

Una aproximación desde la DS a la liberación del Mercado de los Biocombustibles en Colombia

An SD approach to assess the liberalization of biofuels market in Colombia

Sebastián Zapata R. Ing., Carlos J. Franco C. PhD., Isaac Dyner R. PhD.
Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín
szapatar@unal.edu.co, cjfranco@unal.edu.co, idyner@unal.edu.co

Resumen— La producción mundial de biocombustibles se ha venido incrementando en los últimos años, debido a que diferentes países alrededor del mundo han venido explorando alternativas para remplazar parte de su demanda de combustibles fósiles. Esto se debe a los altos precios del petróleo y alta volatilidad producida por una alta dependencia de este. Los biocombustibles traen también beneficios ambientales, ya que su cadena de suministro emite menos CO_2 que los combustibles fósiles y beneficios sociales ya que para obtener las materias primas se generan empleos.

Para este artículo se hace uso de un modelo de dinámica de sistemas con el fin analizar las políticas actuales de la producción de biocombustibles en Colombia, y se estudia como ha crecido su producción. Se analizan posibles escenarios de la posibilidad de quitar los subsidios (dejando la posibilidad de liberar el mercado) y una reducción parcial de los incentivos. En este artículo se concluye que Colombia tiene un buen potencial interesante en la industria de los biocombustibles.

Palabras Clave—dinámica de sistemas, incentivos, libre mercado, etanol y biodiesel.

Abstract— Global Biofuels production have been increasing in recent years as different countries worldwide have been exploring alternatives to oil. This is due to the hike of oil prices and its increasing volatile as well as both the high dependence of the transport sector on oil and also because, arguably, the supply chain of biofuels emit less CO_2 than fossil fuels.

This research makes use of a system dynamics model to analyze the current dominating policies aiming at increasing biofuel productions in Colombia. Some of the scenarios assess the possibility of removing subsidies (that is, leaving decision to an open market) and a partial reduction of incentives. This paper concludes that Colombia has an interesting biofuels potential.

Keywords— Systems dynamics, Incentives, free market, ethanol and biodiesel.

1. Introducción

El mundo está pasando por problemas críticos como los son los altos precios de los combustibles fósiles, gran cantidad de emisiones de CO_2 y cambios climáticos, esto es debido a la dependencia que se tiene hacia fuentes de energía no renovables como lo son los combustibles fósiles (Demirbas 2009), por estas razones Gobiernos nacionales de diferentes países han decido explorar en fuentes alternativas de energía como lo son los biocombustibles (Bozbas 2008; Sorda, Banse, and Kemfert 2010). Esto ha motivado que los costos de producción de los biocombustibles hayan disminuido, lo cual los convierte una solución competitiva para la producción de energía para los años que vienen (Lamers, McCormick, and Hilbert 2008).

Dentro de los biocombustibles encontramos el etanol y el biodiesel; el etanol proviene de azúcares vegetales, los cultivos predominantes a nivel mundial para la producción de estos son, caña de azúcar, maíz y remolacha azucarera (Bomb et al. 2007; Sorda, Banse, and Kemfert 2010), el biodiesel proviene de aceites vegetales y grasas animales, entre los principales cultivos para la producción de biodiesel se encuentran soja, palma de aceite, jatropha y sorgo dulce (de Wit et al. 2010). Estos cultivos también son utilizados para la producción de alimentos, por lo cual un aumento en la producción de los biocombustibles de una forma no controlada afecta el precio de los alimentos (Johnston and Holloway 2007; Mitchell 2008; Sorda, Banse, and Kemfert 2010), como sucedió con el precio del maíz en Estados Unidos, debido a un mal control que se hizo al plan de producción de etanol, se produjo un aumento en el precio de maíz (Timilsina and Shrestha 2011). Se tiene también biocombustibles que provienen de otras fuentes alternativas las cuales no compiten con la producción de alimentos y son conocidos como biocombustibles de segunda y tercera generación; aunque con su desarrollo actual no

son rentables y no podrían competir con los combustibles fósiles (de Wit et al. 2010). En la **Figura 1** se muestra el proceso de producción de los biocombustibles, el cual empieza con la obtención de la materia prima, y luego se usa un catalizador para la producción de biodiesel, y para el caso del etanol se fermenta el azúcar (Hira and de Oliveira 2009).

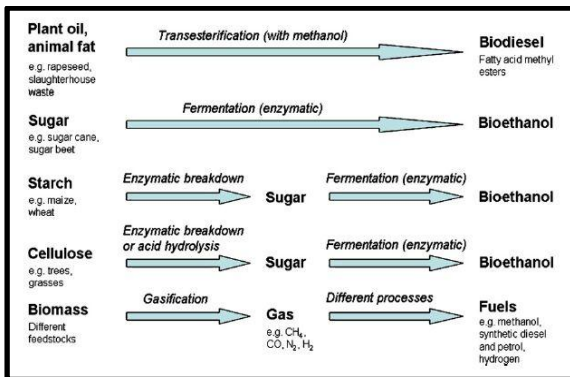


Figura 1. Proceso de producción de etanol. Fuente: Bomb, et al 2007.

El etanol y el biodiesel pueden ser usados en vehículos convencionales. El biodiesel ha sido usado de forma pura o en mezclas en vehículos diesel. La mezcla entre el biodiesel y el diesel es conocida como B#, donde el B indica que es biodiesel y el # indica el porcentaje de biodiesel en la mezcla (por ejemplo B10 indica que se tiene una mezcla de 10% biodiesel y 90% diesel), esto es similar con el etanol, una mezcla de 10% de etanol y 90% de gasolina es conocida como E10 (Bomb et al., 2007; Szklo, Schaeffer, & Delgado, 2007a).

En autos convencionales la mezcla máxima de etanol que se soporta es E20 ya que mayores mezclas requieren un cambio en el motor del vehículo, existen vehículos llamados Flex-Fuel que soportan mezclas de E85 (Bomb et al. 2007), y en Brasil existen vehículos Flex-Fuel E100 que soportan un 100% de etanol (Coelho et al. 2006; Szklo, Schaeffer, and Delgado 2007b).

