esta mayor producción o

menores costos de producción no se traducen en un menor precio al consumidor, por ser el maíz un mercado abierto y su precio se fija externamente, así el productor absorbe todas las ganancias y el productor pierde por la rigidez en el precio. Caso diferente es el de algodón en el Brasil donde el productor tiene cambios en los excedentes negativos y el consumidor positivos, esto se puede deber a que la reducción en el precio es mayor que el efecto conjunto de incremento en la productividad y de reducción en los costos de producción. El caso de algodón en Colombia es mixto, para la variedad GM tanto productor como consumidor obtienen pérdidas, lo cual se puede deber a que, aunque hay un cambio positivo en los rendimientos, los costos de producción aumentan por lo que en conjunto ninguno se beneficia.

### **3.5 Análisis de sensibilidad respecto a excedentes económicos y VPN**

La gráfica 3 muestra los cambios porcentuales en los excedentes que perciben tanto consumidores como productores de maíz en Brasil al comparar el escenario base (GM con todos los costos y tiempos asociados a la normativa de bioseguridad), con cada uno de los escenarios propuestos con cambios en los tiempos y costos asociados al cumplimiento de la normativa. Así, al comparar con el escenario 2 (escenarios sin costos y tiempos asociados a la normativa), se puede apreciar que los excedentes económicos percibidos tanto por consumidores y productores se incrementan un 5.63%, es decir, este es el costo que en términos de excedentes económicos tiene para la sociedad Brasileira el cumplimiento de la normativa de bioseguridad en el caso del maíz. De igual forma si el costo de cumplimiento de la normativa se reduce en un 25% (escenario 3), los excedentes percibidos por productores y consumidores se incrementan en un 1.40%, si estos costos se reducen un 50% (escenario 4) los excedentes se incrementarán un 2.81%, con una reducción del 75% (escenario 5) el incremento en los excedentes sería del 4.22%. Por otra parte, si los costos y tiempos se mantienen pero se eliminan los costos y tiempos asociados a monitoreo y evaluación, los excedentes económicos serían un 1.40% mayores (escenario 6). El cambio en el VPN una vez cubiertos los costos es levemente superior al de los excedentes económicos en estos escenarios. En cuanto a la reducción en el tiempo asociado al cumplimiento de la normativa (escenarios 7, 8 y 9), este no tiene ningún impacto en el cambio de los excedentes económicos recibidos pero sí en el cambio del VPN menos costos, el cual se incrementa en un 10.34% con la reducción de un año en el cumplimiento de la normativa, 21.70% con una reducción de dos años y 34.24% con la reducción de tres años (Gráfica 3).

**Gráfica 3. Cambio porcentual en los excedentes económicos de productores y consumidores y en el VPN de la inversión en I&D en maíz Bt en Brasil, según cambios en los costos y tiempos asociados al cumplimiento de la normativa nacional de bioseguridad.**

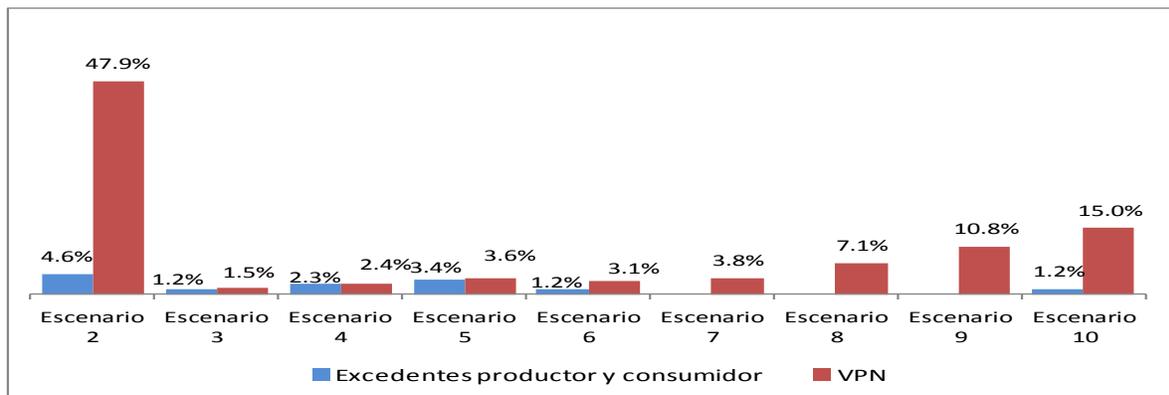


Nota: El cambio porcentual fue similar tanto para consumidores como productores, razón por la cual se muestran en un solo gráfico.

Estos resultados son similares a los obtenidos en otros estudios, por ejemplo Bayer *et al.* (2010), obtuvo cambios significativos en el VPN de los beneficios de la inversión en I&D en varios cultivos GM en Filipinas, respecto a cambios en el tiempo para el cumplimiento de la normativa nacional de bioseguridad. Por ejemplo, un año de retraso en el cumplimiento de la normativa representa una reducción del 12% en el VPN de la inversión en arroz Bt en este país asiático.

Resultado similar al obtenido con maíz se obtuvo con algodón en Brasil, entre menor el costo de cumplimiento de la normativa nacional de bioseguridad, mayor será el cambio en los excedentes económicos tanto para productores como consumidores, por lo que eliminando todos los costos y tiempos asociados al cumplimiento de la normativa, el cambio en el excedente del consumidor y productor será un 4.6% mayor. De igual forma la reducción en el tiempo requerido para el cumplimiento de dicha normativa no tiene ningún impacto en el cambio de estos excedentes. La tendencia en el VPN de los beneficios es similar al de los primeros escenarios con cambios porcentuales algo mayores a los registrados por los excedentes. En el caso de los escenarios con reducción en el tiempo los cambios porcentuales en el VPN son mucho mayores (Gráfica 4).

**Gráfica 4. Cambio porcentual en los excedentes económicos de productores y consumidores y en el VPN de la inversión en I&D en algodón Bt en Brasil, según cambios en los costos y tiempos asociados al cumplimiento de la normativa nacional de bioseguridad.**

