

Para el Biodiesel:

Tabla 5. Plantas de producción de biodiesel actuales (83)

Planta de Producción	Ubicación	Capacidad lt/día	Año de Entrada
Oleoflores	Codazzi, Cesar	168.719	2008
Odin Energy	Santa Marta, Magdalena	121.477	2008
Biocombustibles Sostenibles del Caribe	Santa Marta, Magdalena	337.437	2009
Bio D	Facatativá, Cundinamarca	337.437	2009
Ecodiesel de Colombia S.A.	Barrancabermeja, Santander	337.437	2010
Aceites Manuelita S.A.	San Carlos de Guaroa, Meta	337.437	2010
Clean Energy	Santa Marta, Magdalena	116.000	2010

Luego de obtenerse el biocombustible, este es transportado por carro tanques a las terminales mayoristas en donde se realiza la mezcla con el combustible fósil de acuerdo con los porcentajes estipulados por el gobierno (38; 84). Es importante anotar que se consideran distribuidores mayoristas aquellas plantas de abastecimiento que celebran contratos de suministro de combustibles líquidos derivados del petróleo, con distribuidores mayoristas, distribuidores minoristas o grandes consumidores, por volúmenes superiores a 9.842.560 litros al mes, de los cuales el setenta por ciento (70%) como mínimo debe corresponder a contratos suscritos con distribuidores minoristas (85).

Es importante mencionar que en el caso del biodiesel, como se muestra en la Figura 3, la mezcla con el diesel puede realizarse en dos etapas. Inicialmente un 2% de biodiesel es mezclado con el diesel en las refinerías, esta mezcla es transportada por poliductos a los distribuidores mayoristas, y allí se termina de hacer la mezcla de biodiesel y diesel según el porcentaje estipulado por el gobierno.

En el caso del etanol, es recomendable que la mezcla con la gasolina se realice lo más cerca posible del punto de consumo, debido a la afinidad de éste con el agua y los sistemas de almacenamiento y transporte (poliductos) de gasolina tienen presencia de agua en menores proporciones que ocasionarían inconvenientes a la mezcla etanol-gasolina (86).

Finalmente la mezcla del combustible fósil y el biocombustible es transportada a los centros de distribución minorista. Para la mezcla de gasolina con etanol, el transporte debe hacerse por carro tanque de manera que pueda asegurarse la calidad del combustible y se cumplan las condiciones de seguridad establecidas, aunque en el caso de ECOPEPETROL se le permite el transporte por poliductos, siempre y cuando garantice que la calidad de los derivados del petróleo transportados por tales sistemas no se vea deteriorada por su presencia (84). En el caso de la mezcla de diesel con biodiesel el transporte puede hacerse por los ductos a los consumidores como se hace actualmente con el diesel. En la Figura 3 y Figura 4 se observa la cadena de suministro para el biodiesel y el etanol respectivamente.

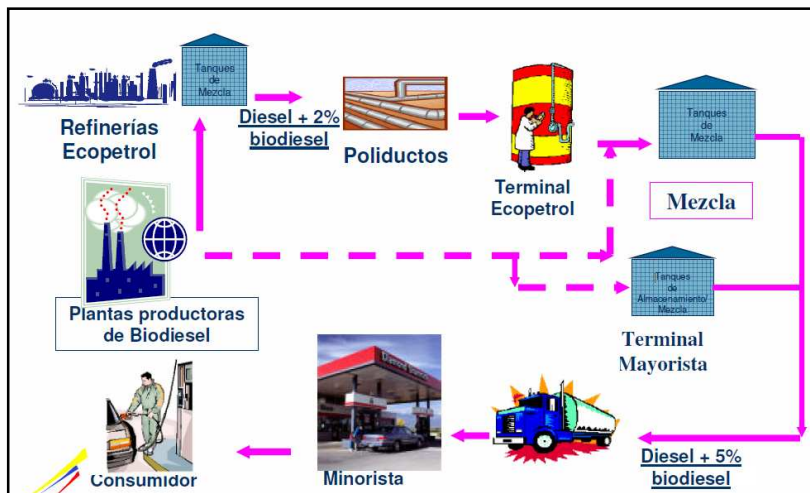


Figura 3. Cadena de suministro de biodiesel (87)