El uso de los biocombustibles en mezclas con los combustibles fósiles tiene tanto ventajas como desventajas, las cuales se muestran a continuación.

Ventajas: el uso de biocombustibles disminuye las emisiones de CO₂, al usar mezclas de etanol se presenta un mayor octanaje en los vehículos (Pacini & Silveira, 2011), el uso del biodiesel presenta menos emisiones de sulfuro, y los biocombustibles son biodegradables (Bomb,

McCormick, Deurwaarder, & Kåberger, 2006; National Biodiesel Board, 2010).

Desventajas: El uso del biodiesel tiene un problema de solidificación en ambientes fríos y se presenta una reducción de la densidad de la energía (Bomb, McCormick, Deurwaarder, & Kåberger, 2006), La principal desventaja del uso del etanol es que se tiene un menor rendimiento por kilómetro en la misma cantidad de volumen que la gasolina, para mezclas de E100 se tiene un rendimiento del 70% respecto al rendimiento de la gasolina, y en mezclas de E85 se tiene un rendimiento del 74% (Goettemoeller, 2007).

1.1 Mercado Internacional de los biocombustibles.

En los últimos años la producción de biocombustibles ha tenido un crecimiento exponencial, debido a que diferentes países como Estados Unidos, Brasil, Argentina y la Unión Europea han invertido en planes para la producción y el consumo de biocombustibles (Lamers, McCormick, and Hilbert 2008), estos planes han tenido éxito ya que se han establecido las condiciones necesarias para el crecimiento de la industria de los biocombustibles, como lo son la creación de incentivos, la reducción de impuestos y ofrecer una demanda segura y un precio regulado que asegure la rentabilidad a la hora de vender (Bomb et al. 2007; Demirbas 2009), luego de tener la industria desarrolla se procede a liberar el mercado quitando lentamente los incentivos antes otorgados, y poniendo a competir los biocombustibles con los combustibles fósiles, lo cual lleva a que se dé una fuerte inversión del capital privado y se tenga una reducción de los costos de producción y esta aumente, como ejemplo tenemos a Brasil que en 2009 fue el mayor exportador de etanol a nivel mundial (Hira and de Oliveira 2009; Lamers et al. 2011).

En la **Figura 2** se muestra el crecimiento de la producción de etanol.

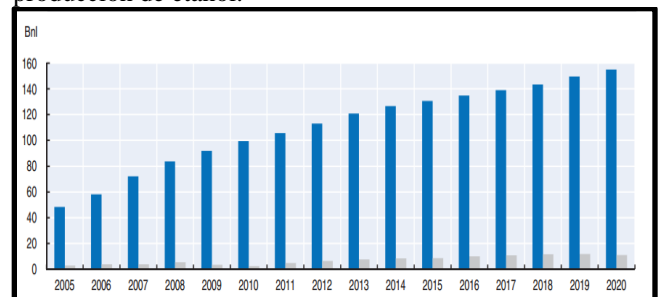


Figura 2 Desarrollo de la producción mundial de etanol entre 2005 y 2020 en billones de litros. Fuente OECD-FAO 2011.

En la **Figura 3** se muestra el crecimiento de la producción de etanol.

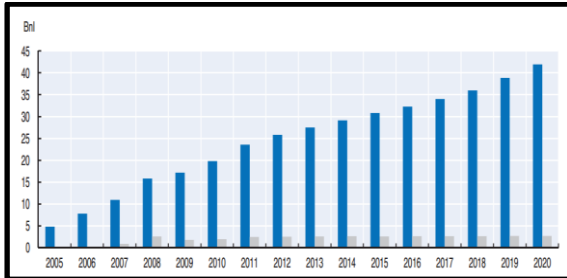


Figura 3 Desarrollo de la producción mundial de biodiesel entre 2005 y 2020 en billones de litros. Fuente OECD-FAO 2011.

El mercado internacional de los biocombustibles se da gracias a que en varios países se implementaron planes para el consumo de biocombustibles y estos no tienen la capacidad para su producción debido a restricciones de tierra o sus condiciones climáticas, es el caso de Japón, Corea, Suecia y algunos países de la Unión Europea (M Junginger et al. 2008; Lamers, McCormick, and Hilbert 2008).

Ya que se tiene esta oportunidad de negocio se cuenta también con países que poseen una gran capacidad para la producción de biocombustibles y que tienen muy bajos costos de producción lo cual que la industria local se expanda debido a que se tiene una demanda para exportar, este es el caso de Brasil en el etanol; de Argentina y la Unión Europea en el caso del biodiesel (Coelho et al., 2006; Lamers et al., 2011).

En las **Figuras 4 y 5** se muestra como fue el flujo de importaciones y exportaciones de etanol y biodiesel a nivel mundial en el año 2009.

En la **Figura 4** se observa como fue el tráfico de importaciones y exportaciones de etanol a nivel mundial en el año 2009 y se observa como la mayor parte de las exportaciones salen de Brasil.

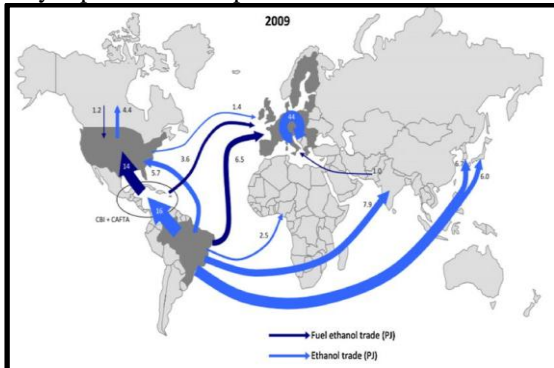


Figura 4. Tráfico exportaciones e importaciones Etanol año 2009 Fuente: Lamers, et al, 2011.