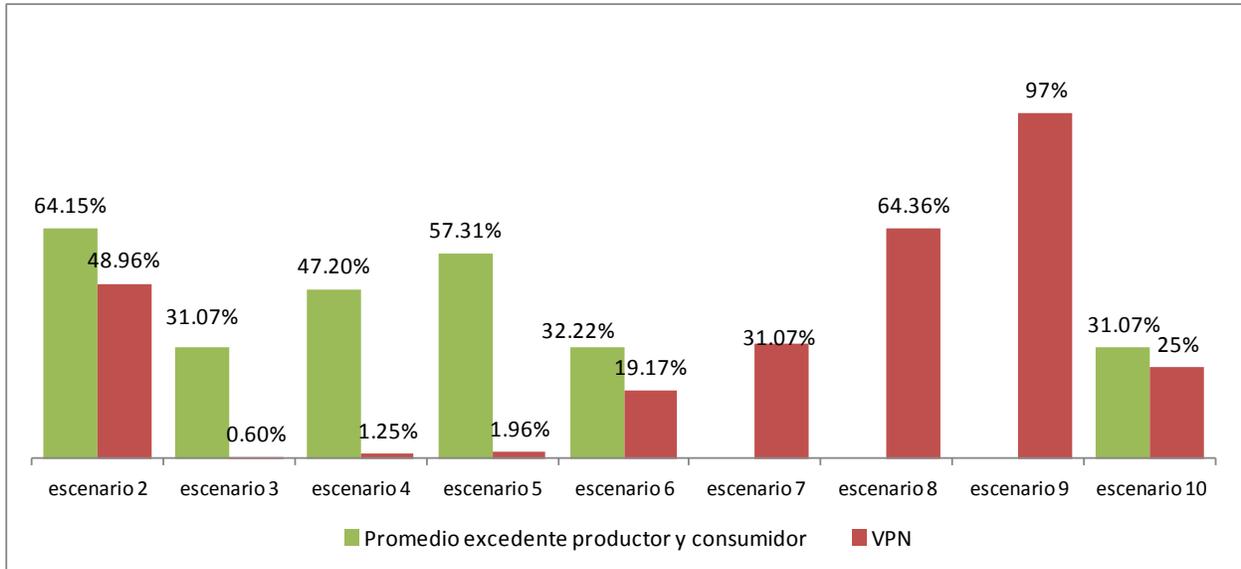


Los resultados para Colombia son algo diferentes, ya que tanto para maíz como algodón la introducción del cultivar GM representa un cambio positivo en los costos de producción y no negativo como sucede en el ejemplo manejado con Brasil. Así, la reducción en los costos de cumplimiento de la normativa de bioseguridad y el menor costo de la semilla asociado, según el supuesto en este estudio manejado, se vería reflejado en incrementos menores en los costos de producción, de allí que el cambio en los excedentes sean mayores.

En el caso de algodón para Colombia, los cambios en los excedentes tanto de productor y consumidor son similares tanto en magnitud como en tendencia, así, la eliminación de los costos y tiempos asociados al cumplimiento de la normativa nacional de bioseguridad, incrementará en un 65.4% los cambios en los excedentes económicos de los consumidores y en un 62.9% el de los productores, mientras el VPN se incrementará un 48.96%. La reducción gradual de los costos de cumplimiento de la normativa se verá reflejado en amplios cambios en los excedentes económicos percibidos por la sociedad (productores y consumidores), pero al igual que en el caso de Brasil, dichos cambios serán crecientes en la medida que los costos de cumplimiento de la normativa se reduzcan y serán igual a cero frente a cambios en el tiempo de cumplimiento de la misma. Mientras la eliminación de los costos de monitoreo y evaluación incrementará los cambios en dichos excedentes en un 32.2% y un 29.9% para consumidores y productores respectivamente, el VPN se incrementará un 19.17%. En el caso del VPN estos se incrementan

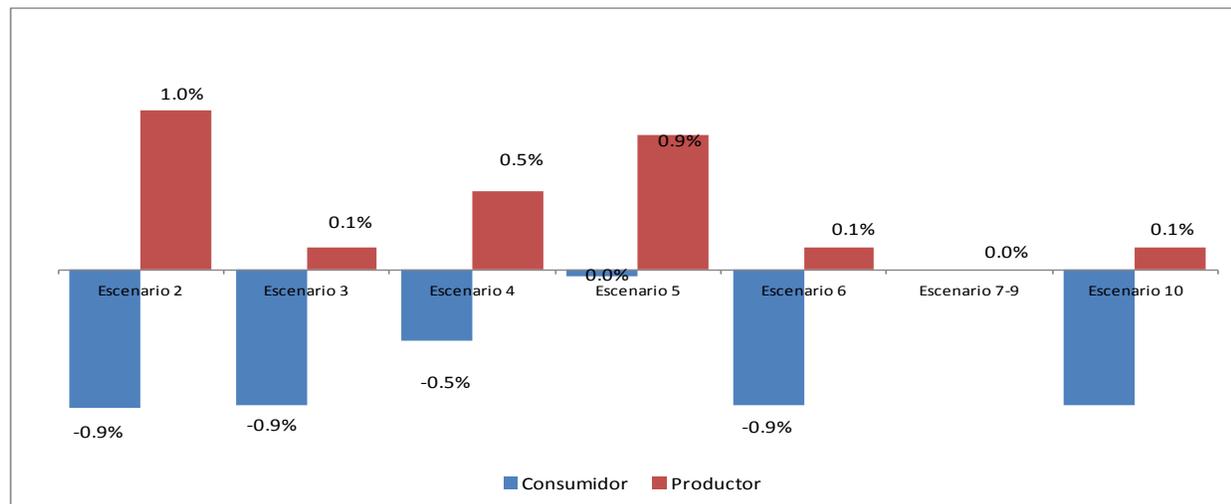
poco frente a reducción en los costos, pero se incrementan significativamente frente a la reducción del tiempo (Gráfica 5).

**Gráfica 5. Cambio porcentual en los excedentes económicos de productores y consumidores y en el VPN de la inversión en I&D en algodón con eventos apilados (*stacked*) en Colombia, según cambios en los costos y tiempos asociados al cumplimiento de la normativa nacional de bioseguridad.**