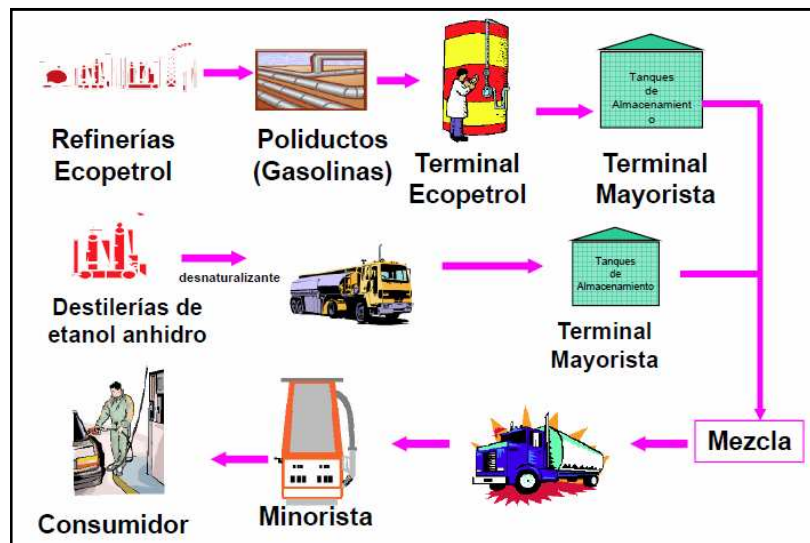


Figura 4. Cadena de Suministro de Etanol (88)

Debido a las ventajas que trae para Colombia la producción de biocombustibles y a que el país posee las características necesarias para convertirse en uno de los grandes productores a nivel mundial, se ha venido desarrollando un programa de biocombustibles en Colombia en el que el gobierno está incentivando a los agentes de la cadena de suministro a invertir en nueva capacidad, tanto de cultivos como de producción, y de esta manera poder llegar a cumplir las metas del gobierno en cuanto al uso de energías alternativas como los biocombustibles, además de motivar la investigación acerca de la estructura y el comportamiento de la cadena de manera que se puedan encontrar los problemas que hay en ella y analizar los efectos de las políticas actuales.

2.2 Incentivos a la producción de biocombustibles

A partir del año 2001 con la Ley 693 (9) el gobierno decide desarrollar un programa de biocombustibles en el que se dictaran normas acerca del uso de biocombustibles en el país, y se incentivarán los cultivos relacionados con su producción y la inversión en plantas de producción, con el fin de incrementar la oferta de etanol y de biodiesel, y lograr al menos abastecer la demanda interna.

Algunos de los incentivos más representativos que ha dado el gobierno a los productores y consumidores de biocombustibles son:

Al cultivo de materias primas:

- Exclusión del IVA a la caña de azúcar (89).
- Exención de la Renta a la palma de aceite (90).

A la capacidad de producción:

- Exención del impuesto a las ventas al biodiesel (90) y al etanol (91).
- Exención del impuesto global al ACPM al biodiesel que se destine a la mezcla con ACPM (90).
- Exención del pago del impuesto global y de la sobretasa al porcentaje de alcohol carburante que se mezcle con la gasolina motor (89)
- Renta de 15% (vs. 33%) a proyectos cuya inversión sea superior a 75.000 smmlv o generen 500 empleos (92).
- Control de los precios de venta del etanol y el biodiesel (93; 94; 95; 96; 97).
- Plazo para el acondicionamiento de motores hasta el 2012, a partir de esta fecha los motores deberán ser flex-fuel E85 (10) y B20 (11).
- Garantía en el suministro a precio fijado para el etanol: Mezclas del 8% de etanol en la gasolina en el 2010 (98).
- Garantía en el suministro a precio fijado para el biodiesel: Mezclas del 8% de biodiesel en el 2010 (99)

2.3 Problemática actual de los biocombustibles en Colombia

A pesar de los incentivos que se están otorgando a varias partes de la cadena de suministro para lograr incrementar la oferta de biocombustibles se sigue teniendo una porción de demanda insatisfecha.

Estos problemas para abastecer la demanda impuesta se ven reflejados en los cambios que ha tenido que realizar el gobierno en cuanto al programa de mezclas de biocombustibles con los combustibles fósiles. En algunos casos los cambios se han realizado en las fechas en que las diferentes regiones deben entrar a formar parte del programa de biocombustibles y en otras ocasiones los cambios se hacen en los porcentajes de mezcla antes establecidos; estos cambios pueden observarse a continuación en la Figura 5 y Figura 6.

