

## Efectos de los Biocombustibles en la Seguridad Alimentaria en Colombia: Una Aproximación Sistémica

Impacts of Biofuels on Food Security in Colombia: a System Thinking Approach

Diana Patricia Giraldo Ramírez<sup>1</sup>; Santiago Arango Aramburo<sup>2</sup> y Juan Esteban Martínez Jaramillo<sup>3</sup>

**Resumen.** Los biocombustibles se están tornando en una alternativa cada vez más importante para los países, tanto en política agraria como para diversificar su portafolio energético. Debido a su naturaleza y a su interrelación con factores críticos como la tierra y el agua, nace la necesidad de estudiar y entender cómo las políticas públicas y el desarrollo de los mercados de biomasa pueden afectar la Seguridad Alimentaria. Se tomó a Colombia como caso debido a su contexto, en el que existen incentivos para el biodiesel y el bioetanol, tanto en la regulación de precios como en ayudas financieras para los productores. Se realiza una mirada sistémica sobre las relaciones entre los biocombustibles y la Seguridad Alimentaria. Esto se hace a través de un modelo causal en el que se plantean las relaciones de interdependencia entre las variables principales de estos sistemas. El análisis muestra cómo al incentivar la producción de biocombustibles se puede generar un decrecimiento en la producción de alimentos y poner en riesgo la Seguridad Alimentaria. Se plantea la necesidad de la construcción de modelos de simulación para cuantificar los efectos y evaluar las políticas actuales en el tiempo.

**Palabras clave:** Política agraria, biomasa, energía sostenible, sistemas dinámicos.

**Abstract.** Biofuels are turning an increasingly important alternative for countries, both for agricultural policies and diversification of its energy portfolio. Due to its nature and interrelationship with critical factors such as land and water, there is a need to study and understand how public policies and development of biomass markets can affect Food Security. This paper takes a systemic view on the relationships between biofuels and Food Security. The selected case study is Colombia, because of its current incentives for biodiesel and bioethanol, regulation on prices and subsidies to producers. The study was done through causal models that propose the relationships of interdependence between the main variables of these systems. The analysis shows how the incentives to biofuel production can generate a decrease in food production, threatening Food Security. The analysis leads to the need to build simulation models to quantify and evaluate the effects of current policies over time.

**Key words:** Agricultural policies, biomass, sustainable energy, system dynamics.

Han surgido nuevas teorías explicando el incremento del índice de precios de los alimentos, algunas mostrando el fortalecimiento en las interrelaciones entre los mercados energéticos y de alimentos. Desde el año 2000 los precios internacionales de los alimentos y del petróleo se incrementaron, al igual que la demanda de biocombustibles, especialmente en los de primera generación como bioetanol, debido a su uso como sustituto del petróleo (Rosillo y Walter, 2006; Acosta y Chaparro, 2009). Proyecciones globales prevén que para el 2050 la producción de biocombustibles será cinco veces la existente en el 2005 (Demirbas, 2008). Los incrementos en la producción se asocian a factores como políticas gubernamentales, altos precios del petróleo, seguridad energética, el ser un recurso renovable amigable con el ambiente, entre otros (Sandvik, 2008; Demirbas, 2009; Liao *et al.*, 2012). Este escenario plantea un dilema entre el uso

final de las materias primas, si para biocombustibles o alimentación humana; factores como cambios en el uso de la tierra, cambios en el clima, incremento en los precios de los *commodities*, crecimiento poblacional y, aumento en la demanda de otros usos diferente al alimentario, favorecen la carencia de Seguridad Alimentaria (Nonhebel, 2005; Acosta y Chaparro, 2009; Escobar *et al.*, 2009).

Un aspecto crítico que ha emergido en la comunidad científica y política es el posible efecto del cambio en el uso tradicional de las materias primas de alimentación a energía. Lo anterior ha generado una discusión en la que algunos autores afirman que el conflicto por los bienes comunes entre biocombustibles y alimentos ha llevado entre otras cosas, al aumento de los precios de los *commodities* (Falcon y Naylor, 2005; Sandvik *et al.*, 2008; IICA, 2009; Godfray *et al.*, 2010; De Gorter *et*

<sup>1</sup> Docente Investigadora. Universidad Pontificia Bolivariana- Facultad de Ingeniería Agroindustrial. Circular 1 No. 73-76, Bloque 22 Medellín, Colombia. <dianap.giraldo@upb.edu.co>

<sup>2</sup> Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín – Facultad de Minas – Escuela de Sistemas. Carrera 80 No. 65-223, Núcleo Robledo, Medellín, Colombia. <saarango@unal.edu.co>

<sup>3</sup> Ingeniero Industrial. Estudiante de Maestría en Ingeniería de Sistemas. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas – Sede Medellín. Carrera 80 No. 65-223, Medellín, Colombia. <jemartinezj@unal.edu.co>

Recibido: Febrero 08 de 2013; aceptado: Octubre 22 de 2013.

*al.*, 2013), un cambio en el uso de la tierra ( Nonhebel, 2005; Hertel y Tyner, 2013), así como un incremento en la productividad de la actividad agraria. Este aumento ha suscitado preocupación debido a que limita el acceso a bienes de primera necesidad por personas en situación de pobreza, generando carencia de Seguridad Alimentaria.

La Seguridad Alimentaria es un estado necesario para el bienestar de la sociedad, sin el cual el tejido social corre el riesgo de disolverse. Desde la Conferencia Mundial de la Alimentación celebrada en 1974, se han desarrollado y diversificado más de doscientas diferentes definiciones de la Seguridad Alimentaria (Smith *et al.*, 1992; Carr, 2006), evidenciando la complejidad y la naturaleza del problema alimentario. The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) estima que más de 1.020 millones de personas en el mundo estuvieron subnutridos en 2009, lo cual significa un 37% más que 20 años atrás (Godfray *et al.*, 2010).