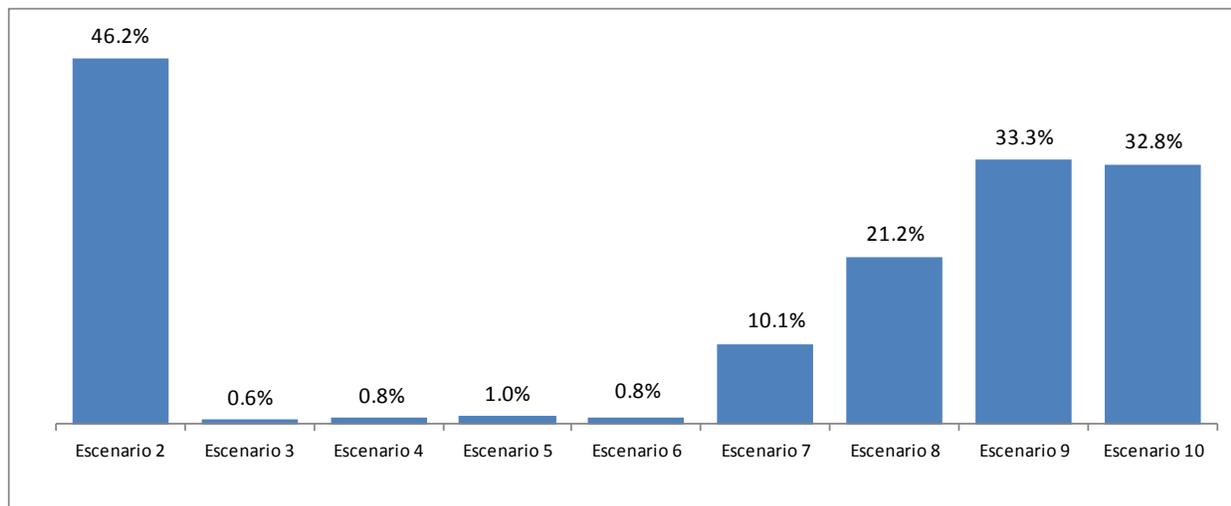
En el caso de maíz Bt en Colombia, los resultados difieren ampliamente entre productores y consumidores, ya que al ser los cambios en los excedentes al consumidor negativos, estos se reducen en la medida que los costos para el cumplimiento de la normativa nacional de bioseguridad también lo hacen. Por otra parte los excedentes al productor se incrementan, así si se eliminan todos los costos asociados al cumplimiento de la normativa de bioseguridad, los cambios en los excedentes del productor se incrementarán un 10%, mientras eliminando los costos de monitoreo y evaluación estos cambios en los excedentes al productor se incrementarán un 0.1% y no lo harán ante cambios en el tiempo requerido para el cumplimiento de la normativa (Gráfica 6).

**Gráfica 6. Cambio porcentual en los excedentes económicos de productores y consumidores de maíz Bt en Colombia, según cambios en los costos y tiempos asociados al cumplimiento de la normativa nacional de bioseguridad.**



En el caso del VPN, este se puede incrementar hasta un 46.2% si se eliminan todos los costos asociados al cumplimiento de la normativa nacional de bioseguridad y 0.8% si se eliminan los costos de monitoreo y evaluación. El incremento en el VPN ante reducción en los costos de cumplimiento de la normativa produce leves incrementos en el VPN, alcanzando un incremento de 0.8% ante una reducción del 75% en estos costos, mientras que ante un año de reducción en el tiempo requerido para cumplir con la normativa implica un incremento 10.1% en el VPN y de hasta 33.3% ante la reducción de tres años (Gráfica 7).

**Gráfica 7. Cambio porcentual en el VPN menos costos por la I&D en maíz Bt en Colombia, según cambios en los costos y tiempos asociados al cumplimiento de la normativa nacional de bioseguridad.**



### **3.6 Análisis de sensibilidad respecto a la rentabilidad de inversión en I&D en GM**

La rentabilidad social de la inversión en investigación y desarrollo (I&D) en cultivos GM (escenario base) se encuentra muy por debajo de la obtenida con una variedad mejorada convencional (escenario 1); así, mientras que la Tasa Interna de Retorno (TIR) social de la I&D en maíz Bt en Brasil es del 40%, el de una variedad mejorada convencional es del 77.5%. Caso similar sucede con el caso de maíz en Colombia, donde la TIR social para el maíz mejorado convencional es del 156.8%, mientras para el maíz Bt es del 68.5%. Para el algodón GM en Colombia la TIR es de 8% para el caso de las variedades convencionales y se indetermina (negativa) para la variedad GM (cuadro 12). La única excepción es el caso de algodón Bt en Brasil, cuya TIR es indeterminada (negativa) para el caso de la variedad mejorada convencional y es de 1.8% para la variedad GM.

**Cuadro 12. Resultados Tasa Interna de Retorno (TIR) para todos los escenarios.**

	<b>Algodón Bt Brasil</b>	<b>Maíz Bt Brasil</b>	<b>Algodón stacked Colombia</b>	<b>Maíz Bt Colombia</b>
<b>Escenario Base</b>	1.8%	40.0%	n.d	68.5%
<b>Escenario 1</b>	n.d	77.5%	8.0%	156.8%
<b>Escenario 2</b>	4.8%	79.5%	1.7%	146.7%
<b>Escenario 3</b>	2.2%	40.2%	n.d	68.5%
<b>Escenario 4</b>	2.6%	40.5%	n.d	68.7%
<b>Escenario 5</b>	2.8%	40.5%	n.d	68.8%
<b>Escenario 6</b>	2.1%	40.1%	n.d	68.6%
<b>Escenario 7</b>	2.9%	44.0%	n.d	78.6%
<b>Escenario 8</b>	3.5%	49.0%	n.d	92.5%
<b>Escenario 9</b>	4.2%	55.5%	0.8%	112.9%
<b>Escenario 10</b>	2.5%	55.8%	n.d	113.4%

Analizando con el caso extremo de no costos ni tiempos asociados a la normativa nacional de bioseguridad (escenario 2), la TIR es mucho más elevada que aquella del escenario base o con costos y tiempos de cumplimiento de la normativa, llegando a aumentar de 40% y 68.5% a 77.5% y 156.8% en los escenarios de maíz Bt en Brasil y Colombia respectivamente. En el caso de algodón Bt en Brasil, la TIR pasaría de 1.8% a 4.8% si se eliminaran todos los costos y tiempos asociados a la normativa de bioseguridad, el cual es un caso hipotético no viable pero muestra el máximo rango de variación de la TIR ante cambios en los costos de cumplimiento de la normativa. En el caso de algodón GM en Colombia la TIR pasaría de un valor negativo a 1.7%.

Al comparar los escenarios relacionados con la reducción en los costos de cumplimiento de la normativa de bioseguridad (escenarios 3,4 y 5) con el escenario base, se puede apreciar que la reducción en los costos monetarios asociados al cumplimiento de la normativa no tiene impactos

significativos en la rentabilidad social de la inversión en I&D en cultivos GM. En el caso del maíz Bt en Brasil la TIR social pasa de 40.24%, con una reducción del 25% en los costos monetarios asociados al cumplimiento de la normativa nacional de bioseguridad, a un 40.54%, con una reducción del 75% en estos costos (escenario 5). Resultados similares se pueden apreciar con algodón GM en Brasil donde se pasa de 2.2% a 2.8%, maíz GM en Colombia al pasar de 68.5% a 68.8% y algodón GM en Colombia cuyo valor no llega a superar el valor negativo entre estos escenarios.

Al ver los resultados de los escenarios relacionados con una reducción en el tiempo invertido para el cumplimiento de la normativa de bioseguridad, escenarios 7,8 y 9, la TIR social para maíz GM en Brasil pasa del 40% del escenario base a 55,5% al reducirse en tres años el tiempo requerido para cumplir con dicha normativa, esto representa incrementos promedio de cinco puntos porcentuales por cada año en que se reduzca el tiempo invertido para este fin, en el caso de algodón GM en Brasil el incremento promedio por año reducido es de 0.8 puntos porcentuales, mientras para maíz GM en Colombia es de más de 12 puntos porcentuales en promedio.