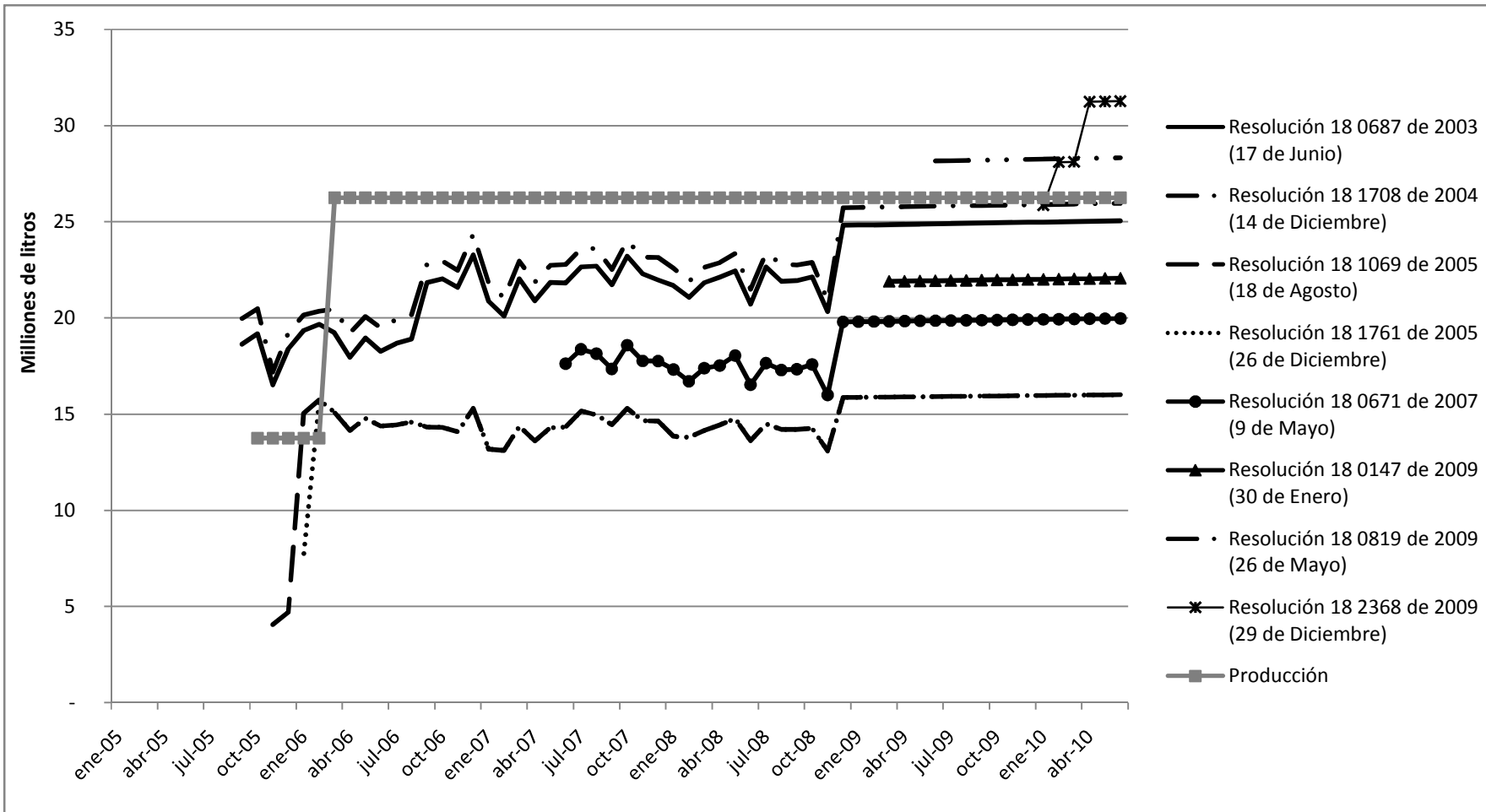


Figura 5. Producción vs Demanda de Etanol (Según las diferentes resoluciones)