En el caso del biodiesel, Argentina se ha convertido en un gran exportador de biodiesel, la

mayor parte de su producción es dedicada a la exportación (Lamers, et al, 2011), y a pesar de un aumento del biodiesel en la demanda interna Argentina sigue siendo uno de los mayores exportadores de biodiesel del mundo (James, 2010). El biodiesel exportado de Argentina tiene como destino la Unión Europea y Estados Unidos. Entre otros países exportadores de biodiesel encontramos a Indonesia, Canadá y Malasia.

En la **Figura 5** se observa como es el tráfico de las importaciones y exportaciones de biodiesel, se puede observar que la mayoría de las exportaciones realizadas por Argentina en el año 2009 fueron hacia la Unión Europea, se observa que entre los países de la Unión Europea se tiene gran comercio de Biodiesel.

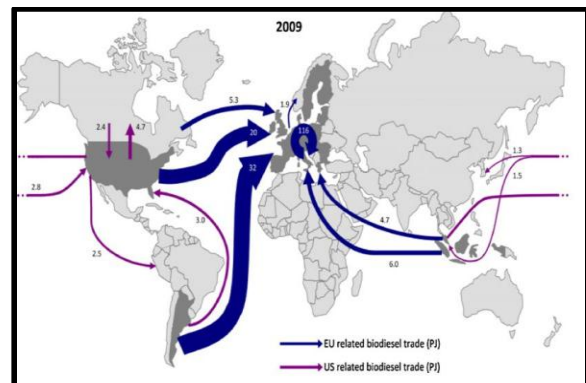


Figura 5. Tráfico de importaciones y exportaciones Biodiesel 2009 Fuente: Lamers, et al 2011.

En la sección 2 de este artículo se muestra el estado actual de los biocombustibles en Colombia, en la sección 3 se aborda la literatura de biocombustibles y dinámica de sistemas, en la sección 4 se analiza cómo se desarrolló el modelo, finalmente en la sección 5 se analizan las políticas implementadas en el modelo y por último en la sección 6 se presentan las conclusiones y el trabajo futuro.

2. Biocombustibles en Colombia.

Colombia es un país que posee características para la producción de biocombustibles, entre las cuales se encuentran: una alta cantidad de tierras disponibles para la siembra de las materias de biocombustibles sin ver afectado su producción de alimentos, ni sus bosques nativos; las condiciones climáticas necesarias, una industria azucarera y aceitera con una larga experiencia (Arias, 2007). Con lo cual el estado Colombiano promulgó la ley 693 para la producción de los biocombustibles en el país (Congreso de la república de Colombia, 2001). En esta ley se definen los incentivos y

exención de impuestos que se dan a la producción de biocombustibles y se establece el porcentaje de mezcla en ciudades con más de 500.000 habitantes. Entre los incentivos más importantes encontramos un precio que viene regulado para asegurar la rentabilidad para el productor y se da un porcentaje de mezcla obligatorio (Ministerio de Minas y Energía 2009).

2.1 Producción de biocombustibles en Colombia

En Colombia para la producción de etanol se utilizan como materias primas: el azúcar de la caña de azúcar y la yuca amarga; y para la producción biodiesel se utiliza el aceite de palma africana (Fedebiocombustibles 2011). En las **Tablas 1 y 2** se muestran las plantas productoras de biodiesel y etanol en Colombia.

Plantas de Refinación	Ubicación	Capacidad lt/día
Oleoflores	Codazzi, Cesar	168.719
Odin Energy	Santa Marta, Magdalena	121.477
Biocombustibles Sostenibles del Caribe	Santa Marta, Magdalena	337.437
Bio D	Facatativá, Cundinamarca	337.437
Ecodiesel de Colombia S.A.	Barrancabermeja, Santander	337.437
Aceites Manuelita S.A.	San Carlos de Guaroa, Meta	337.437
Clean Energy	Santa Marta, Magdalena	116.000

Tabla 1 Plantas de producción de Biodiesel en Colombia. Fuente: FedeBiocombustibles 2011.

Planta de Refinación	Ubicación	Capacidad lt/día
Incauca	Miranda, Cauca	300.000
Providencia	Palmira, Valle	250.000
Manuelita	Palmira, Valle	250.000
Mayagüez	Candelaria, Valle	150.000
Risaralda	La Virginia, Risaralda	100.000
GPC	Puerto López, Meta	25.000

Tabla 2 Plantas de producción de Etanol en Colombia. Fuente: FedeBiocombustibles 2011.

2.2 Planteamiento del Problema

La producción de biocombustibles en Colombia siempre busca satisfacer la totalidad de la demanda (Minas 2008), esto se debe a que se tienen los suficientes incentivos para estimular el crecimiento en la industria a tal punto de que se logre cumplir con los porcentajes de mezcla impuestos por el gobierno Colombiano, aunque en Colombia se logra cubrir la totalidad de la demanda interna de biocombustibles, no se ha llegado a aumentar la producción a tal punto que se pueda exportar y con lo cual Colombia llegue a ser considerado un gran productor de biocombustibles, desaprovechando así un oportunidad que puede ayudar a crecer en los sectores económicos y ambientales (Johnston and Holloway 2007). En el caso de que Colombia si se sigue con la ley de producción actual de biocombustibles se podría presentar un déficit en la producción con lo cual no se cubriría la demanda interna (Ministerio de Minas, 2011).

En la **Tabla 3** se observa el porcentaje de mezcla que se podría cumplir si el crecimiento de la industria sigue con la tendencia actual, se aprecia que no es posible cumplir el porcentaje de mezcla propuesta por el estado, ni mucho menos convertirse en un país exportador de biocombustibles.

2011	2012	2015	2020
B8	B7	B6	B5
E7	E11	E11	E10

Tabla 3. Porcentaje de mezcla que se puede cumplir con el crecimiento actual de la industria. Fuente: Infante, 2009.

Según lo anterior se quiere encontrar las razones por las cuales no se tiene un crecimiento en la industria suficiente para lograr que Colombia exporte y sea un gran productor a nivel mundial de biocombustibles (Minas, 2011).

Se analizará cuál es el efecto de aumentar el porcentaje de crear un libre mercado en la industria de los biocombustibles en el cual se pueda importar y exportar, y este será comparado.