Las dimensiones que incluyen el logro de la seguridad alimentaria son jerárquicas en naturaleza, es decir, la disponibilidad de alimentos es necesaria pero no suficiente para asegurar el acceso a los alimentos requeridos (Rena, 2005; Ericksen *et al.*, 2009). Adecuadas cantidades de alimentos deben ser producidas, pero podrían no ser accesibles por las personas debido al precio, distribución, limitantes del ingreso o factores sociales y culturales (Giraldo, 2013).

La disponibilidad de alimentos, por su parte, enfrenta retos importantes en el sentido de que el mundo requiere producir más alimentos para una creciente población. Implicaciones como el aumento del poder adquisitivo logrado por algunas regiones, ha resultado en el aumento en la demanda de alimentos y de materias primas (Latham, 2000; Godfray *et al.*, 2010). Globalmente, el aumento del consumo de alimentos para satisfacer las necesidades básicas, impone presiones sobre los limitados recursos naturales (Gerbens *et al.*, 2010), como las tierras arables, el agua y las áreas naturales (FAO, 2003; Hoekstra y Chapagain, 2007; WWF, 2007), sumándose a ésta, la necesidad de darle solución a la crisis energética por medio de biomasa, generando así una lucha por el uso de la tierra (Nonhebel, 2005; Naik *et al.*, 2010).

Los países en desarrollo han desplegado programas de biocombustibles como alternativas económicas y de desarrollo social. Estos programas han sido

estimulados por subsidios gubernamentales. Sin embargo, no es claro el impacto social en la calidad de vida de las personas de estos países (Peters y Thielmann, 2008; Ewing y Msangi, 2009).

Se pretende realizar una mirada holística sobre los sistemas de biocombustibles y la seguridad alimentaria en Colombia; por medio de diagramas causales, se construirá una hipótesis sobre los mecanismos de relación existente entre los sistemas mencionados que permita ampliar la discusión sobre las relaciones existentes; además, sirve como herramienta para la comunicación y el aprendizaje (De Geus, 1988; Sterman, 2000).

Colombia, es un ejemplo claro en la región debido a las políticas de regulación presentes tanto en las plantaciones como en la producción de biocombustibles. Es de interés particular estudiar los efectos de la intervención gubernamental en los sistemas alimentarios y energéticos; entender cómo éstos se interconectan y su grado de interrelación. Varios estudios se han enfocado en las relaciones entre estos dos sistemas, mostrando una fuerte correlación entre los índices de precios de estos mercados (Pruyt y Sitter, 2008; Quirke *et al.*, 2008; Sandvik, 2008; Kim, 2009; De Gorter *et al.*, 2013; Zilberman *et al.*, 2013).

Se propuso una metodología sistémica debido a las características complejas de la estructura, que enmarcan los sistemas alimentarios y energéticos en Colombia. El objetivo es tener una primera aproximación sistémica que permita observar las relaciones existentes entre las variables para así entender su estructura, analizar efectos colaterales, encontrar puntos de palanca, que permitan generar un documento de discusión y una base para un futuro modelo de simulación válido y así proponer políticas que disminuyan los efectos contra intuitivos presentes en este tipo de sistemas complejos.

**Biocombustibles y seguridad alimentaria en Colombia.** Aunque la historia de los biocombustibles no es nueva, la reglamentación e implementación en Colombia se da a partir del año 2001 con la ley 693. Esta ley definió que a partir del año 2005 las ciudades con más de 500 mil habitantes deben mezclar la gasolina con alcohol carburante (Garzón y Hernández, 2009; Fedebiocombustibles, 2011). La producción de biocombustibles ha sido jalonada por incentivos mediante políticas gubernamentales, las cuales han motivado el incremento en el área cultivada.

Los beneficios para los cultivadores se dan con exclusión de IVA para la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y la exención de renta de la palma de aceite (*Elaeis guineensis*). Por su parte, los incentivos para los productores se dan en términos de la exención del impuesto a las ventas del biodiesel y el etanol. Adicionalmente, el gobierno controla las ganancias de los productores por medio de una banda de precios, define cuotas de mezclas y plazo de acondicionamiento del parque automotor (Ministerio de Minas y Energía, 2007; Berrío, 2011). Por consiguiente, para el 2012 la gasolina corriente debía contener una mezcla entre el 8% (E-8) y el 10% (E-10) (Ministerio de Minas y Energía, 2011) y para el diesel una mezcla de 10% (B-10) de aceite vegetal y 90% (B-90) de diésel (Fedebiocombustibles, 2012).

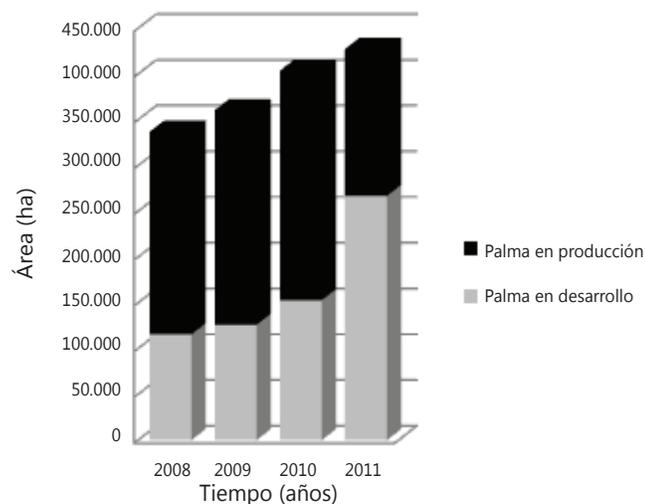
Los principales cultivos que pueden ser usados para la producción de aceite vegetal son: palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq), cocotero (*Cocos nucifera* L.), higuierilla (*Ricinus communis* L.), aguacate (*Persea americana* L.), jatropha (*Jatropha curcas* L.), colza (*Brassica napus* L.), maní (*Arachis hipogaea* L.), soya (*Glycine Max* L.) y girasol (*Helianthus annuus* L.); siendo la palma de aceite la de mayor rendimiento por ha (5.550 L/ha/año) y la de mayor crecimiento en área de cultivo en el país. En los años sesenta existían aproximadamente 18.000 ha de cultivos, y para el año 2012 se calculan unas 427.367 ha en producción (IICA, 2010; Fedebiocombustibles, 2012). Actualmente, Colombia es el quinto productor a nivel mundial de aceite de palma. En la Tabla 1 se observan los principales productores, la capacidad instalada y el área de cultivo.