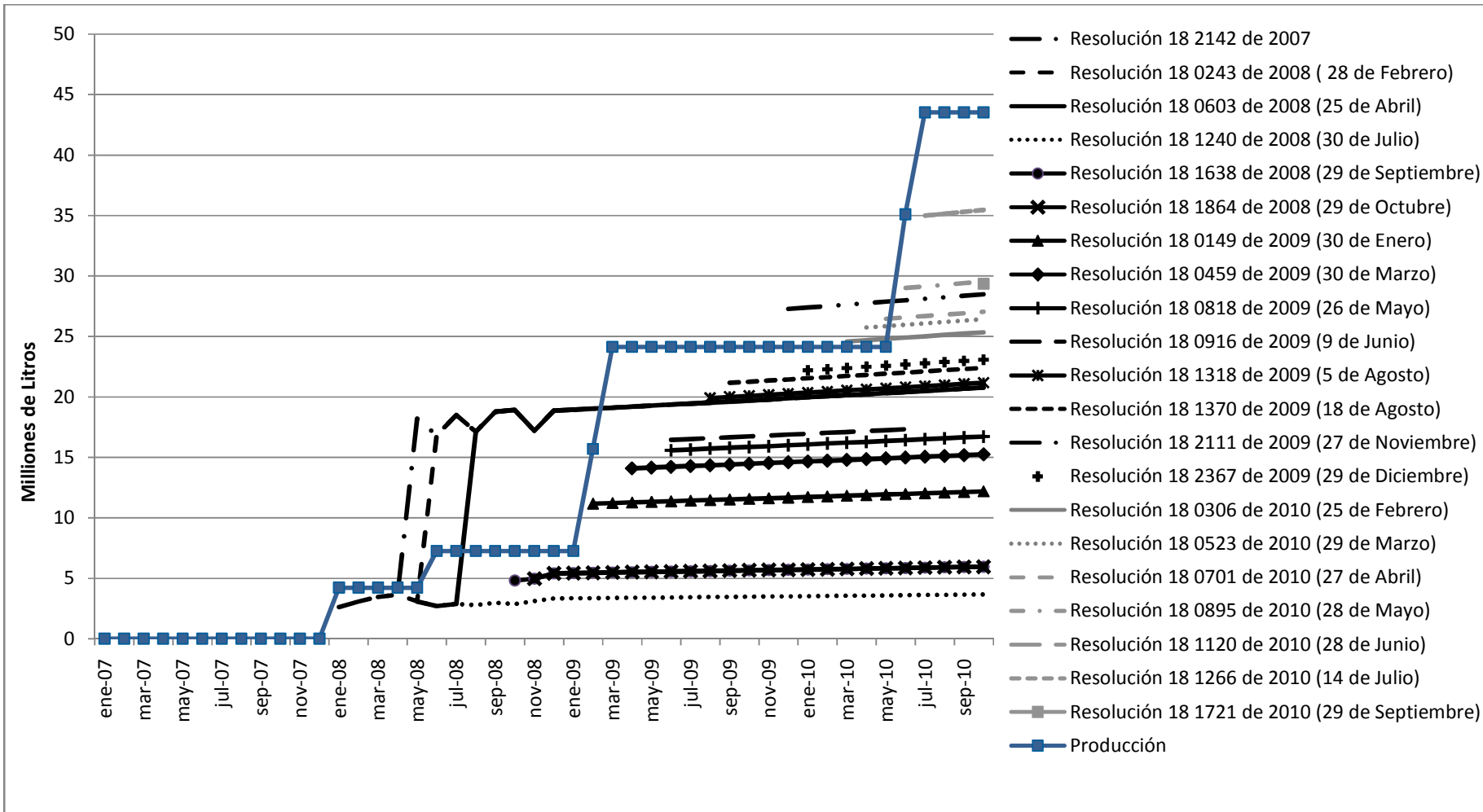


Figura 6. Producción vs Demanda de Biodiesel (Según las diferentes resoluciones)

En el caso del etanol (Figura 5), puede observarse que según las resoluciones promulgadas en 2003 y 2004 para el programa de mezclas de etanol con gasolina, la producción de etanol no era suficiente como para cumplir con la demanda que el gobierno estaba imponiendo a través de estas. Es por esto que a partir de la Resolución 18 1069 de 2005 el gobierno decide reducir la demanda realizando un cambio en las regiones que estaban obligadas a cumplir con un porcentaje del 10% de etanol, además de un cambio en las fechas de entrada de las regiones al programa. Pero con esta resolución se vuelve a tener un problema de déficit de producción durante un pequeño periodo de tiempo ya que no habían entrado varias de las plantas que producirían una cantidad importante del biocombustible. Para hacer frente a este problema de demanda el gobierno mediante la Resolución 18 1761 de 2005 realiza un cambio en la entrada de Bogotá al programa de mezclas de manera que al momento de ingresar ya estuviera la producción disponible.

Para las siguientes resoluciones se realiza un aumento gradual en la demanda incluyendo algunas regiones al programa, pero para mediados del año 2009 con la Resolución 18 0819 la demanda vuelve a ser mayor que la capacidad de producción instalada por lo que a finales de 2009 con la Resolución 18 2368 se reduce la demanda por medio de la disminución del porcentaje de mezcla de las regiones ya incorporadas en el programa a un 8% de Etanol. Aun así puede verse que a principios del 2010 cuando a través de la resolución anteriormente nombrada se incorporan más regiones al programa de mezclas, la producción vuelve a ser escasa para cumplir con la demanda impuesta.

En el caso del biodiesel (Figura 6), puede decirse que aunque inicialmente se cumple con la demanda impuesta a través de las Resolución 18 2142 de 2007, posteriormente no puede abastecerse debido a la entrada de otras regiones al programa. Es por esto que el gobierno realiza cambios en las fechas de entrada de algunas de las regiones a través de las resoluciones 18 0243 de 2008 y 18 0603 de 2008, aun así, la capacidad de producción no es suficiente como para cumplir con la demanda y por lo tanto a partir de la Resolución 18 1240 de 2008 se reduce la demanda al suprimir algunas regiones del programa de mezclas. A partir de esta resolución, al igual que lo sucedido con el etanol, se comienza un aumento gradual en la demanda de biodiesel incluyendo nuevas regiones en el programa. Pero debido a que con la demanda impuesta (B10) según la Resolución 18 2111 de 2009 la producción volvía a ser insuficiente, el gobierno decide

reducir el porcentaje de mezcla al 8% a través de la Resolución 18 2367 de 2009 logrando abastecer esta nueva demanda impuesta.

Durante el 2010 el gobierno comienza a hacer un aumento gradual del porcentaje de mezcla utilizado hasta llegar a un 10% en la gran mayoría del territorio nacional a través de la Resolución 18 1120 de 2010, esto tomando en cuenta que dos plantas entrarían en funcionamiento a mediados de este año. Aun así, en septiembre de 2010 el gobierno expide una nueva resolución en la que se vuelve a reducir el porcentaje de mezcla a un 8% debido a las restricciones de oferta de biodiesel por la escasez de materias primas para su producción a causa de la temporada invernal.