En la siguiente sección se describen algunas investigaciones que se realizaron con dinámica de sistemas sobre biocombustibles.

3. Biocombustibles y Dinámica de Sistemas

La dinámica de sistemas ha utilizada para ver el comportamiento y la entrada de energías limpias, biomasa y biocombustibles (Tesch et al., 2003, Flynn and Ford, 2005), este el caso del estudio que

se hizo en Sudáfrica sobre la producción de los biocombustibles, donde se tuvieron en cuenta las políticas que se pueden aplicar y cuál sería el efecto de estas en la industria de biocombustibles en Sudáfrica y esto como afectaría las tierras disponibles para el cultivo, el empleo entre otras. (Mussango et al.,2010)

En Estados Unidos se hizo un trabajo sobre el impacto del biodiesel en el costo de la materia prima la cual es la soya, el límite del crecimiento de los biocombustibles hasta donde deben crecer y como lo deben hacer utilizando un modelo de dinámica de sistemas (Bantz, Deaton, 2006).

En Colombia se han desarrollado trabajos de biocombustibles y dinámica de sistemas entre los cuales se encuentran un análisis a la cadena de suministro de los biocombustibles, en las cuales se analizan precios, rentabilidad, rendimiento, tipo de cultivo y cuál es la mejor elección en Colombia para la producción de biocombustibles (Ochoa, Flórez, Franco, 2008). Se desarrolló un trabajo sobre el impacto en la industria de los biocombustibles si se tiene una variación en los incentivos que se tienen hacia la producción de los biocombustibles (Flórez, Franco 2011). Se desarrollo un trabajo sobre como es la incidencia del etanol sobre los derivados de la caña de azúcar (Arango,Torres, 2008), se desarrolló un trabajo sobre el efecto de la producción de etanol, en el precio y consumo de la caña panelera (Orjuela, et al, 2011).

Los resultados reportados en este artículo provienen de un modelo desarrollado por los autores que considera la liberación del mercado del etanol en Colombia para analizar en el largo plazo los efectos de dicha liberalización del mercado del etanol en Colombia.

4. Descripción del Modelo.

En esta sección se analiza el mercado de los biocombustibles en Colombia mediante un modelo de dinámica de sistemas, donde la inversión en la capacidad de refinación de cultivos, y la demanda de biocombustibles se modelan. La **Figura 6** muestra la hipótesis dinámica para un libre mercado de los biocombustibles.

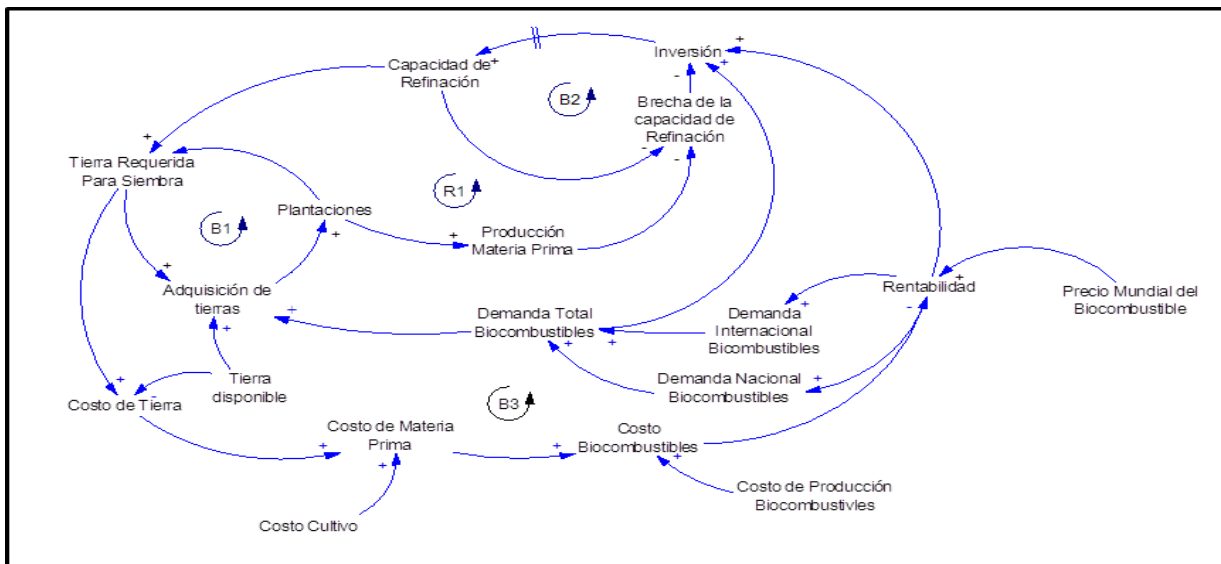
Las materias primas para la producción de etanol en Colombia son la caña de azúcar y la yuca amarga y como materia prima para la producción del biodiesel en Colombia se tiene la palma de aceite (Fedebiocombustibles 2011).

Como se puede observar en la **Figura 6** (Ciclo 1) dependiendo de la cantidad de tierra requerida para siembra, se presentaran en mayor proporción la adquisición de tierras con lo cual se obtienen mayores plantaciones, al tener mayores plantaciones se tiene una menor cantidad de tierras requeridas, obteniendo así el ciclo B1.

La capacidad de refinación afecta la brecha en capacidad de refinación, se tiene una mayor brecha se presenta una menor inversión en capacidad, y al tener una menor inversión en capacidad se tiene una menor capacidad de refinación, obteniendo una menor brecha, de esta forma se obtiene el ciclo B2.

A mayor brecha de capacidad de refinación, se disminuye la inversión, la inversión aumenta la capacidad de refinación, y a una mayor necesidad de tierras requeridas se adquieren más tierras, se tienen mayores plantaciones y se presenta un aumento de la producción de materia prima y luego esto disminuye la brecha, obteniendo así el Ciclo R1

Figura 6. Hipótesis dinámica del libre mercado de los biocombustibles en Colombia.