Por otra parte, el quitar el requerimiento del tiempo necesario para monitoreo y evaluación (escenario 6), la TIR social tiene un incremento muy marginal respecto al escenario base, no superando el punto porcentual; pero al quitarle tres años adicionales para el cumplimiento de la normativa (escenario 10), la TIR social se incrementa considerablemente.

#### Sección 4. CONCLUSIONES

Brasil y Colombia son dos de los países más avanzados en el uso y legislación para la investigación y desarrollo de GM en Latinoamérica. Junto con la soya y canola, el maíz y algodón son los cultivos con mayor adopción dentro del grupo de cultivos GM que se siembran en la región. Por medio de visitas a expertos vinculados al sector de I&D en GM, así como con el sistema regulatorio para su aprobación y uso, se logró estimar el costo monetario y el tiempo requerido para la aprobación de un cultivar transgénico en Brasil y Colombia. Para Brasil se trabajó con maíz y algodón Bt, estimando que en promedio se requieren entre cuatro y cinco años y 20 millones de dólares para cumplir con los requisitos de la normativa nacional de bioseguridad, sumado a los cinco años y 5 millones de dólares adicionales para monitoreo y evaluación una vez liberado. En el caso de Colombia se trabajó con maíz Bt y algodón *stacked*, teniendo como resultado que se requieren entre cuatro años y medio y cerca de 900 mil dólares, en el caso de algodón, y más de 1.5 millones de dólares en el caso de maíz para lograr la aprobación de un cultivar GM, sumado a los tres años para monitoreo y evaluación. La diferencia entre ambos países se debe a que Brasil es un país base para la realización de evaluaciones y desarrollos que sirven de evidencia en países vecinos, el tamaño del país y la cantidad de zonas agroecológicas que posee, etc. Mediante un modelo de excedentes económicos se estimó el impacto que la introducción de un cultivar GM puede tener en los excedentes económicos al productor y consumidor (costos indirectos), basados en el impacto que en el mercado estos tienen en los costos de producción y niveles de productividad. Trabajando con diferentes escenarios de reducción en los costos monetarios y en el tiempo requerido para el cumplimiento de la normativa nacional de bioseguridad se estimó que una reducción en dichos costos tendrá un impacto positivo aunque leve en los excedentes tanto de productores y consumidores, así como la reducción o eliminación del tiempo de monitoreo y evaluación, ya que este menor costo implicaría una reducción en el costo de producción mayor al ser en teoría el costo de la semilla menor para el productor. Caso que no aplica para algodón *stacked* y maíz Bt en Colombia donde dicha tecnología no implica una reducción en los costos de producción. Por otra parte, la reducción en el tiempo no tiene ningún impacto en estos excedentes, ya que no se ve reflejado en un cambio en los costos de producción o productividad del cultivo.

En el caso de la rentabilidad social de la I&D en estos cultivos, esta es menor para el caso de los GM, por lo que el diferencial entre las TIR sociales entre estos cultivos se debe a los elevados costos en dinero y tiempo relacionados con el cumplimiento de las normativas nacionales de bioseguridad que deben cumplir los GM. Sin embargo, al evaluar la sensibilidad de la TIR respecto a los cambios en el dinero y tiempo invertido se encontró que disminuciones en el dinero requerido para cumplir con la normativa de bioseguridad no tiene impactos significativos en la rentabilidad social, al igual que eliminar el requisito de monitoreo y evaluación pos-liberación, el cual es uno de los mayores reclamos de las empresas vinculadas con el sector. Caso contrario sucede con la disminución del tiempo requerido para el cumplimiento de la normativa, el cual sí incrementa en forma significativa la rentabilidad social de la I&D en estas tecnologías. Resultados similares encontró Bayer et al. (2010) para berenjena Bt, tomate MVR, arroz Bt y papaya resistente PRSV en las Filipinas, así como Pray et al. (2005) para el caso de algodón en India.

Entre los factores mencionados por Bayer et al. (2010) como posibles causantes de retrasos en la aprobación de un cultivar GM están: La repetición de algunas evaluaciones, tiempo de revisión lento, solicitud por parte de los reguladores de información adicional, falta de claridad respecto a los requerimientos de la regulación e interferencia política en el proceso de regulación de bioseguridad. En términos de política pública se debería buscar una normativa que implique menos costos para las empresas, de tal forma que el productor y el consumidor se puedan beneficiar mucho más de la tecnología al poderse introducir semilla más barata al mercado, lo cual representa un impacto mayor de la tecnología en los costos de producción, al tiempo que una normativa que reduzca el tiempo para su cumplimiento incrementa la rentabilidad social de la investigación y desarrollo en GM, lo cual sería un incentivo para el sector público para participar más activamente, incrementando la investigación en cultivos no tan comerciales pero que pueden tener un gran impacto en los países en vía de desarrollo como lo son el frijol, la yuca, etc.

## Sección 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agro-Bio (2009). “Colombia y los cultivos biotecnológicos en el 2009: ¡Nuevos departamentos y cultivos biotecnológicos!”. Ubicado en: [www.agrobio.org](http://www.agrobio.org). Consultado en agosto 01 de 2012.
2. Agro-Bio (2009). “Regulación en Colombia”. Ubicado en [www.agrobio.org](http://www.agrobio.org). Consultado en junio 12 de 2012.
3. Agro-Bio, CEGA y Universidad de los Andes (2010). “El beneficio económico por la adopción de la tecnología de OGM para maíz en Colombia”. Informe final.
4. Agrolink (2012). “Cotizaciones”. Ubicado en <http://www.agrolink.com.br>. Consultado junio 17 2012.
5. Aparecido, L.R. (2009). “Evaluación económica del maíz genéticamente modificado resistente a insectos – MON89034 y MON910”. Presentado en SOBER 47 Congreso Sociedad Brasileira de Economía, Administración y Sociología Rural. Porto Alegre, Brasil. 26 a 30 de julio 2009.
6. Armstrong, C. L., G.B. Parker, J.C. Pershing, S.M. Brown, P.R. Sanders, D.R. Duncan, , T. Stone, D.A. Dean , D.L. DeBoer, and J. Hart, (1995). “Field evaluation of European corn borer control in progeny of 173 transgenic corn events expressing an insecticidal protein from *Bacillus thuringiensis*”. *Crop Science, Madison*, v.35, pp. 550-557.
7. Atanassov, A., A. Bahieldin, J. Brink, M. Burachik, J.I. Cohen, V. Dhawan, et al. (2004). “To reach the poor: Results from the ISNAT-IFPRI next harvest study on genetically modified crops, public research, and policy implications”. IFPRI. EPTD Discussion paper 116.
8. Bayer, J., G. Norton, and J. Falk-Zepeda (2010). “Cost of compliance with Biotechnology regulation in the Philippines: implications for developing Countries”. *AgBioForum*, vol1, pp. 53 – 62.
9. Bradford, K.J., J.M. Alston, and N.Kalaitzandonakes,(2005). “Regulation of biotechnology for specialty crops”. *Natural Resource Management and Policy*. Volume 30, pp 683-697.
10. Céleres (2009). Economic benefits of biotechnology in Brazil “the yieldgard corn case”. [www.celeres.com.br](http://www.celeres.com.br). Consultado en septiembre 20 de 2012.
11. Céleres (2010). “The economic benefits from crop biotechnology in Brazil: 1996 – 2009”. Ubicado en [www.celeres.com.br](http://www.celeres.com.br). Consultado en septiembre 20 de 2012