Además del análisis de los cambios realizados en el programa de mezclas, es importante tomar en cuenta que de tener un porcentaje de mezcla superior al exigido, con el nivel de producción actual la demanda no podría ser suplida y por lo tanto, si en un futuro se desea llegar a niveles más altos de utilización de biocombustibles, es necesario que las políticas que se implementen en cuanto a la producción de biocombustibles sean eficientes, efectivas y permitan el crecimiento de la oferta (Tabla 6 y Tabla 7). Además se debe considerar que entre las políticas que tiene el gobierno, en cuanto al programa de biocombustibles, se encuentra acondicionar los motores de manera que para el 2012 los vehículos que ingresan al país deben tener la capacidad de utilizar combustibles para su funcionamiento con el 85% de etanol o el 20% de biodiesel en una mezcla con gasolina y diesel respectivamente, y por lo tanto es necesario que la oferta disponible sea suficiente para atender una demanda de estos niveles de mezcla.

Producción (lt/día)	Demanda Gasolina (lt/día)	Demanda E10 (lt/día)	Demanda E20 (lt/día)	Demanda E100 (lt/día)
1.075.000	10.980.150	1.098.015,08	2.196.030	10.980.150

Tabla 6. Producción vs. Demanda de Etanol

Producción (lt/día)	Demanda Diesel (lt/día)	Demanda B10 (lt/día)	Demanda B20 (lt/día)	Demanda B100 (lt/día)
1.755.944	12.519.853,10	1.251.985,31	2.503.970,62	12.519.853,10

Tabla 7. Producción vs. Demanda de Biodiesel

Por otra parte, es importante mencionar que la producción de biocombustibles en Colombia se encuentra localizada en unas pocas regiones del país, por lo tanto para poder suplir la demanda nacional es necesario que se transporten biocombustibles desde las regiones en las que se presente exceso de producción y debe considerarse que para que puedan existir estos flujos es necesario contar con una infraestructura de transporte que en el caso de Colombia todavía podría ser un limitante para el abastecimiento (100).

Además, es necesario considerar que el cultivo de materias primas y las regiones donde estas presentan un mejor rendimiento son determinantes en la localización de la producción de biocombustibles. Actualmente, las refinerías de etanol se encuentran localizadas en su gran mayoría en el Valle Geográfico del Rio Cauca, lugar donde se ha encontrado el mejor rendimiento de la caña de azúcar y donde se encuentran los ingenios azucareros del país, los cuales pueden ser aprovechados para la producción de etanol. Pero es importante tener en cuenta que otras materias primas y otros lugares para su cultivo están siendo analizados, y por lo tanto se debe evaluar que tan rentable resulta para los agricultores y para los refinadores la producción de biocombustibles a partir de otras materias y en otras regiones. Para el caso del Etanol, por ejemplo, en Puerto López, Meta hay actualmente en funcionamiento una planta de producción a partir de yuca, materia prima con la cual se obtienen rendimientos más bajos que con la caña de azúcar, pero que parece prometedora debido a que es un cultivo poco exigente en cuanto a las condiciones climáticas y del suelo, lo que puede verse reflejado en costos y por tanto en la rentabilidad de los productores. Adicionalmente, en el caso de producción industrial de la yuca, existe menos disputa con respecto a su uso agroalimentario (101).

Según lo que se ha mencionado anteriormente, se puede decir que el gobierno juega un papel fundamental para lograr llegar a un buen desempeño de la cadena de biocombustibles de manera que se pueda cumplir con las metas propuestas en cuanto a los porcentajes de mezcla que se deberían estar utilizando en muchas de las regiones del país. Es por lo mismo que se han creado políticas en cuanto a normas técnicas, de calidad y precios en el programa de biocombustibles del país, además de los incentivos dados a diferentes partes de la cadena.

Sin embargo, se siguen incumpliendo dichas metas, quizás porque las políticas adoptadas por el gobierno no son las adecuadas o porque existen problemas en algunas

de las partes de la cadena de suministro, como la escasa capacidad de producción, la escasez de materias primas y/o las dificultades para transportar el biocombustible hasta los centros de distribución.

Por lo tanto es necesario encontrar las razones por las cuales las políticas actuales del gobierno no están siendo eficientes para incrementar la producción de biocombustibles, de manera que permita atender la demanda interna, y para lograr una mejor distribución de la producción de los mismos en las diversas regiones del país de manera que se pueda encontrar un mejor balance territorial entre la oferta y demanda nacional.

Por otra parte es importante analizar los cambios que pueden presentarse en el sector al momento de considerar materias primas alternativas, en este caso yuca, para la producción de biocombustibles y la localización de cultivos y plantas de producción en regiones del país diferentes a las que actualmente se concentra la producción.