A mayor inversión en capacidad de refinación se tiene una mayor cantidad de tierra requerida para siembra, a una mayor cantidad tierra requerida para siembra se tiene un aumento en el costo de la tierra afectando así el costo de la materia prima y el costo de los biocombustibles, se tiene una menor rentabilidad con lo cual se presenta una menor inversión ciclo B3.

4.1 Ecuaciones del Modelo

Se utilizó un modelo acerca de la inversión en cultivos y refinación, así como un modelo *logit* para modelar la demanda de biocombustibles, las principales ecuaciones se muestran a continuación.

La capacidad de cultivos depende de la inversión y la salida de los cultivos, C es capacidad de los cultivos, P son las nuevas plantaciones para aumentar la capacidad del cultivo. La CO representa salida de los cultivos tienen un tiempo de renovación de 25 años.

$$\frac{DC}{DT} = P - CO$$

La capacidad de refinación depende de la inversión en nueva refinación y la depreciación de la capacidad de refinación, en este se tiene que R es capacidad de refinación, RI es nueva inversión en refinación, y RCP la cual significa capacidad de refinación en depreciación

$$\frac{DR}{DT} = RI - RCP.$$

La nueva inversión en refinación RI que depende de la Brecha en cultivos GC, y la capacidad de cultivos CC y los rendimientos de los cultivos RE

$$RI = \frac{Max(BC - GC, 0)}{RE}$$

Se presenta también un modelo logit para la demanda de etanol, donde se tiene un parámetro γ el cual afecta la decisión dándole un mayor peso de elección al producto más barato si este es negativo (Fox et al. 2012), en esta ecuación se tiene que BD es el porcentaje de la demanda de etanol, FP es el precio de la gasolina, FPP es el rendimiento de la gasolina, BP es el precio del etanol y BPP es el rendimiento del etanol.

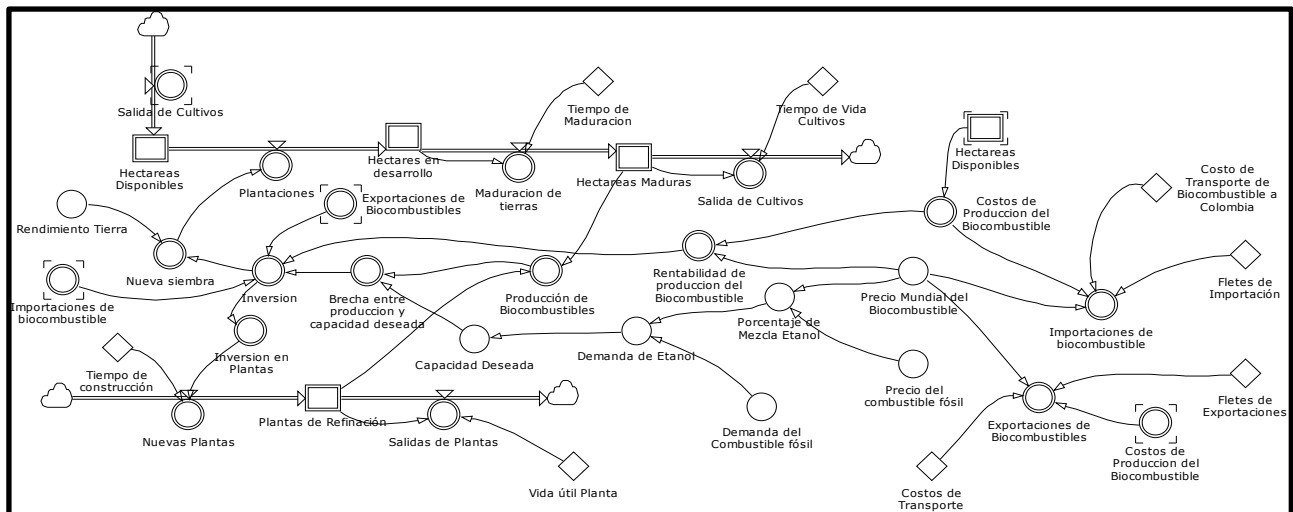
$$BD = \frac{\frac{BP^\gamma}{BPP}}{\left(\frac{BP^\gamma}{BPP}\right) + \left(\frac{FP^\gamma}{FPP}\right)}$$

4.2 Diagrama de Flujos y niveles

En la **Figura 7** se muestra el diagrama de flujos y niveles resumido.

En este diagrama se puede observar que el mercado tiene el potencial de crecer hasta que se presente un agotamiento de las tierras disponibles, las tierras disponibles se organizan de mayor a menor rendimiento, cuando se acaba la tierra de mayor rendimiento entra otra de menor rendimiento la cual aumenta los costos de producción, se tienen exportaciones si el mercado internacional es rentable y se tiene un margen de producción, y si es rentable exportar se invierte en nuevas plantas, en el caso de las importaciones se presentan importaciones si se tiene un menor costo a la hora de traer el biocombustible en Colombia, que producirlo en Colombia.

Figura 7 Diagrama de flujos y niveles resumido.



5. Análisis de políticas y resultados previos

En la actualidad el mercado de los biocombustibles en Colombia es Regulado por el gobierno Colombiano (Congreso de Colombia, 2004), el gobierno Colombiano regula el precio del etanol y del biodiesel; y el porcentaje de mezcla entre la gasolina y el etanol; así como el porcentaje de mezcla entre el biodiesel y el diesel (Demirbas 2009), los respectivos porcentajes de mezcla con B10 y E10 (Ministerio de Minas, 2012), se esperaba que a partir de 2012 entraran los vehículos Flex-fuel en Colombia, pero esto fue suspendido (Ministerio de Minas, 2011). Para este trabajo se consideran cuatro escenarios para analizar la posible evolución del mercado actual del etanol y el caso de que se tuviera un mercado liberalizado.