12. CEPAL (2004). "Los transgénicos en América Latina y el Caribe: un debate abierto". Naciones Unidas.
13. Contini, E., M. Amstalden and A. Dias Avila (2003). "GM plants and Biosafety regulation: potential impact on research and agribusiness in Brazil". 7<sup>th</sup> ICABR International Conference. Ravello (Italy).
14. CORPOICA y ECI (2012). "Evaluación económica del uso de algodón transgénico en Córdoba, Costa Atlántica Colombiana. Resumen de avance de resultados". Ubicado en [www.lacbiosafety.org](http://www.lacbiosafety.org). Consultado 29 de abril de 2012.
15. Crisóstomo, R., R. Oliveira y C.M. Silva (2011). "Análise de custo: milho transgenico x milho convencional". IV semana de ciencia e tecnologia IFMG – Campus Bambuí. IV jornada científica. 06 a 09 de dezembro de 2011.
16. Crop Life International (2003). "Marcos de seguridad de la biotecnología para manejar la liberación de organismos Vivos Modificados (OVMs) Vegetales". Bruselas. 35p.
17. FAO (2009). "Marco analítico para el desarrollo de un sistema legal de la seguridad de la biotecnología moderna (bioseguridad)". FAO Estudio legislativo 90.
18. Fernandes, O.D.(2003). "Efeito do milho geneticamente modificado (MON810) em Spodoptera Frugiperda (J.E. Smith, 1797) no parasitóide de ovos de Trichogramma sp". Tese de Doutorado, ESALQ/USP. Piracicaba, SP. 164p.
19. González, C., J. García, and N. Johnson, (2009). "Stakeholder positions toward GM food: the case of Vitamin A biofortified cassava in Brazil". *AgBioForum*, 2(3&4), p.p. 282-393.
20. Gruère, G., A.Bouet, S.Mével (2007). "Genetically modified food and international trade". *IFPRI Discussion Paper, 00740 (December)*. 60p.
21. ICA. (2004<sup>a</sup>). "Evaluación de los riesgos potenciales para introducir y comercializar semillas de algodón con las tecnologías conjuntas (Bollgard) + (Roundup Ready)". *Documento de Trabajo. Instituto Colombiano Agropecuario*. 11 p.
22. Jaffe, G. (2005). "Withering on the Vine: Will Agricultural Biotechnology's Promise Bear Fruit?". Center for Science in the Public Interest.
23. Jaffe, G. (2006). "Comparative analysis of the national Biosafety regulatory systems in East Africa". *IFPRI, EPTD Discussion Paper 146*.
24. James, C (2003a). "Biotech corn can boost yields to help growing world food demands". International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications. *ISAAA Brief No. 29*.

- James, C (2003b). "Global status of commercialized transgenic crops in 2003". International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications. *ISAAA Brief No. 30*.
25. James, C. (2009). "Resumen del informe sobre 'La situación mundial de la comercialización de cultivos biotecnológicos/genéticamente modificados en 2009'". *ISAAA Brief No. 41*.
26. James, C. (2010). "Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops". *ISAAA Brief No. 42*.
27. Kalaitzandonakes, N., J. Alston, K. Bradford (2006). "Measuring the costs of biosafety regulation and the potential impacts on biotechnology research and development". The 9th International Symposium on the Biosafety of Genetically Modified Organisms, Jeju Island, Korea, 24-29 September, 2006: biosafety research and environmental risk assessment. pp. 175-180.
28. Lajolo, F.M., and M.R. Nutti (2003). "Transgênicos: bases científicas da sua segurança". *São Paulo: SBAN*. 112 p.
29. Lopera, D.C. (2011). "Evaluación ex-ante del impacto socioeconómico de la potencial introducción de yuca genéticamente modificada en el departamento del Cauca (Colombia)". Tesis de pregrado. Universidad del Valle. 73p.
30. Marques, N., C.A. Dias and A.J (2001). "Análise econométrica da oferta de algodao no estado de Mato Grosso". Ubicado en <http://www.sober.org.br/palestra/12/05O269.pdf>. Consultado en mayo 10 de 2012.
31. McElroy, D. (2003). "Sustaining Agrobiotechnology Through Lean Times" *Nature Biotechnology* 21: pp. 996-1002.
32. Miller, H., and G. Conko (2005). "Agricultural Biotechnology: Overregulated and Underappreciated". *Issues in Science and Technology*.
33. MADR (2006). "Transgênicos al día". Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
34. MAPA (2010). "Projeções do agronegócio. Brasil 2009/2010 a 2019/2020". Ministerio da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
35. Nature. (2010). "Regulation must be revolutionized". Ubicado en <http://www.nature.com/nature/journal/v466/n7306/full/466561a.html>. Consultado el 12 de mayo de 2012.

36. Oda, L.M. and B.E. Soares (2000). "Genetically modified foods: economics aspects and public acceptances in Brazil". *Trends in Biotechnology* . V. 5, pp.188-190.
37. Onofre, R. y M .Pedro (2004). "Los transgénicos en América Latina y el Caribe: un debate abierto. La bioseguridad de las plantas transgénicas". *Capítulo IV. CEPAL*. pp 111 – 122.
38. ONU (2000). "Protocolo de Cartagena sobre bioseguridad de la biotecnología del convenio sobre diversidad biológica". Organización de las Naciones Unidas (ONU).
39. Pray C., P. Bengali, and B. Ramaswani (2005). "The cost of biosafety regulations: The Indian experience". *Quarterly Journal of International Agriculture* 44 , vol.3: pp.267-289.
40. Qaim, M, and Matushka I (2005). "Impacts of genetically modified crops in developing countries". *Quarterly Journal of International Agriculture*. V. 3, pp. 207 – 228.
41. Ramasamy, C., K.N. Selvaraj, G.W. Norton, and V.K. Vijayraghavan (2007). "Economic and environmental benefits and costs of transgenic crops: An ex-ante assessment". *Coimbatore: Tamil Nadu Agricultural University Press*.
42. Richetti, A (2008). "Estimativa do custo de producao de algodao, safra 2008/2009, para Mato Grosso do Sul e Mato Grosso". *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA) Comunicado técnico 149*. p.13.
43. Robinson, C. (2001). "Alimentos y tecnología de modificación genética". ILSI. Bruselas. 45 p.
44. Sharma, H.C., and R. Ortiz (2000). "Transgenics, pest management, and the environment". *Current Science*. v.79, n.34,p p.421-437.
45. Silva, C.(2005). "Algodón Genéticamente Modificado". *Agrobio*. pp 3-5.
46. Schaper, M. and Parada, S. (2001). "Organismos genéticamente modificados: su impacto socioeconómico en la agricultura de los países de la Comunidad Andina, Mercosur y Chile". *CEPAL. División de Medio Ambiente y Asentamientos humanos*.
47. Trigo, E.J., and E.J. CAP (2003). "The impact of the introduction of transgenic crops in argentinean agriculture". *AgBioForum*. V. 3, pp. 87-94.
48. Valle, S., and Y. Barreira (2007). *Biosegurança – Engenharia Genética*. Legislacao Brasileira. pp 65-91.