**Tabla 1.** Empresas productoras de biodiesel en Colombia. Fuente: Fedebiocombustibles (2012).

Empresa	Capacidad (L/día)	Área Plantada (ha)
Oleoflores	169.000	23.000
Odin Energía	121.000	12.000
Biocombustibles Sostenibles del Caribe	337.000	33.300
Bio D	337.000	33.300
Ecodiesel de Colombia	337.000	33.300
Aceites Manuelita	337.000	33.300

Las plantas de biodiesel entraron en operación a mediados del 2008, por lo cual sólo se poseen datos de producción desde el 2009. En la Figura

1 se puede observar el crecimiento de las áreas de palma de aceite plantadas (en desarrollo y en producción).



**Figura 1.** Palma de aceite en desarrollo y en producción establecidas en Colombia. Fuente: Fedebiocombustibles (2012).

La producción de biodiesel en el año 2009 fue de 250.662 t, aumentando para el año 2010 a 337.713 y 443.037 t para el año 2011 (Fedebiocombustibles, 2012), teniendo un incremento de cerca del 77% en solo 2 años.

En el caso del etanol, los cultivos que pueden ser usados para la producción son: caña de azúcar (*Saccharum*

*officinarum* L), papa (*Solanum tuberosum* L.), maíz (*Zea mays* L.), yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y remolacha (*Beta vulgaris* L.). En Colombia los más usados son la caña de azúcar y la yuca (CORPOICA *et al.*, 2010). Los principales productores de etanol son los ingenios azucareros. En la Tabla 2 se observa la capacidad instalada y el área plantada.

**Tabla 2.** Empresas productoras de Etanol en Colombia. Fuente: Fedebiocombustibles (2012).

Empresa	Capacidad (L/día)	Area plantada (ha)
Ingenio Incauca	350.000	11.942
Ingenio Providencia	300.000	9.287
Ingenio Manuelita	250.000	8.721
Ingenio Mayagüez	250.000	6.587
Ingenio Risaralda	100.000	3.004
Ingenio GPC	25.000	1.200

Los precios de los biocombustibles son fijados por el gobierno nacional mediante resoluciones. El Ministerio de Minas y Energía de Colombia por medio de la resolución No. 181490 del 30 de agosto de 2012, fijó el precio del galón de Biodiesel en \$8.965,3 y el de bioetanol en \$ 7.949,81. El precio del biodiesel se fijado de acuerdo a la ecuación descrita en el decreto No. 181966 del 24 de noviembre de 2011 fijando el ingreso como

$$I_{P_{PUMD}} = \{PI_{AP} + [(FPE_{USD} + FMeOH)/(\beta * 42)]\} * IRM + FPE_{COL} \quad (1)$$

donde:

- $I_{P_{PUMD}}$ : Ingreso al productor del biocombustible por venta del biodiesel en condiciones estándar.  
 $PI_{AP}$ : Precio internacional del aceite de palma ajustado por calidad expresado en dólares por galón.  
 $FPE_{USD}$ : Factor de producción eficiente del biocombustible correspondiente a factores de producción de origen extranjero. (US\$ /t) y fijado en US\$35 por tonelada.  
 $FMeOH$ : Precio internacional del metanol.  
 $\beta$ : Factor de conversión de toneladas métricas a barriles. (7.217 barriles por tonelada métrica).  
 42: Factor de conversión de barril a galón  
 TRM: Promedio de la tasa representativa del mercado, vigente para los cinco días hábiles anteriores a la fecha del cálculo.  
 $FPE_{COL}$ : Factor de producción eficiente del biocombustible correspondiente a factores de producción de origen colombiano y expresado en pesos colombianos por tonelada de biocombustible (\$/t).

Por su parte, la ecuación definida para el cálculo del precio de alcohol carburante descrita en la Resolución No. 180515 de abril 1 de 2009 es

$$EqAC = \left[ AzNY * FC1 * FC * \frac{TRM}{FC3 * FC4} \right] \quad (2)$$

donde:

- EqAC: Valor equivalente del alcohol expresado en pesos por galón en el periodo t.  
 AzNY: El promedio de cotizaciones de cierre de la posición más cercana del azúcar crudo en la bolsa de Nueva York para los 25 días del mes anterior, expresadas en centavos de dólar por libra por tonelada (USCet\$/Lb).  
 FC1: Factor de conversión de centavos de dólar por libra tonelada a dolares por tonelada (22.046) (US\$/t).  
 FC2: Factor de conversión de galones a litros (3.785).  
 TRM: Promedio de la tasa representativa del mercado, vigente para los 25 días hábiles anteriores a la fecha del cálculo.  
 FC3 : Factor de conversión entre quintales de azúcar y toneladas de azúcar (20).  
 FC4: Factor de rendimiento entre alcohol y azúcar, expresado en litros equivalentes de alcohol por quintal de azúcar, (21,86).