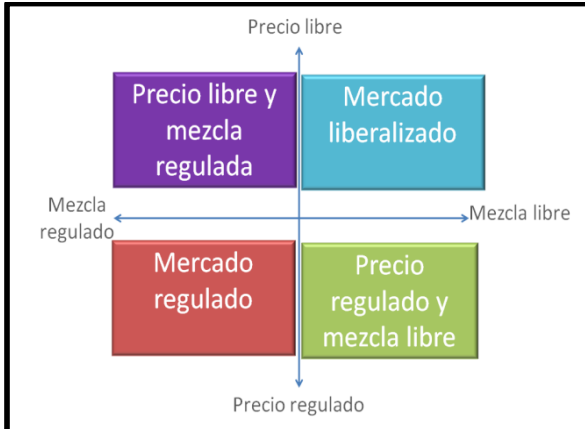


Figura 8. Escenarios para el análisis del mercado de los biocombustibles.

Mercado liberalizado: El precio de los biocombustibles viene dado por el precio internacional ya que estos son un *commodity*, y la demanda de biocombustibles es endógena, en este escenario están permitidas las importaciones y exportaciones de biocombustibles.

Precio libre y mezcla regulada: el precio de los biocombustibles viene dado por el precio internacional de este, y el porcentaje de mezcla viene dado por el gobierno Colombiano, este escenario no será analizado en este artículo.

Mercado Regulado: El precio y el porcentaje de mezcla son impuestos por el gobierno (variables exógenas). Este escenario es el escenario base.

Precio Regulado y mezcla libre: El precio viene dado por el gobierno y la demanda de biocombustibles es una variable endógena, este escenario no será analizado en este artículo.

5.1 Escenario Base Mercado Regulado

En este escenario se tiene que los porcentajes de mezcla son dados por el gobierno Colombiano y corresponden a B10 y E10, el precio de los biocombustibles, es dado también por el gobierno Colombiano.

En la **Figura 9** se muestra el escenario base para el mercado del etanol y se observa que la producción siempre persigue la demanda y la alcanza durante todo el periodo de simulación.

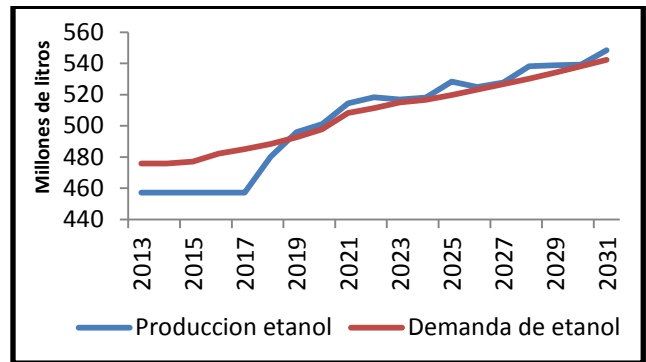


Figura 9. Producción de etanol vs demanda de etanol escenario Base.

En la **Figura 10** se muestra el escenario base para el mercado del biodiesel y se observa que la producción siempre persigue la demanda y la alcanza durante la mayor parte del periodo de simulación.

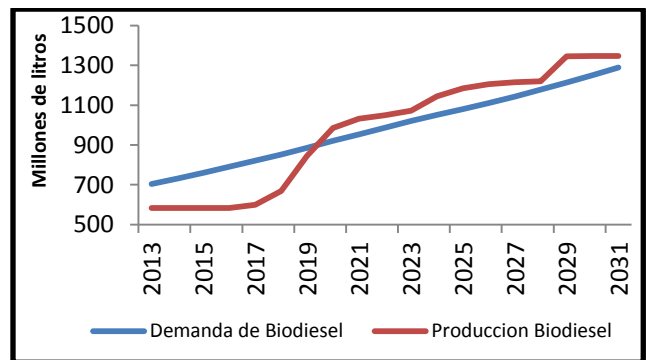


Figura 10. Producción de biodiesel vs demanda de biodiesel escenario Base.

5.2 Mercado Liberalizado

En este escenario el porcentaje de mezcla de los biocombustibles y el precio son no regulados por el gobierno, el porcentaje de mezcla corresponde a la elección del usuario el cual puede elegir entre E0, E20 y E85 en el caso del etanol y que el vehículo sea FFV, y si el vehículo no es FFV el

usuario puede elegir entre E0 y E20, E20 es la mezcla máxima en los vehículos que funcionan a gasolina sin afectar el motor, y para el caso del biodiesel el usuario tiene la posibilidad de elegir entre B0 y B20, B20 es la mezcla máxima en los vehículos que funcionan con diesel (Coronado, deCarvalho, Yoshioka, & Silveira, 2009). El precio de los biocombustibles corresponde al precio internacional de los biocombustibles más los costos de transporte e impuestos, y al productor de biocombustibles se le paga el precio internacional y con base en la rentabilidad se realiza la inversión en capacidad de refinación de biocombustibles.

En la **Figura 11** se observa, como se comporta la producción y la demanda de etanol, en un mercado liberalizado y se muestra como la producción de etanol alcanza a satisfacer en el año 2021.

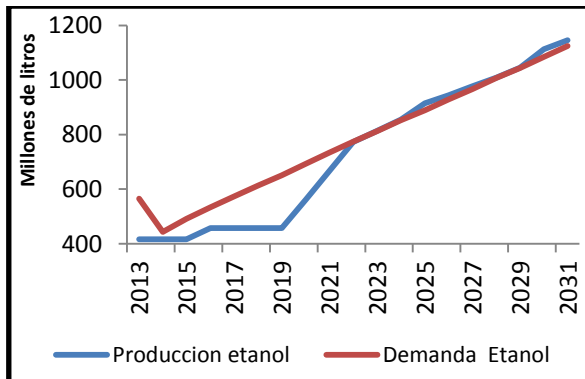


Figura 11. Producción de etanol vs Demanda de etanol mercado liberalizado.