## APÉNDICES

### A. Apéndice A. Modelo para la estimación de excedentes económicos

Se construyó un modelo en Excel para la estimación de los beneficios económicos netos generados por la investigación y desarrollo de cultivares de maíz y algodón GM en Brasil y Colombia. Estos beneficios son el resultado de la inversión en investigación y desarrollo y son generados por la reducción en los costos de producción y/o incrementos en la productividad derivados de la nueva tecnología. Su magnitud y la forma en que estos se distribuyen entre productores y consumidores dependen principalmente de una serie de factores, los cuales fueron incluidos en el modelo a través de fórmulas para estimar dichos beneficios durante cada uno de los 20 años en los que se supuso dichos cultivos GM serán ser usados antes de ser sustituidos por otros cultivares

Dichos factores son los siguientes:

1. Cambio en los costos de producción por tonelada de aquellos que adoptan las variedades GM. Este cambio depende del cambio en los rendimientos, así como de los cambios en los insumos o factores empleados, por ejemplo mano de obra, fertilizantes, herbicidas, etc.
2. Valor total de la producción de los cultivos (maíz y algodón) en Brasil y Colombia: Es el resultado de multiplicar su precio por la cantidad producida.
3. Porcentaje de agricultores que han adoptado los cultivos GM, medido en términos de área sembrada cada año desde el momento de su liberación.
4. El tiempo requerido para generar el cultivar GM así como el tiempo requerido para alcanzar la máxima adopción.
5. La tasa de descuento usada para los beneficios a generarse en el futuro comparado con aquellos generados ahora.
6. Tipo de mercado. En mercados cerrados los precios se reducirán en la medida que la oferta se incremente. En mercados abiertos la reducción es poco significativa cuando la hay.
7. Los beneficios derivados de la investigación y desarrollo de un cultivar GM aún no generado dependerá de la probabilidad que este sea satisfactoriamente generado. Los beneficios generados hoy valen más que aquellos que se generarán en el futuro.
8. Número de años en los que la tecnología va a ser usada antes de ser reemplazada.

Respecto a los costos, los costos en investigación, desarrollo y diseminación de estos cultivares GM fueron incluidos y descontados para cada año requerido. Dentro de estos costos se incluyeron aquellos asociados con el cumplimiento de la normativa de bioseguridad así como el tiempo requerido para esto.

A los beneficios generados por la inversión en investigación y desarrollo se le descuentan los costos incurridos en esta para obtener los beneficios netos o excedentes económicos netos año tras año los cuales sumados y descontados arrojan el valor presente neto de la inversión en investigación y desarrollo en cultivos GM .

Para estimar los excedentes económicos netos se incluyeron las fórmulas en hojas de cálculo así como los parámetros para su estimación. Diferentes hojas de cálculos fueron usadas para cada uno de los escenarios a evaluar según cambios en el tiempo o los costos de cumplimiento de la normativa de bioseguridad. Cada hoja de cálculo incluye la información y las fórmulas descritas.

En la gráfica A se aprecia el modelo para la estimación de los excedentes netos en el caso de algodón transgénico en Colombia, para los demás casos la estructura es similar.

**Gráfica 1. Modelo en Excel empleado para la estimación de los excedentes económicos.**

	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
	K	Z	Precio	Cantidades	Tasa externa de crecimiento	Cambio en el excedente total	Cambio en el excedente al productor	Cambio en el excedente al consumidor	Excedente productor + excedente consumidor	Costos I&D	Benefios netos	Tasa de descuento	NPV	TIR	Relac Beneficio
3															
4										2,000,000.00	-2,000,000.00	0.10	44,842,373.87	5.06%	1.27
5										2,000,000.00	-2,000,000.00				
6										5,000,000.00	-5,000,000.00				
7										5,000,000.00	-5,000,000.00				
8										10,000,000.00	-10,000,000.00				
9										10,000,000.00	-10,000,000.00				
10										20,000,000.00	-20,000,000.00				
11										17,500.00	-17,500.00				
12										17,500.00	-17,500.00				
13										17,500.00	-17,500.00				
14										17,500.00	-17,500.00				
15	0.023	0.151	1264.07	35,516.00	0.11	994,735.84	-5,526,310.20	6,521,046.04	994,735.84	274,285.00	720,450.84				
16	0.075	0.493	1264.07	35,516.00	0.11	2,961,636.58	-16,453,536.53	19,415,173.11	2,961,636.58	274,285.00	2,687,351.58				
17	0.125	0.822	1264.07	35,516.00	0.11	4,473,150.09	-24,850,833.83	29,323,983.92	4,473,150.09	274,285.00	4,198,865.09				
18	0.176	1.151	1264.07	35,516.00	0.11	5,614,334.91	-31,190,749.48	36,805,084.39	5,614,334.91	0.00	5,614,334.91				
19	0.246	1.610	1264.07	35,516.00	0.11	6,588,088.24	-36,600,490.21	43,188,578.45	6,588,088.24	0.00	6,588,088.24				
20	0.246	1.610	1264.07	35,516.00	0.11	6,588,088.24	-36,600,490.21	43,188,578.45	6,588,088.24	0.00	6,588,088.24				
21	0.246	1.610	1264.07	35,516.00	0.11	6,588,088.24	-36,600,490.21	43,188,578.45	6,588,088.24	0.00	6,588,088.24				
22	0.246	1.610	1264.07	35,516.00	0.11	6,588,088.24	-36,600,490.21	43,188,578.45	6,588,088.24	0.00	6,588,088.24				
23	0.246	1.610	1264.07	35,516.00	0.11	6,588,088.24	-36,600,490.21	43,188,578.45	6,588,088.24	0.00	6,588,088.24				
24	0.158	0.334	1264.07	35,516.00	0.11	6,505,452.05	-7,228,280.06	13,733,732.11	6,505,452.05	0.00	6,505,452.05				
25	0.158	0.334	1264.07	35,516.00	0.11	6,505,452.05	-7,228,280.06	13,733,732.11	6,505,452.05	0.00	6,505,452.05				

\* Para mayor detalle ver Apéndice 1.