Para esto es conveniente que la cadena sea evaluada tanto en conjunto como cada una de sus partes y estimar los requerimientos de cada una de las regiones, en cuanto a cultivos, transporte y la capacidad de producción de biocombustibles, tomando en cuenta que los costos de producción de los biocombustibles pueden variar de región a región, además que cada una de ellas puede ser más o menos atractiva al momento de la inversión.

Así, el realizar un análisis regional permitirá evaluar el mercado para cada una de las regiones y los flujos que debe haber entre los diferentes centros de producción y puntos de venta que hay en el país que permitan satisfacer la demanda que ha estipulado el gobierno en cada una de las regiones.

2.4 Objetivos y alcance del estudio

2.4.1 Objetivo general

Analizar políticas que permitan mejorar el balance de la oferta y demanda de biocombustibles en el país, incluyendo el estudio de la localización de la producción y el transporte de los mismos.

2.4.2 Objetivos específicos

- Construir un modelo matemático que permita analizar la evolución de la oferta y demanda de biocombustibles en Colombia, desde el punto de vista regional.
- Estimar la producción y la demanda de biocombustibles en cada una de las principales regiones del país.
- Estimar los flujos de biocombustibles entre las regiones y así estimar los requerimientos de transporte de biocombustibles entre éstas.

2.4.3 Alcance

La estructura y el comportamiento de la cadena de suministro de biocombustibles en Colombia serán analizados a partir del desarrollo de un modelo regional de dinámica de sistemas, en el cual se tomarán en cuenta las regiones más representativas con respecto a la producción y consumo de biocombustibles en el país.

A partir del modelo regional se encontrarán los flujos entre las regiones según los excesos y déficit que se puedan generar dadas la oferta y la demanda en cada una de ellas y según los costos de transportar el biocombustible de una región a otra.

Se analizará si bajo las políticas actuales planteadas por el gobierno el programa de biocombustibles se está cumpliendo y si éstas políticas van en el camino correcto para el cumplimiento de las metas propuestas. Además de analizar el comportamiento que puede tener el sistema ante el cambio en las políticas y las ventajas y desventajas de realizar dichos cambios en el programa de biocombustibles.

3. Dinámica de sistemas para el análisis de la producción de biocombustibles

Para el análisis de las políticas que el gobierno aplica actualmente con el fin de incrementar la producción de biocombustibles, de manera que se pueda explotar el potencial que tiene el país en este ámbito y además se pueda sacar provecho a los beneficios económicos y sociales que esta representa, es necesario estudiar detalladamente los actores de la cadena de suministro y las características que cada uno posee.

Pero así como es importante un análisis individual de estos actores, es necesario que se realice un análisis del sistema como un todo, tomando en cuenta que existen interacciones entre los actores que llevan al sistema a tener un comportamiento dado, y que de analizar el sistema de una forma desagregada no podría ser explicado. Estas interacciones entre los agentes de la cadena llevan a una complejidad dinámica donde la causa y el efecto son sutiles y los efectos de la intervención a través del tiempo no son obvios e incluso pueden ser drásticamente distintos a corto y a largo plazo (102).

Según Sterman (2000) (103), la complejidad dinámica emerge en los sistemas porque:

- Son dinámicos.
- Tienen componentes que están fuertemente relacionados tanto entre ellos como con el mundo externo.
- Están dominados por realimentaciones.
- Poseen relaciones que por lo general son no lineales, es decir, el efecto rara vez es proporcional a la causa.
- Su comportamiento depende de las decisiones tomadas en el pasado.
- La dinámica del sistema emerge espontáneamente de su estructura interna.
- Las decisiones de los agentes cambian en el tiempo y la evolución del sistema puede llevar a que algunos agentes se extingan y otros se expandan.

- Las causas y los efectos en muchas ocasiones están separados en el espacio y en el tiempo llevando a que no se encuentren las verdaderas causas sino los síntomas de los problemas que desean abordarse.
- La respuesta del sistema ante una política dada puede ser diferente en el corto y en el largo plazo.

Con relación a la cadena de suministro de biocombustibles, los factores que intervienen en ella, como lo son los agricultores, los cuales proveen la materia prima para la producción del biocombustible, los refinadores y el gobierno, quien implementa las políticas que considera necesarias para incentivar la inversión y el consumo en el sector, se relacionan estrechamente, y de estas relaciones depende el funcionamiento de la cadena. Así, las decisiones tomadas por cualquiera de ellos afectará significativamente a los demás, quienes a su vez tomarán nuevas decisiones que afectarán a los primeros creando realimentaciones que hacen el sistema complejo.

Estas decisiones que se pueden tomar en cualquiera de los eslabones de la cadena pueden tener repercusiones sobre otros eslabones solo hasta cierto tiempo después, es decir el sistema involucra retardos que deben ser tomados en cuenta a la hora de analizarlo. Por ejemplo, las decisiones de inversión del refinador se verán reflejadas solo hasta tiempo después cuando esté construida la nueva capacidad de producción y ésta esté disponible en el mercado; de la misma manera las decisiones de nuevos cultivos por parte de los agricultores se verán reflejadas cuando estos puedan ser cosechados y utilizados como materias primas para producir biocombustibles o como alimentos tanto de consumo interno como de exportación.