Los precios de los biocombustibles han presentado un mejor desempeño respecto a los productos alimentarios, efecto que ha incentivado a los productores a realizar un cambio en el uso de los suelos, es de interés

entonces, estudiar dicho fenómeno y su influencia en la inestabilidad en la oferta de alimentos de la canasta básica (Arango y Torres, 2008). Sin embargo, de forma adicional se deben tener en cuenta otros factores que afectan la seguridad alimentaria como: inadecuado consumo de alimentos, limitaciones para el acceso a los alimentos e inadecuado aprovechamiento y utilización biológica de los alimentos (Giraldo, 2013).

Son diversos los factores que afectan la estabilidad de la oferta de los alimentos; algunos de ellos se asocian a la estacionalidad de los cultivos, la decisión de los productores en el caso de los cultivos transitorios (basada en la rentabilidad obtenida en la cosecha anterior), la determinación del precio basada en los índices internacionales, la incertidumbre en la tasa de cambio, el conflicto en el uso del suelo, cambios climáticos, entre otros (Machado, 2004; Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2004; Arango, 2006; Lambert y Miljkovic, 2010). Sin embargo, la disponibilidad de alimentos en Colombia registra un buen grado de autosuficiencia, aunque en los últimos años se ha desequilibrado la balanza comercial, debido a que no se cubre con la demanda de cereales. Entre el 2002 y 2008, el incremento de las importaciones colombianas fue de 33%, al pasar de 3,6 a 5,2 millones de toneladas (Giraldo, 2013).

La variación de la disponibilidad alimentaria se ve influenciada por factores como el uso de la tierra, el trabajo y el capital. En el factor tierra existe una subutilización de ésta, debido a que Colombia posee una superficie continental total de 114,17 millones de ha, de las cuales actualmente para la agricultura se destina 4,9 millones de ha, aunque su potencial corresponde a 21,5 millones de ha. Las tierras para uso forestal son de 21,6 millones de ha pero su uso actual es de 9,9 millones de ha. Por el contrario, la ganadería tiene un potencial de 20 millones de ha para ser explotadas, pero actualmente se están usando 38,6 millones de ha. Este exceso presenta un reto para las políticas públicas en términos de seguridad alimentaria (Restrepo, 2010).

En términos de cultivos, el 90% del área sembrada es usada para bienes de la canasta básica alimentaria. En contraste, la superficie destinada a los cultivos no alimentarios (algodón, tabaco, fique, flores, caña para etanol y palma para biodiesel) se encuentra en pequeña proporción, pues sólo representa el 2,5% del área total, el resto es dedicado a cultivos forestales (Restrepo, 2010).

**Metodología.** Se presenta una mirada holística que permita observar la interacción entre los sistemas relacionados con la seguridad alimentaria y los biocombustibles; como dos sistemas complejos de por sí, se dificulta la identificación de las interdependencias entre sus elementos, es decir, la falta de comprensión de las causas que provocan ciertos comportamientos (Moxnes, 1998).

El comportamiento de los sistemas complejos es determinado por su estructura (Morecroft, 2007; Sterman, 2000), la cual está definida por relaciones causa-efecto que conforman ciclos de realimentación. Muchas de las causas y efectos de determinadas acciones no son obvias ni directas, esto conlleva a que en ocasiones se puedan producir comportamientos contraintuitivos (Forrester, 1971; Sterman, 2000). Dadas las características del fenómeno, se propone el uso de modelos causales-descriptivos, los cuales permiten identificar ciclos de realimentación (de refuerzo y de balance), las interdependencias de las variables y los retardos considerables (Sterman, 2000; Stroh, 2009); además de que muestra de manera gráfica la complejidad del sistema.

Los diagramas causales son de suma utilidad puesto que posibilitan la identificación de puntos de palanca, los cuales puedan encauzar los sistemas a comportamientos deseados (Senge, 1990), lo que permite la evaluación de políticas. Las causas y efectos se describen por medio de flechas, donde la cola es la causa y la flecha el efecto. En la cabeza se encuentra la polaridad, la cual quiere describir el efecto que tiene la variable causa en su efecto. Las relaciones causales se denotan mediante las siguientes ecuaciones:

$$X \rightarrow +y \Rightarrow \frac{\partial y}{\partial x} > 0; X \rightarrow -y \Rightarrow \frac{\partial y}{\partial x} < 0 \quad (3)$$

Donde;

X: es la variable causal; y

Y: es la variable efecto.

El efecto que se genera sobre una variable es positivo si a un incremento de la causa genera un incremento en su efecto y es negativo si al incrementarse produce un decremento en la variable efecto.