## **Descripción de las hojas de cálculo empleadas para la estimación de los excedentes económicos**

Columna A: Año: identifica el año de generación de los costos y beneficios.

Columna B: Elasticidad precio de la oferta (e)

Columna C: Elasticidad precio de la demanda (n)

Columna D: Cambio en el rendimiento, se refiere al máximo cambio en el rendimiento por hectárea para aquellos que adoptan la tecnología o cultivos GM.

Columna E: Cambios equivalentes en rendimientos, convierte el cambio proporcional en rendimientos por hectáreas en el cambio proporcional en costos por tonelada producida, cuyo valor es requerido para estimar los beneficios. Esta columna resulta de dividir la columna D por la B.

Columna F: Cambio en costos por hectárea. Son los cambios proporcionales en los costos variables por hectárea dada la introducción de la tecnología. En el caso de los GM los cambios se dan por costos de la semilla, uso de mano de obra y herbicidas, etc.

Columna G: Cambio equivalente en costos. Convierte el cambio en costos de producción por hectárea en el cambio proporcional en los costos de producción por tonelada. Se estima de la siguiente forma:  $\text{Columna F}/(1+\text{Columna D})$ .

Columna H: Cambio neto. Es el cambio neto en los costos de producción por tonelada teniendo en cuenta el cambio en costos de producción y cambio en rendimientos. Se estima de la siguiente forma:  $\text{Columna E} - \text{Columna G}$ .

Columna I: Probabilidad de éxito. Es la probabilidad que el proyecto o tecnología va a ser desarrollada. En el caso de una evaluación ex – post dicha probabilidad es del 100%, es decir se debe poner el número 1.

Columna J. Tasa de adopción. Es la tasa de adopción de la tecnología año a año desde el momento de la liberación de la tecnología.

Columna K. Tasa de depreciación. Es la tasa en la que la tecnología es desadoptada o dejada de usar por los agricultores. Es igual a 1 cuando se desadapta a la misma tasa en que fue adoptada y 0 cuando no hay depreciación o desadopción.

Columna L. Factor de desplazamiento de la curva de oferta (K). Es el cambio proporcional en la curva de oferta debido a los cambios en costos y productividad, así como por la tasa de adopción y depreciación de la tecnología. Se estima de la siguiente forma: (Columna H x Columna I x Columna J x Columna K).

Columna M: Reducción relativa en el precio debido al cambio en la oferta como efecto de la tecnología (Z). Es estimado de la siguiente forma: (Columna K x Columna B)/(Columna B + Columna C).

Columna N: Es el precio inicial de mercado en el país en el año inicial o año en que el cultivar es liberado (p). Este corresponde al precio promedio en los últimos 3 años para reducir efectos de variaciones anuales debido a factores como clima, etc. Es incluido como una constante.

Columna O: Es la cantidad inicial producida en el país en el año de liberación del cultivar. Este corresponde al precio promedio en los últimos 3 años para reducir efectos de variaciones anuales debido a factores como clima, etc. Es incluido como una constante.

Columna P. Tasa externa de crecimiento de la oferta. Corresponde a la tendencia autónoma de la oferta sin cambio tecnológico, se puede asumir la tendencia de los últimos 10 años previos a la liberación del cultivar.

Columna Q. Cambio en el excedente total. Corresponde al cambio en el ingreso a productores y consumidores como resultado de la nueva tecnología. Es estimada usando la fórmula, en el modelo se estima de la siguiente forma: (Columna L x Columna N x Columna O x (1+0.5 x Columna Mx Columna C)).

Columna R. Cambio en el excedente al productor. Corresponde al cambio en el ingreso de los productores por reducción de costos de producción y aumento de rendimiento, descontando la reducción en precios. Se estima usando la fórmula, en el modelo se estima de la siguiente forma: (Columna N x Columna O x (Columna L- Columna M) x (1+0.5 x Columna M x Columna C)) .

Columna S. Cambio en el excedente al consumidor. Corresponde al cambio en el ingreso de los consumidores por la reducción en el precio del producto dado el aumento en la demanda. Se estima usando la fórmula, en el modelo se estima de la siguiente forma:  $(\text{Columna N} \times \text{Columna O} \times \text{Columna M} \times (1 + (0.5 \times \text{Columna M} \times \text{Columna C})))$ .

Columna T: Cambio en excedentes totales. Es la suma del excedente del productor y el excedente del consumidor, debe sumar lo mismo que la columna Q. Se estima sumando la Columna R y la columna S.

Columna U: Costos en investigación y desarrollo. Son los costos anuales correspondientes a la investigación, desarrollo y diseminación de la tecnología, incluidos los costos de cumplimiento de la normativa nacional de bioseguridad.

Columna V: Beneficios netos. Son los beneficios resultantes de descontarle a los beneficios totales (columna T) los costos en I&D (columna U).

Columna W: Tasa de descuento.

## B. Apéndice B. Datos y fuentes parámetros usados en el análisis de excedentes económicos

### B.1 Caso de maíz en Brasil.

Variable	Valor	Fuente
Elasticidad precio de la oferta	0.28	Brescia, V. & Lema, D. Supply elasticities for select commodities in MERCOSUR y Bolivia. EC Project EUMercoPol (2005 -08). Junio 2007.
Elasticidad precio de la demanda	-1.59	Oliveira, M. & De Lima, O. Corn market in the state of Ceará: an analysis through the model of simultaneous equations. Universidade Estadual Do ceará. <a href="http://www.proppq.uece.br/.../mercadomilho.doc">www.proppq.uece.br/.../mercadomilho.doc</a> . Consultado en marzo 16 de 2012.
Tasa de crecimiento oferta (2010 - 2021)	2.67%	Ministerio de Agricultura, Ganaderia y Abastecimiento del Brasil. Brasil projecoes do agronegocio 2010/2011 a 2020/2021. Brasilia. Junio de 2011.
Adopción	1.3%	Contini,E., Amstalden ,M.,and A.Dias Avila.2003.GM plants and Biosafety regulation: potential impact on research and agribusiness in Brazil.7th.ICABR International Conference .Ravello (Italy), June 29- July 3,2003.
Cambio en costos	-1.34%	Crisóstomo, R., at al. Análise de custo: milho transgenico x milho convencional. IV semana de ciencia e tecnologia IFMG – Campus Bambuí. IV jornada científica. 06 a 09 de dezembro de 2011.
Cambio en productividad	17.14%	Crisóstomo, R., at al. Análise de custo: milho transgenico x milho convencional. IV semana de ciencia e tecnologia IFMG – Campus Bambuí. IV jornada científica. 06 a 09 de dezembro de 2011.
Tasa de cambio (R\$/US\$)	1.67	Banco Central de Brasil. <a href="http://www.bc.gov.br/?TXCAMBIO">http://www.bc.gov.br/?TXCAMBIO</a>
Precio mínimo (US\$/ton)	108.91	Crisóstomo, R., at al. Análise de custo: milho transgenico x milho convencional. IV semana de ciencia e tecnologia IFMG – Campus Bambuí. IV jornada científica. 06 a 09 de dezembro de 2011.
Cantidad inicial	57,500,000	<a href="http://cepea.esalq.usp.br/agromensal/2011/12_dezembro/Milho.htm">http://cepea.esalq.usp.br/agromensal/2011/12_dezembro/Milho.htm</a>
Precio inicial (US\$/ton)	255.33	<a href="http://cepea.esalq.usp.br/agromensal/2011/12_dezembro/Milho.htm#_II_-_Séries_1">http://cepea.esalq.usp.br/agromensal/2011/12_dezembro/Milho.htm#_II_-_Séries_1</a>