En la **Figura 12** se observa, como se comporta la producción, la demanda, se logra observar que se tiene una baja demanda de biodiesel y esta es cubierta durante todo el periodo de simulación

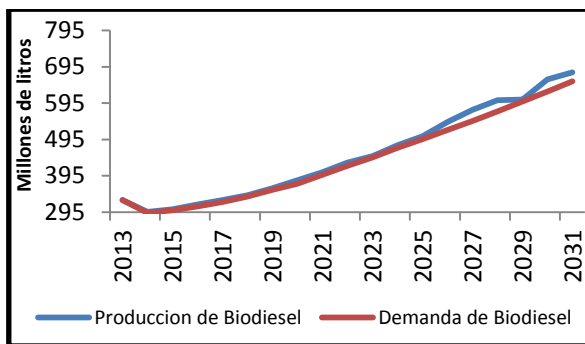


Figura 12. Producción de biodiesel vs Demanda de biodiesel mercado liberalizado.

5.3 Comparación entre escenarios

En las **Figuras 13 y 14** se observa la comparación en la producción entre los escenarios y se puede

observar que la producción en el mercado liberalizado es mayor a la producción en el mercado regulado en el caso del etanol, esto es debido a que se tiene una mayor demanda en el caso del etanol, y en el biodiesel se presenta una menor producción ya que la demanda de biodiesel es menor, puesto que el B20 tiene un mayor precio para el usuario final, con lo cual se presenta un menor consumo de este.

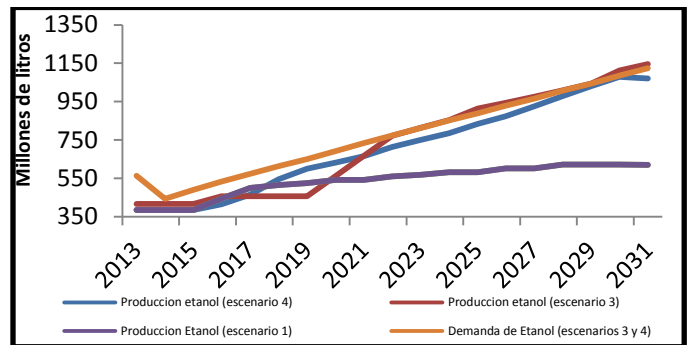


Figura 13. Producción de etanol mercado liberalizado vs Producción de etanol mercado regulado.

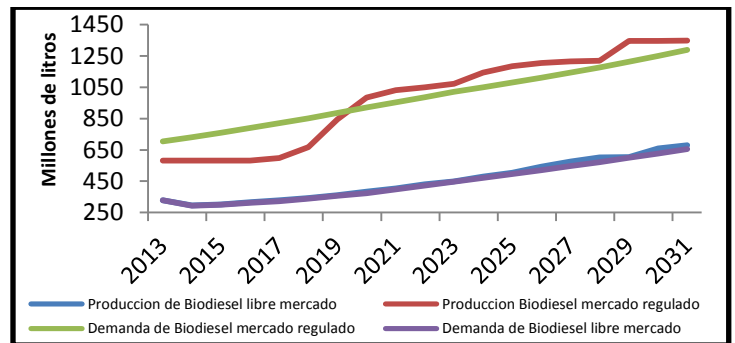


Figura 14. Producción de biodiesel mercado liberalizado vs Producción de biodiesel mercado regulado.

6. Conclusiones y Trabajo Futuro.

Con las condiciones actuales del mercado la producción de biodiesel y etanol logran cubrir la demanda durante la mayor parte del periodo de simulación ya que se dan las condiciones de mercado adecuadas, como lo son un precio regulado que asegura una alta rentabilidad y la demanda fija, lo cual lo hace un negocio de bajo riesgo.

En Colombia no existe conflicto entre la producción de biocombustibles y la seguridad alimentaria, ya que para la producción de biocombustibles se sustituyeron las exportaciones de azúcar y aceite de palma para la producción de etanol y biodiesel (FAO, 2010).

A pesar de que la caña de azúcar es la materia prima más eficiente para fabricar etanol de primera generación en Colombia y esto le otorga una ventaja competitiva, sus costos de producción, hacen que el etanol derivado de esta materia prima, pierda competitividad a nivel internacional con lo cual se hace necesario una reducción de costos.

Para el caso del etanol el libre mercado es la mejor opción que un mercado regulado, ya que se tiene una mayor demanda la cual logra ser atendida en su totalidad, pero no se presentan exportaciones debido a los altos costos de transporte, para lograr aprovechar el mercado externo se debe realizar una inversión en I&D para reducir los costos de producción, aprovechando así las vastas extensiones de tierras que se poseen para la producción de etanol y la experiencia.

Es necesario que en el país se consideren regiones y el uso de materias primas diferentes a las utilizadas tradicionalmente en la producción de biocombustibles en Colombia. En el caso del etanol, la producción a partir de yuca representa una buena opción para lograr abastecer la demanda impuesta en el programa que ha creado el estado. Además zonas diferentes al Valle Geográfico del Río Cauca como los Llanos Orientales deberían ser potencializadas, tomando en cuenta que la tierra en el Valle Geográfico del Río Cauca puede en algún momento escasear y además volverse costosa debido al posible aumento de la demanda, lo que llevaría a una rentabilidad menor del negocio.

Al momento de analizar materias primas alternativas para la producción de biocombustibles además de examinar la rentabilidad es necesario considerar los factores ambientales y sociales que pueden verse beneficiados al incluir estas alternativas. Factores como la generación de empleo, la cantidad de agua necesaria tanto para el cultivo como para el proceso, la eficiencia energética y la competencia con el sector alimenticio deben tener un peso importante al momento de crear políticas en cuanto a la producción de biocombustibles en país.

Ya que este el mercado de los biocombustibles es nuevo en el país, uno de los principales problemas que se encontró para realizar esta tesis fue la escasez de información. Ya que no se tiene la información completa en algunos casos y en otros

casos la información fue inferida de diferentes autores.

El modelo ayudó a entender posibles comportamientos en el mercado de los biocombustibles, en el cual se muestra que un mercado regulado en el biodiesel con posibilidad de exportaciones es la mejor opción y en el caso del etanol un libre mercado con apoyo del gobierno Colombiano para lograr la reducción de costos y lograr exportar sería la mejor opción

Como trabajo futuro se tiene a) Realizar un análisis de sensibilidad, b) la posibilidad de que se presenten importaciones y exportaciones tanto en el mercado regulado, como en el libre mercado.