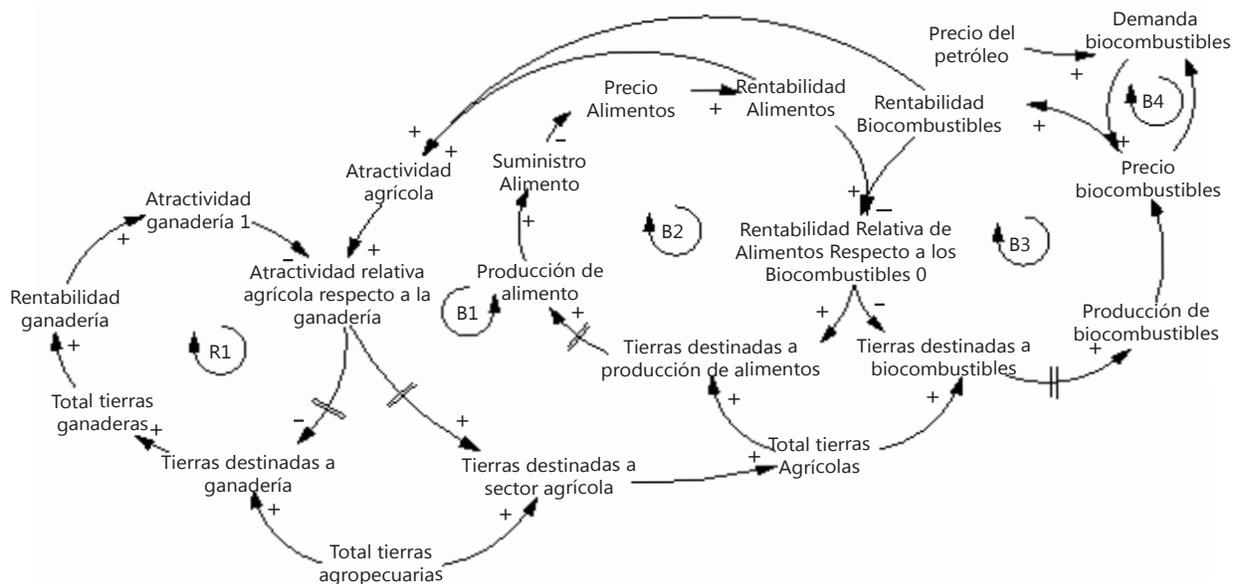
En este estudio se realizan los análisis a dos casos específicos dependiendo del tipo de mercado que se tenga para los biocombustibles. El primero en un mercado regulado por el gobierno, el cuál es el que

actualmente tiene el modelo colombiano, mientras que el segundo es uno no regulado, que se espera que sea adoptado en años posteriores. Estos esquemas se desarrollaron buscando plasmar la estructura del sistema real, de tal forma que explique las relaciones existentes entre los mercados de biomasa y alimenticios en estos dos tipos de escenarios y que al mismo tiempo sirvan como herramienta de comunicación y de aprendizaje (De Geus, 1988; Senge, 1990).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Mercado no regulado.** El diagrama parte de un sistema previamente analizado y simulado: la seguridad alimentaria en un país como Colombia (Giraldo, 2013). La hipótesis que se plantea para el mercado no

regulado, se encuentra esquematizada en el diagrama causal mostrado en la Figura 2. En este se evidencian las interrelaciones existentes entre los mercados de los biocombustibles y de la producción de alimentos. Al ser un sistema no regulado, se debe comprender primero que éstos se rigen por medio de mecanismos de asignación del mercado, llamado la ley de la oferta y la demanda. Este tipo de mercados ha sido experimentado por Brasil y según su concepción se rige por las leyes de mercado que asigna las cantidades a producir y de consumo por medio de las interacciones entre consumidores (demanda) y los productores (oferta) (Horta y Silva, 2013). El indicador del mercado es el precio, tanto para los consumidores como para los productores, por lo cual el precio incentiva el consumo si este es bajo, y a la producción cuando es alto.



**Figura 2.** Diagrama causal del mercado no regulado de biocombustibles vs. seguridad alimentaria.

La estructura de los mercados de alimentos y energía en un libre mercado se plantea cercano al arquetipo de escalada (ciclos B2 y B3) (Senge, 1990), debido a que estos dos bienes comparten factores de producción comunes, como la tierra, mano de obra, el capital, el agua entre otros. Para efectos del estudio, se toma la tierra disponible para la agricultura como el bien escaso que se debe distribuir entre estos dos bienes (Godfray *et al.*, 2010). El dilema se da en el ¿cómo se distribuye la tierra? (Nonhebel, 2005). Al no ser regulada, esta asignación la realiza el productor comparando las rentabilidades de los dos bienes, seleccionando la que

tenga una mayor atractividad (Arango y Torres, 2008). Este tipo de arquetipo puede generar una guerra entre estos bienes, perjudicando a los consumidores finales por medio de alzas de precios escaladas, lo que lleva a generar carencia de seguridad alimentaria (Zilberman *et al.*, 2013).

La variable decisoria planteada en el modelo es la rentabilidad relativa del biocombustible respecto a los alimentos y respecto a esta variable es que los agricultores toman la decisión de que bien producir. Estas rentabilidades están sujetas a los

precios de cada bien y a la estructura de costos. El precio de los biocombustibles se genera por las interacciones de la oferta y la demanda, mientras que el de los alimentos por ser un bien con características inelásticas (Londoño *et al.*, 2011), se comporta con la cantidad disponible del bien. El precio es la variable que genera la dinámica en la asignación de recursos para estas actividades. A una variación del precio de uno de los bienes se produce un cambio en la cantidad de tierra destinada para la producción de alimentos o de biocombustibles, por lo que se puede decir que el precio es una variable que actúa como palanca dentro del sistema (Pimentel *et al.*, 2009).

Otro factor clave y generador de dinámicas complejas en los sistemas socio-económicos y naturales son los retardos (Sterman, 2000); dentro de la hipótesis, se plantean entre otras las tierras destinadas para los bienes y la producción. Este tiempo se debe a que en los bienes agrícolas se tiene un periodo de maduración que depende del tipo de cultivo, pero que genera retrasos en la producción, induciendo a fenómenos oscilatorios en los sistemas (Arango, 2006), producidos por ciclos de balance y retardos (ciclo B2 y B3).

Adicional, es importante analizar la relación entre la ganadería y los bienes agrícolas. En Colombia existe una sobre explotación de la tierra, en cuanto a actividades pecuarias (Giraldo, 2013), en la Figura 2 se plantea una estructura que puede definir el comportamiento de esta interacción. El arquetipo que se propone para la

ganadería es el de crecimiento en S, en el cual se generan dos ciclos, uno de refuerzo y uno de balance, R1 y B1 respectivamente. El comportamiento que se espera es el de un crecimiento exponencial para luego estabilizarse (Senge, 1990). La variable crucial en la relación entre ganadería y agricultura sigue siendo la atractividad que tiene un sector respecto al otro. En este sentido la ganadería ha tenido una rentabilidad superior a la agricultura, lo cual ha generado que exista un mayor uso de tierra para esta actividad con respecto a la vocación actual de las tierras (Restrepo, 2010). Lo anterior ha conllevado a que haya una menor cantidad de tierras disponibles para el uso agrícola, lo que puede llevar a una falta de insumos para la producción alimentaria y de energía.