## B.2 Caso algodón en Brasil.

Variable	Valor	Fuente
Elasticidad precio de la oferta	1.07	Marques, N. et al. Análise econométrica da oferta de algodao no estado de Mato Grosso. 2001.
Elasticidad precio de la demanda	-0.51	Marques, P.V.; P. C. de Mello & J.G. Martines Fo. Mercados Futuros e de Opções Agropecuárias. Piracicaba, S.P., Departamento de Economia, Administração e Sociologia da Esalq/USP, 2006, Série Didática nº D-129.
Tasa de crecimiento oferta (2010 - 2021_)	4.68%	Ministerio da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Projecoes do agronegocio. Brasil 2009/2010 a 2019/2020. Brasilia. Julio de 2010.
Tasa de crecimiento consumo (2010 - 2021)	1.56%	Ministerio da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Projecoes do agronegocio. Brasil 2009/2010 a 2019/2020. Brasilia. Julio de 2010.
Adopción	1.3%	Contini,E., Amstalden ,M.,and A.Dias Avila.2003.GM plants and Biosafety regulation: potential impact on research and agribusiness in Brazil.7th.ICABR International Conference .Ravello (Italy), June 29- July 3,2003.
Cambio en costos	-9.79%	Céleres (2010). The economic benefits from crop biotechnology in Brazil: 1996 – 2009. Uberlando. Enero 2010
Cambio en productividad	3.60%	Céleres (2010). The economic benefits from crop biotechnology in Brazil: 1996 – 2009. Uberlando. Enero 2010
Tasa de cambio (R\$/US\$)	1.67	Promedio entre enero 01 y diciembre 23 de 2011. Banco Central de Brasil. <a href="http://www.bc.gov.br/?TXCAMBIO">http://www.bc.gov.br/?TXCAMBIO</a>
Precio mínimo (US\$/ton)	1,040	Tablas de costos de producción
Cantidad inicial	1,190,000	Ministerio da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Projecoes do agronegocio. Brasil 2009/2010 a 2019/2020. Brasilia. Julio de 2010.
Precio inicial (US\$/ton)	579	Promedio del precio medio nacional en 2009. Agrolink.com.br

### B.3 Caso maíz en Colombia.

Variable	Valor	Fuente
Elasticidad precio de la oferta corto plazo	0.22	Respuesta de la oferta y la demanda agrícola en el marco de un TLC con estados unidos
Elasticidad precio de la oferta largo plazo	0.45	Respuesta de la oferta y la demanda agrícola en el marco de un TLC con estados unidos
Elasticidad precio de la demanda largo plazo	-1.3878	Respuesta de la oferta y la demanda agrícola en el marco de un TLC con estados unidos
Tasa de crecimiento oferta (2000 - 2019_)	6.20%	Col. Beneficio económico por la adopción de la tecnología OGM para maíz
Adopción	1.3%	Contini,E., Amstalden ,M.,and A.Dias Avila.2003.GM plants and Biosafety regulation: potential impact on research and agribusiness in Brazil.7th.ICABR International Conference .Ravello (Italy), June 29- July 3,2003.
Cambio en costos	51%	Adaptado Fenalce
Cambio en productividad	42.80%	Col. Beneficio económico por la adopción de la tecnología OGM para maíz.pag 30
Tasa de cambio (col\$/US\$)	\$1,846.00	Promedio 2009. Banco de la republica
precio mínimo (US\$/ton)	474.01	Fenalce
Cantidad inicial (TON)	1,446,879	FENALCE 2009
precio inicial (col\$/ton)	696,386	FENALCE 2009. Situación actual para maíz y frijol en Colombia

#### B.4 Caso algodón en Colombia.

Variable	Valor	Fuente
Elasticidad precio de la oferta corto plazo	0.59	Respuesta de la oferta y la demanda agrícola en el marco de un TLC con estados unidos
Elasticidad precio de la oferta largo plazo	0.95	Respuesta de la oferta y la demanda agrícola en el marco de un TLC con estados unidos
Elasticidad precio de la demanda	-0.5	Trends in CIAT commodities
Tasa de crecimiento oferta (2010 - 2021_	-10.5	Agrocadenas
Adopción	1.3%	Contini,E., Amstalden ,M.,and A.Dias Avila.2003.GM plants and Biosafety regulation: potential impact on research and agribusiness in Brazil.7th.ICABR International Conference .Ravello (Italy), June 29- July 3,2003.
Cambio en costos	6.58%	CORPOICA y ECI. Evaluación económica del uso de algodón transgénico en Córdoba, Costa Atlántica Colombiana. Resumen de avance de resultados. Abril 2012.
Cambio en productividad	4.87%	CORPOICA y ECI. Evaluación económica del uso de algodón transgénico en Córdoba, Costa Atlántica Colombiana. Resumen de avance de resultados. Abril 2012.
Tasa de cambio	\$1,846.00	Promedio 2009. Banco de la republica
Precio mínimo (US\$/ton)	488	CORPOICA y ECI. Evaluación económica del uso de algodón transgénico en Córdoba, Costa Atlántica Colombiana. Resumen de avance de resultados. Abril 2012.
Cantidad inicial (ton)	29,868	<a href="http://www.conalgodon.com/sites/default/files/1%20%20Area%20Produccion%20y%20Rendimientos%20Colombia.pdf">http://www.conalgodon.com/sites/default/files/1%20%20Area%20Produccion%20y%20Rendimientos%20Colombia.pdf</a>
Precio inicial (US\$/ton)	\$2,004.33	<a href="http://www.conalgodon.com/sites/default/files/1%20%20Area%20Produccion%20y%20Rendimientos%20Colombia.pdf">http://www.conalgodon.com/sites/default/files/1%20%20Area%20Produccion%20y%20Rendimientos%20Colombia.pdf</a>