Además de la complejidad del sistema que subyace de las interacciones entre los componentes, es importante tomar en cuenta que el mercado de biocombustibles es relativamente nuevo y que la información acerca del mismo es en muchos casos incompleta o imprecisa, y se desconocen los posibles estados futuros.

Puede decirse entonces que en la cadena de suministro de biocombustibles intervienen una gran cantidad de factores que afectan la oferta, todos ellos interactúan en el tiempo e involucran retardos y procesos de realimentación, y que debido a esto el problema se

vuelve complejo y el análisis matemático no es suficientemente poderoso para abordarlo (104).

Por lo tanto, para abordar este sistema que es complejo, del cual no se posee la suficiente información y el cual debe ser analizado desde una perspectiva holística, se cuenta con la dinámica de sistemas que es una metodología que permite el estudio y el manejo de sistemas complejos en los cuales se dan realimentaciones (105) y a través de la cual se pueden entender las políticas actuales, la resistencia que puede tener el sistema a las mismas y diseñar otras nuevas que sean más efectivas (103)

La dinámica de sistemas fue desarrollada por Jay W. Forrester en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) alrededor del año 1950, como una herramienta para analizar los sistemas complejos. Está estrechamente relacionada con la teoría del pensamiento sistémico, considerando que el comportamiento de un sistema depende de su estructura y los procesos de retroalimentación. Según Forrester (1961) un modelo de dinámica de sistemas es una descripción detallada que muestra cómo una condición en un punto determinado en el tiempo, afecta otras condiciones más tarde en el tiempo. El comportamiento del modelo es observado, y los experimentos se orientan a responder preguntas específicas acerca del sistema representado en el modelo (104).

Sterman (2000) define el proceso de modelado con dinámica de sistemas como un proceso iterativo y continuo de formulación de hipótesis, validación y revisión de los modelos mentales y formales que se realizan del sistema. En las siguientes secciones se describe brevemente dicho proceso.

3.1 Proceso de modelado con dinámica de sistemas

Para el entendimiento y aprendizaje acerca del sistema y más aún el problema que está en estudio, y para el desarrollo de un modelo de dinámica de sistemas que lo represente y permita el análisis de su comportamiento en el tiempo y de diferentes políticas, aunque no hay una forma única de hacerlo y que asegure que se obtendrá el modelo correcto, Sterman sugiere que se siga un proceso disciplinado y que contenga las siguientes actividades: Identificación del problema, formulación de la hipótesis dinámica,

formulación de un modelo de simulación, validación, diseño y evaluación de políticas (103).

3.1.1 Identificación del problema

Esta es la parte más importante en el proceso de simulación. Si inicialmente se tiene claro cuál es el propósito del estudio entonces es más factible darse cuenta si el modelo es útil para analizar el problema que se está abordando.

Se debe tener claro que aunque los modelos son una representación de un sistema, para que este sea realmente útil debe estar encaminado a resolver un problema en específico, que sea una simplificación de la realidad de manera que nos permita comprenderlo. Así, la clave está en que debemos modelar un problema y no un sistema, esto permitirá tener suficientes criterios para que se pongan los límites adecuados al modelo y decidir que partes pueden ser ignoradas y cuáles son las partes realmente importantes.

Para identificar el problema que se va a abordar y definir porque este es un problema que se debe tratar es necesario que se identifique cuales son las variables y los conceptos que se tienen que considerar, hasta que momento en el futuro y desde que parte del pasado debemos de considerar, es decir establecer un horizonte de tiempo, y utilizar modelos de referencia que nos muestren cual ha sido el comportamiento histórico de las variables y conceptos seleccionados y cuál podría ser su comportamiento en el futuro.

3.1.2 Formulación de la hipótesis dinámica

Una vez se ha identificado cual es el problema que va a ser estudiado, y se ha caracterizado sobre un horizonte de tiempo apropiado, se procede a desarrollar una teoría para explicar el problema y a que se debe este comportamiento en el sistema.

Esta teoría es llamada hipótesis dinámica. Se dice que es dinámica porque puede dar una explicación de la dinámica que caracteriza al problema en términos de la realimentación y la estructura de flujos y niveles del sistema, y es una hipótesis porque es provisional y está sujeta a revisión o abandono durante el proceso de modelado y aprendizaje del mundo real.

Para su desarrollo se debe primero encontrar una explicación endógena, es decir, encontrar a partir de las interacciones entre las variables y los agentes representados en

el modelo, las interacciones entre ellos y los procesos de realimentación, una hipótesis que explique la dinámica en el sistema. Luego, basado en esta hipótesis inicial, se representa a través de diferentes diagramas que muestran la estructura causal del modelo. Estos diagramas son: Diagramas de los límites del modelo, diagramas de subsistemas, diagramas causales, diagramas de flujos y niveles y diagramas de estructura de políticas⁶.