**Mercado regulado.** Las políticas actuales de Colombia con relación a la forma de incentivar la producción de biocombustibles, siguen un esquema de mercado regulado. El gobierno plantea dos formas de regulación: la primera relacionada con la rentabilidad de los productores y, la segunda, de garantizar la demanda. En la Figura 3 se observa como estas políticas se ven reflejadas en las variables incentivos fiscales y política de mezclas, respectivamente.

En el diagrama se evidencian los mismos mecanismos estructurales entre la ganadería y la agricultura del mercado no regulado, mientras que en el dilema por el uso de la tierra de vocación agrícola se da un cambio en la dinámica. Lo anterior debido a

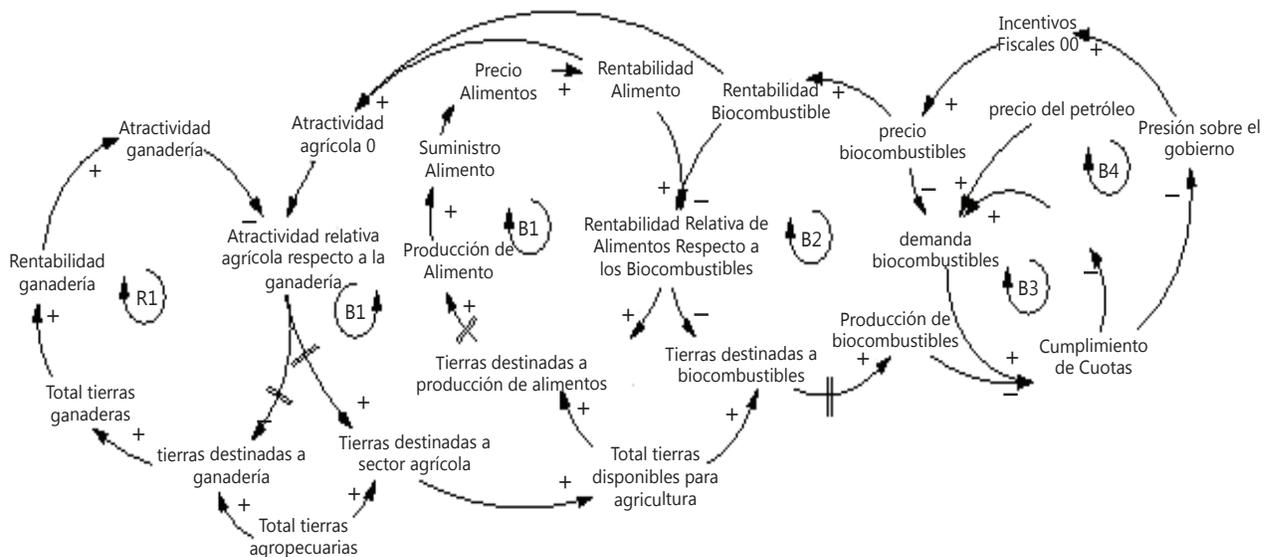


Figura 3. Diagrama causal del mercado regulado de biocombustibles vs. Seguridad Alimentaria.

que la demanda se encontraba determinada por el precio; dado que el gobierno interviene por medio de políticas de mezclas, imponiendo unas cuotas y garantizando una demanda mínima. De esta manera, el precio de los biocombustibles es determinado por unas políticas estatales, es decir, son independientes de los mecanismos del mercado. Como se observó en el mercado no regulado, el precio es el que genera la dinámica de asignación. Si se interviene el precio de los biocombustibles para que éstos sean atractivos para los productores, se puede esperar que los agricultores opten por realizar un cambio en su vocación y se pasen a la producción de biomasa (Borras, 2010; De Gorter *et al.*, 2013). Lo anterior crea un déficit en la producción agrícola, encareciendo precios y generando factores que contribuyen a la carencia de seguridad alimentaria. En resumen, con una solución energética, se produce un efecto colateral no contemplado con la política.

Los ciclos de balance B3 y B4 son la respuesta del gobierno en términos de regulación. El ciclo B3 permite el control de la demanda mediante políticas de mezclas entre el combustible puro y el biocombustible, mientras que el ciclo B4 son los incentivos del gobierno para aumentar la producción. Estos dos ciclos se comportan como un arquetipo de erogación de metas (Senge, 1990) en el que el gobierno relaja las cuotas de combustibles debido a que no se logran los objetivos impuestos por la regulación, en el caso colombiano, se observa como el Ministerio de Minas y Energía había propuesto unas metas de mezcla, pero debido a la falta de producción, ha rebajado dichas metas.

## CONCLUSIONES

Se realiza una mirada sistémica de la relación entre los biocombustibles y la Seguridad Alimentaria. Para esto se plantea una estructura en la que se aprecian los ciclos presentes en el sistema, y de forma holística, comprender el comportamiento y así poder prever efectos colaterales de una política pública en sistemas complejos como los sociales. En este caso, se plantean los ciclos que permiten evidenciar cómo al incentivar la producción de biocombustibles se puede generar un decrecimiento en la producción de alimentos debido a los mecanismos de elección del productor y estos ponen en riesgo la seguridad alimentaria de un país. En particular, la identificación de los puntos de palanca ayudan a determinar políticas que conlleven a mejorar los sistemas con un esfuerzo mínimo. El precio de los

biocombustibles genera una dinámica dentro del sistema agrario, ésta es la variable palanca que debe ser analizada dentro de un modelo de simulación y ver su efecto en la producción de alimentos.