7. Referencias

- Agricultura, Ministerio D E, and Y Desarrollo Rural. 2007. "Y DESARROLLO RURAL Andrés Felipe Arias Leiva."
- Based, Resource, Sustainable Development, Natural Resources, South Africa, Sustainable Energy Futures, and Sustainable Energy Studies. "Understanding the implication of investing in biodiesel production in South Africa: a system dynamics approach J.K. Musango." In *Industrial Research*, , p. 1–21.
- Bomb, Christian, Kes McCormick, Ewout Deurwaarder, and Tomas Käberger. 2007. "Biofuels for transport in Europe: Lessons from Germany and the UK." *Energy Policy* 35(4): 2256–2267. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421506002977> (February 25, 2011).
- Bozbas, K. 2008. "Biodiesel as an alternative motor fuel: Production and policies in the European Union." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12(2): 542–552. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032105000614> (April 11, 2011).
- Coelho, S, J Goldemberg, O Lucon, and P Guardabassi. 2006. "Brazilian sugarcane ethanol: lessons learned[1]." *Energy for Sustainable Development* 10(2): 26–39. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0973082608605293> (May 16, 2011).

- Demirbas, Ayhan. 2009. "Political, economic and environmental impacts of biofuels: A review." *Applied Energy* 86: S108–S117. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261909001688> (March 29, 2011).
- Fedebiocombustibles. 2011. "Plantas Productos de Biodiesel." <http://www.fedebiocombustibles.com/v2/nota-web-id-271.htm> (June 24, 2012).
- Fox, Jeremy T., Kyoo Il Kim, Stephen P. Ryan, and Patrick Bajari. 2012. "The random coefficients logit model is identified." *Journal of Econometrics* 166(2): 204–212. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304407611001655> (June 23, 2012).
- Hira, Anil, and Luiz Guilherme de Oliveira. 2009. "No substitute for oil? How Brazil developed its ethanol industry☆." *Energy Policy* 37(6): 2450–2456. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421509001219> (May 16, 2011).
- Johnston, Matt, and Tracey Holloway. 2007. "Policy Analysis A Global Comparison of National Biodiesel Production Potentials." *Europe* 41(23): 7967–7973.
- Junginger, M, T Bolkesjo, D Bradley, P Dolzan, a Faaij, J Heinimo, B Hektor, O Leistad, E Ling, and M Perry. 2008. "Developments in international bioenergy trade." *Biomass and Bioenergy* 32(8): 717–729. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0961953408000123>.
- Lamers, Patrick, Carlo Hamelinck, Martin Junginger, and André Faaij. 2011. "International bioenergy trade—A review of past developments in the liquid biofuel market." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(6): 2655–2676. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032111000712> (July 15, 2011).
- Lamers, Patrick, Kes McCormick, and Jorge Antonio Hilbert. 2008. "The emerging liquid biofuel market in Argentina: Implications for domestic demand and international trade." *Energy Policy* 36(4): 1479–1490. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421507005782> (September 14, 2010).
- Minas, Ministerio D E. 2008. "“ PROYECCIÓN DE DEMANDA DE ENERGÍA PARA EL SECTOR TRANSPORTE ”."
- Ministerio de Minas y Energía. 2009. "Resolución 18 0120 de 2009." http://www.minminas.gov.co/minminas/kerne/usuario_externo_normatividad/form_consultar_normas_hidrocarburos.jsp?parametro=1826&site=17 (June 25, 2012).
- Mitchell, Donald. 2008. "A Note on Rising Food Prices."
- Nonhebel, Sanderine. 2012. "Global food supply and the impacts of increased use of biofuels." *Energy* 37(1): 115–121. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544211006165> (March 13, 2012).
- Santiago Arango, Alina Torres. 2008. "Economic Incidences of Ethanol as Biofuel in Colombia over the Sugar Cane Products : A System Dynamics Approach." 5(2).
- Sorda, Giovanni, Martin Banse, and Claudia Kemfert. 2010. "An overview of biofuel policies across the world." *Energy Policy* 38(11): 6977–6988. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421510005434> (January 31, 2011).
- Szklo, Alexandre, Roberto Schaeffer, and Fernanda Delgado. 2007a. "Can one say ethanol is a real threat to gasoline?" *Energy Policy* 35(11): 5411–5421. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421507003114> (May 16, 2011).
- . 2007b. "Can one say ethanol is a real threat to gasoline?" *Energy Policy* 35(11): 5411–5421. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421507003114> (May 16, 2011).
- Timilsina, Govinda R., and Ashish Shrestha. 2011. "How much hope should we have for biofuels?" *Energy* 36(4): 2055–2069. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544210004597> (March 12, 2012).
- de Wit, Marc, Martin Junginger, Sander Lensink, Marc Londo, and André Faaij. 2010. "Competition between biofuels: Modeling technological learning and cost reductions

over time.” *Biomass and Bioenergy* 34(2):
203–217.
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0961953409001445> (May 16, 2012).

8. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Colciencias por su proyecto jóvenes investigadores por su apoyo económico para la realización del proyecto.

Se agradece al grupo de excelencia y complejidad Ceiba por su apoyo para la realización del proyecto.

Se agradece al centro de investigación e innovación en energía CIEN por su apoyo económico.



www.dinamica-de-sistemas.com

Libros

Cursos Online



[Ejercicios](#)



[Curso Básico Intensivo en Dinámica de Sistemas](#)



[Avanzado](#)



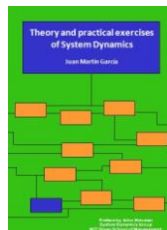
[Curso Superior en creación de modelos de simulación](#)



[Conceptos](#)



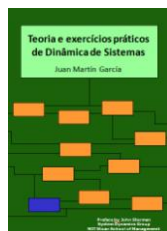
[Modelos de simulación en ecología y medioambiente](#)



[English](#)



[Planificación de empresas con modelos de simulación](#)



[Português](#)



[System Thinking aplicado al Project Management](#)