Se deben incluir tantos capítulos como se requieran; sin embargo, se recomienda que la tesis o trabajo de investigación tenga un mínimo 3 capítulos y máximo de 6 capítulos (incluyendo las conclusiones).

3.1.3 Formulación de un modelo de simulación

Luego de definir el problema que va a ser analizado, limitarlo y conceptualizarlo dentro de una hipótesis dinámica inicial, se debe pasar a la validación de dicha hipótesis. En algunas ocasiones esta validación se puede hacer a través de datos o experimentos realizados en el mundo real, pero en la mayoría de las ocasiones el modelo puede ser difícil, peligroso, poco ético o simplemente imposible de validar en experimentos en el mundo real y por lo tanto es necesario utilizar un medio virtual que permita hacer la validación, y para esto se debe pasar de los modelos mentales realizados anteriormente para representar la hipótesis dinámica a modelos formales.

Estos modelos formales deben contener la especificación de la estructura y las reglas de decisión, además de la estimación de parámetros, las relaciones de comportamiento y las condiciones iniciales, y evaluar la consistencia con el propósito inicial y los límites del modelo.

3.1.4 Validación

La validación del modelo comienza desde el mismo momento en el que se escribe la primera ecuación del modelo y va más allá de tan solo replicar el comportamiento histórico. Dentro de la validación está el evaluar que cada una de las variables

⁶ Para más información acerca de las características de cada uno de los diagramas consulte Stermán, 2000

corresponda a un concepto significativo en el mundo real y que cada ecuación tenga consistencia dimensional. Por otra parte se deben evaluar políticas, tomando en cuenta los supuestos tanto estructurales como paramétricos, y la sensibilidad del comportamiento del modelo.

Se debe realizar además una validación del modelo bajo condiciones extremas, condiciones que no se hayan visto en el mundo real, pero que pueden ocurrir y que de ser así deben reflejar cierto comportamiento. Este tipo de test son herramientas que permiten encontrar las falencias que puede tener el modelo y evaluar escenarios que puedan mejorar nuestro aprendizaje acerca del mismo.

3.1.5 Diseño y evaluación de políticas

Después de validar el modelo y obtener confianza en su estructura y comportamiento, este puede ser utilizado para diseñar y evaluar políticas que puedan llevar a mejorar el problema inicialmente planteado.

Este diseño de políticas es mucho más que un simple cambio en los parámetros, se refiere a la creación de nuevas estrategias, estructuras y reglas de decisión que puedan ser implementadas en el mundo real, representarlas de la manera correcta en el modelo y evaluar los efectos que estas políticas pueden traer.

Además, es importante realizar un análisis de sensibilidad a las políticas de manera que se pueda probar la robustez de estas ante los diferentes escenarios, y evaluar si hay alguna interacción entre las políticas o si pueden darse sinergias y respuestas compensatorias en las que inicialmente se dé una respuesta negativa a la política pero más adelante se obtenga un buen resultado.

El proceso descrito anteriormente es el utilizado para el análisis de la producción de biocombustibles en Colombia y las políticas actuales desarrolladas por el gobierno. En el capítulo anterior se identificó el problema que actualmente presenta el país en cuanto al cumplimiento del programa de biocombustibles y la necesidad de evaluar las políticas para encontrar posibles causas y soluciones. Los pasos restantes del proceso se desarrollaran en las siguientes secciones y se espera a través de estos llegar a cumplir los objetivos anteriormente planteados.

4. Modelo regional de producción y transporte de biocombustibles en Colombia

Como se mencionó anteriormente la cadena de abastecimiento de biocombustibles contiene una gran cantidad de actores que interactúan en el tiempo que deben ser tomados en cuenta al momento de analizar la producción de biocombustibles y las políticas que han sido creadas en pro de crecimiento de la misma para la satisfacción de la demanda impuesta por el gobierno.

Por lo tanto se ha construido un modelo de dinámica de sistemas que permita analizar el sistema como un todo y evaluar las políticas actuales que afectan el comportamiento del mismo. A continuación se detalla la hipótesis dinámica, el diagrama de flujos y niveles, y se realiza la validación del modelo descrito.

4.1 Hipótesis dinámica

En el capítulo 3 la cadena de producción de biocombustibles en Colombia fue descrita, incluyendo en ella el cultivo, la producción y el transporte del biocombustible a las terminales mayoristas y a los distribuidores minoristas. Para el desarrollo de la hipótesis dinámica se tomaron en cuenta estos eslabones, definiendo el transporte del biocombustible como el flujo que puede haber entre las diferentes regiones según la producción y la demanda de cada una de ellas.

Inicialmente la materia prima, en este caso la caña de azúcar y la yuca para el etanol y la palma de aceite africana para el biodiesel, es cultivada de acuerdo con las necesidades tanto para la producción de biocombustibles como de alimento. Según las exigencias del gobierno, el agricultor tiene que cumplir inicialmente con la demanda interna de alimentos, luego sus excedentes pueden ser utilizados en exportaciones de alimentos o en la producción de biocombustibles.