Los retardos deben ser considerados en este tipo de modelos debido a que los efectos en la Seguridad Alimentaria en Colombia pueden tomar tiempo; el mercado es relativamente nuevo y la estructura del sistema posee ciertos mecanismos que hacen que algunos cambios no sean inmediatos como en el caso de la producción de biocombustibles.

El análisis sistémico se plantea como una primera aproximación para el estudio del efecto de los incentivos a los biocombustibles sobre la Seguridad Alimentaria en Colombia; sin embargo, este análisis no permite la cuantificación y evaluación de dichas políticas en el tiempo. Se plantea entonces la necesidad de desarrollar un modelo de simulación debidamente validado y calibrado para probar las hipótesis planteadas, y así poder no solo evaluar las políticas e incentivos actuales del efecto de los biocombustibles sobre la seguridad alimentaria, sino también por diseñar políticas adecuadas que lleven a un mejor comportamiento del sistema.

## BIBLIOGRAFÍA

Acosta, O. y A. Chaparro. 2009. Biocombustibles, seguridad alimentaria y cultivos transgénicos. *Revista Salud Pública* 11(2): 290-300.

Arango, S. 2006. Essays on commodity cycles based on expanded Cobweb experiments of electricity markets. Doctoral Thesis. Social Science Faculty. The University of Bergen, Norway. 16 p.

Arango, S. and A. Torres. 2008. Economic incidences of ethanol as biofuel in Colombia over the sugar cane products: a system dynamics approach. *Revista Avances en Sistemas e Informática* 5(2): 69-75.

Berrío, A.M. 2011. Modelo regional de producción y transporte de biocombustibles en Colombia. Tesis Magister en Ingeniería de Sistemas. Facultad de Minas – Escuela de Sistemas. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 132 p.

Borras, S.M. 2010. The politics of biofuels, land and agrarian change: editors' introduction. *The Journal of Peasant Studies* 37(4): 575-92.

- Carr, E. 2006. Postmodern conceptualizations, modernist applications: Rethinking the role of society in food security. *Food Policy* 31: 14-29.
- CORPOICA, IICA, y PROCIANDINO. 2010. La agroenergía en la Región Andina: situación actual y perspectiva. Alprigrama Ltda, Bogotá. 75 p.
- De Geus, A. 1988. Planning as learning. *Harvard Business Review* 66(2):70-74.
- De Gorter, H., D. Drabik and D.R. Just. 2013. How biofuels policies affect the level of grains and oilseed prices: theory, models and evidence. *Global Food Security* 2(2): 82-88.
- Demirbas, A. 2008. Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. *Energy Conversion and Management* 49(8): 2106-2116.
- Demirbas, A. 2009. Political, economic and environmental impacts of biofuels: a review. *Applied Energy* 86 Supplement 1: S108-S117.
- Ericksen, P.J., J.S. Ingram and D.M. Liverman. 2009. Food security and global environmental change: emerging challenges. *Environmental Science and Policy* 12(4): 373-377.
- Escobar, J.C., E.S. Lora, O.J. Venturini, E.E. Yáñez, E.F. Castillo and O. Almazan. 2009. Biofuels: environment, technology and food security. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13(6-7): 1275-1287.
- Ewing, M. and S. Msangi. 2009. Biofuels production in developing countries: assessing tradeoffs in welfare and food security. *Environmental Science and Policy* 12(4): 520-528.
- Falcon, W.P. and R.L. Naylor. 2005. Rethinking food security for the twenty-first century. *American Journal of Agricultural Economics* 87(5): 1113-1127.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2003. World agriculture: towards 2015/2030. An FAO perspective. Edited by J. Bruinsma. Earthscan Publications, London. 432 p.
- Fedebiocombustibles. 2011. Mitos y realidades de los biocombustibles en Colombia, [http://www.fedebiocombustibles.com/files/RevistaMitosyRealidades\(2\).pdf](http://www.fedebiocombustibles.com/files/RevistaMitosyRealidades(2).pdf). 26 p.; consulta: Julio 2012.
- Fedebiocombustibles. 2012. Cifras Informativas del Sector Biocombustibles. <http://www.fedebiocombustibles.com/v3/nota-web-id-488.htm>. consulta: Marzo 2013.
- Forrester, J.W. 1971. Counterintuitive behavior of social systems. *Theory and Decision* 2(2): 109-140.
- Garzón, S.C. y C. Hernández. 2009. Estudio comparativo para la producción de etanol entre *Saccharomyces cerevisiae* silvestre, *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 9763 y *Candida utilis* ATCC 9950. Universidad Tecnológica de Pereira, <http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/tesisdigitales/texto/66182G245.pdf>; 132 p. consulta: Julio 2012.
- Gerbens-Leenes, P., S. Nonhebel and M. Krol. 2010. Food consumption patterns and economic growth. Increasing affluence and the use of natural resources. *Appetite* 55(3): 597-608.
- Giraldo, D.P. 2013. Análisis de la dinámica de la seguridad alimentaria en un país en desarrollo -caso colombiano-. Tesis Doctoral. Escuela de Ingeniería. Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín. 208 p.
- Godfray, H.C.J., J.R. Beddington, I.R. Crute, L. Haddad, D. Lawrence, J.F. Muir, J. Pretty, S. Robinson, S.M. Thomas and C. Toulmin. 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science* 327(5967): 812-818.
- Hertel, T.W. and W.E. Tyner. 2013. Market-mediated environmental impacts of biofuels. *Global Food Security* 2(2): 131-137.
- Hoekstra, A. and A.K. Chapagain. 2007. Water footprints of nations. Water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resource Management* 21(1): 35-48.
- Horta, L.A. and R. Silva. 2013. Biofuels in Brazil: evolution, achievements and perspectives on food security. *Global Food Security* 2(2): 117-125.
- IICA. 2009. Crisis alimentaria en América Latina y el Caribe. Propuesta de acciones a nivel regional. Secretaría Permanente del SELA, Caracas. 45 p.
- IICA. 2010. Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las Américas: II Biodiesel. Programa Hemisférico en Agroenergía y Biocombustibles, San José. 377 p.
- Kim, G.R. 2009. Analysis of global food market and food-energy price links - based on system dynamics approach.

- pp. 1–18. In: 27th International Conference of the System Dynamics Society. Albuquerque, New Mexico, USA.
- Lambert, D.K. and D. Miljkovic. 2010. The sources of variability in U.S. food prices. *Journal of Policy Modeling* 32(2): 210–222.
- Latham, J.R. 2000. There's enough food for everyone, but the poor can't afford to buy it. *Nature* 404(6775): 222.
- Liao, W., R. Heijungs and G. Huppes. 2012. Natural resource demand of global biofuels in the Anthropocene: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(1): 996-1003.
- Londoño, D., E. Londoño y A. Ramírez. 2011. Un sistema casi ideal de demanda para el gasto en Colombia: Una estimación utilizando el método generalizado de los momentos en el período 1968-2007. *Ecología y Economía* 15(32): 39-58.
- Machado, A. 2004. *La academia y el sector rural*. Universidad Nacional de Colombia, Centro de Investigaciones para el Desarrollo, <http://books.google.com.co/books?id=W-ByG-clZSkC>. 210 p.; consulta: Agosto 2012.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2004. El agro colombiano frente al TLC con los Estados Unidos, <http://www.mincit.gov.co/tlc/publicaciones.php?id=12727>; consulta: Julio 2012.
- Ministerio de Minas y Energía. 2007. El programa de biocombustibles en Colombia, <http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/hidrocarburos/Programa.pdf>. 43p.; consulta: Septiembre 2012.
- Ministerio de Minas y Energía. 2011. Decreto 4892 del 23 de diciembre de 2011, <http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/archivosSoporteRevistas/8302.pdf>. 4 p.; consulta: Septiembre 2012.
- Morecroft, J. 2007. *Strategic modelling and business dynamics: a feedback systems approach*. John Wiley and Sons, West Sussex, England. 466 p.
- Moxnes, E. 1998. Not only the tragedy of the commons: misperceptions of bioeconomics. *Management Science* 44(9): 1234–1248.
- Naik, S.N., V.V. Goud, P.K. Rout and A.K. Dalai. 2010. Production of first and second generation biofuels: a comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14(2): 578–597.
- Nonhebel, S. 2005. Renewable energy and food supply: will there be enough land? *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 9(2): 191–201.
- Peters, J. and S. Thielmann. 2008. Promoting biofuels: implications for developing countries. *Energy Policy* 36(4): 1538–1544.
- Pimentel, D., A. Marklein, M.A. Toth, M.N. Karpoff, G.S. Paul, R. McCormack, J. Kyriazis and T. Krueger. 2009. Food versus biofuels: environmental and economic costs. *Human Ecology* 37(1): 1–12.
- Pruyt, E. and G. De Sitter. 2008. "Food or Energy?" Is that the question? pp. 1–20. In: *Proceedings of the 26<sup>th</sup> International Conference of the System Dynamic Society*, Athens, Greece.
- Quirke, D., R. Steenblik and B. Warner. 2008. *Biofuels – at what cost? Government support for ethanol and biodiesel in Australia*. Genova: International Institute for Sustainable Development, Geneva. 73 p.
- Rena, R. 2005. Challenges for food security in Eritrea: a descriptive and qualitative analysis. *African Development Review* 17(2): 193–212.
- Restrepo, J.C. 2010. *Una Política Integral de Tierras para Colombia*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Bogotá, [http://www.minagricultura.gov.co/archivos/ministro\\_jc\\_restrepo\\_tierras\\_2.pdf](http://www.minagricultura.gov.co/archivos/ministro_jc_restrepo_tierras_2.pdf); consulta: Septiembre 2012.
- Rosillo, F. and A. Walter. 2006. Global market for bioethanol: historical trends and future prospects. *Energy for Sustainable Development* 10(1): 20–32.
- Sandvik, S. 2008. Impacts of peak oil and food based biofuel production on long-term food security a dynamic policy model. University of Bergen, Bergen. 57 p.
- Sandvik, S., E. Moxnes and System Dynamics Group. 2008. Peak oil, biofuels, and long-term food security. In: *Proceedings of the 27th International Conference of the System Dynamics Society*, Homeland Security, Albuquerque, New Mexico, USA. 180 p.
- Senge, P. 1990. *The fifth discipline: the art and practice of the learning organization*. Doubleday, USA. 445 p.
- Smith, M., J. Pointing and S. Maxwell. 1992. *Household food security, concepts and definitions: an annotated*

bibliography. University of Sussex, Brighton, [http://web.ifad.org/gender/tools/hfs/hfspub/hfs\\_3.pdf](http://web.ifad.org/gender/tools/hfs/hfspub/hfs_3.pdf). 58 p.; accessed: August 2012.

Sterman, J.D. 2000. Business dynamics. McGraw Hill, New York. 1.008 p.

Stroh, D. 2009. A system view of the economic crisis. *The Systems Thinker* 20(1): 10–12.

World Wildlife Fund (WWF). 2007. Allocating scarce water. A WWF primer on water allocation, water rights and water markets. WWF, Godalming, UK. 44 p.

Zilberman, D., G. Hochman, D. Rajagopal, S. Sexton and G. Timilsina. 2013. The impact of biofuels on commodity food prices: assessment of findings. *American Journal of Agricultural Economics* 95(2): 275-281.