

Beneficio-costo del biodiésel como componente en la formulación del diésel distribuido en Colombia *

Benefit-Cost of Biodiesel as a Component in the Formulation of the Diesel Fuel Distributed in Colombia

CITACIÓN: Torres, J. (2014). Beneficio- costo del biodiésel como componente en la formulación del diésel distribuido en Colombia. *Palmas*, 35(3), 41-54.

PALABRAS CLAVE: biodiésel de palma de aceite, calidad del biodiésel, beneficio-costo del biodiésel, Colombia.

KEY WORDS: Oil palm biodiesel, Biodiesel quality, Cost- benefit of Biodiesel, Colombia.

RECIBIDO: junio 2014.

APROBADO: junio 2014.

* Artículo de investigación e innovación científica y tecnológica.

JAIME A. TORRES NOVOA

Gerente General Energía Limpia
y Renovable de Colombia S.A.S.
ELRC S.A.S.

jaime.torres85@gmail.com
gerencia.elrc@gmail.com

Resumen

Desde el inicio de la implementación del Programa Nacional de Biodiésel en Colombia en 2008, mucho se ha debatido sobre los beneficios y los costos de su sostenimiento para el país. Sin embargo, los beneficios y costos que se generan a lo largo de la cadena desde el cultivo de la palma, cosecha del fruto y producción del aceite en las zonas rurales, hasta la utilización del biodiésel como componente de la formulación del diésel de bajo azufre, nunca han sido evaluados en forma integral, por ninguna entidad pública ni privada. Este estudio hace una primera aproximación al tema mediante la evaluación integral de los principales componentes identificados del beneficio-costo del Programa Nacional de Biodiésel en Colombia.

Abstract

Since the beginning of the implementation of the biodiesel program in Colombia, from 2008, much has been discussed about the benefits and costs for the Country. However, the benefits and costs that are generated along the chain from the cultivation of palm, fruit harvest and oil production in rural areas, to the use of biodiesel as a component of the formulation of low-sulphur diesel, have never been evaluated comprehensively by any public or private entity. This study makes a preliminary approach to the subject, through a comprehensive evaluation of the main components identified for benefits-costs of the National Biodiesel Program in Colombia.

Introducción

Desde el inicio de la implementación en Colombia del Programa Nacional de Biocombustibles para motores diésel 2008, mucho se ha hablado y debatido sobre los costos que ha tenido que asumir el país por el mayor valor del componente biodiésel en la mezcla con el diésel, y por los incentivos que se le ha dado a los inversionistas y productores del biodiésel, por la eliminación del IVA para maquinaria y equipos, y reducción del impuesto de renta para las empresas instaladas en zonas francas, así como la eliminación del Impuesto Nacional a la gasolina y el diésel, que hasta 2012 se manejaba en dos rubros tributarios que eran el IVA y el Impuesto Global a los combustibles.

Sin embargo, los beneficios y costos que se generan a lo largo de la cadena, desde el cultivo de la palma, cosecha del fruto y producción del aceite en las zonas rurales, hasta la utilización del biodiésel como componente de la formulación del diésel de bajo azufre, nunca han sido evaluados adecuadamente y en forma integral, por ninguna entidad pública ni privada. Este estudio hace una primera evaluación integral del beneficio-costo del Programa Nacional de Biocombustibles para motores diésel, que tiene en cuenta los principales aspectos involucrados en la cadena, tanto para los beneficios como para los costos:

Beneficios

1. Reducción de costos logísticos por la disponibilidad del biocombustible localmente, frente a los costos de importar el diésel del mercado del Golfo de México o de transferir excedentes de la Refinería de Cartagena a la de Barrancabermeja.
2. Beneficios asociados al costo que evitan el país y Ecopetrol por la no utilización de aditivos mejoradores de lubricidad para el diésel de bajo y ultra bajo azufre (LSD y ULSD), gracias a las excelentes propiedades lubricantes que tiene el biodiésel, que permiten que las mezclas con el LSD y ULSD mantengan la especificación de lubricidad por debajo de lo exigido por la regulación nacional (máx. 450 μm norma ASTM D6079 HFRR).
3. Beneficios por la reducción de costos asociados a mortalidad prematura (niños y adultos mayores

principalmente) y morbilidad (enfermedades respiratorias crónicas), generados por la reducción y menor toxicidad de las emisiones de material particulado ($\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2,5}$) de las fuentes móviles (vehículos), por efectos de la reducción de azufre, aromáticos, poliaromáticos y la mejora del número de cetano que presenta el diésel al ser mezclado con el biodiésel de palma.

4. Beneficio para la población de las zonas rurales donde se cultiva la palma, se cosecha el fruto y se extrae el aceite de palma, por efecto de la remuneración al empleo formal generado y los efectos que esto tiene sobre la reactivación comercial de estas zonas.

Costos

1. Costos asociados al mayor valor del biocombustible frente al diésel de producción nacional e importado y a su impacto sobre el precio final del combustible suministrado a los usuarios.
2. Costo generado para el Gobierno Nacional por los impuestos que se dejan de recibir por la exención al biodiésel del Impuesto Nacional a la gasolina y el diésel, que hasta 2012 se recolectaba a través del IVA y el Impuesto Global a los combustibles.

Las fuentes de información que se tomaron para elaborar los modelos y realizar los análisis, en cada uno de los aspectos tomados en cuenta en este estudio, son en su totalidad de consulta pública. El presente estudio es el resultado de una consultoría que la empresa Energía Limpia y Renovable de Colombia – ELRC S.A.S. realizó para la Cámara de Biodiésel de la Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia- Fedebiocombustibles.

Metodología utilizada en el estudio

Con el fin de tener una base de comparación consistente, tanto para los beneficios como para los costos evaluados, se tomaron históricos de información desde 2007 y se proyectaron hasta 2025, de tal manera que al final se pudieran integrar y llegar a un valor único de

beneficio/costo asociado al Programa Nacional de Biocombustibles para motores diésel en el periodo 2007-2025. Esto permite reducir el error y la incertidumbre que se tiene por el cambio en condiciones económicas, reglamentarias, logísticas, comerciales, de mercados, etc., en periodos cortos de tiempo para sectores como los que están involucrados en este análisis.

El estudio inicia por un análisis de la oferta/demanda de combustible diésel y el biodiésel, con base en los históricos de ventas de los dos componentes presentados por Ecopetrol S.A., para el caso del diésel fósil, y por la Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia-Fedebiocombustibles, para el del biodiésel. Los datos históricos de ventas del combustible diésel se proyectan hasta 2025, utilizando modelos econométricos para un escenario medio de demanda, en forma similar a como lo hace la Unidad de Planeación Minero Energética, UPME, entidad adscrita al Ministerio de Minas y Energía de Colombia. Esta es la información base para la cuantificación de muchos de los costos y beneficios del programa nacional de biocombustibles para motores diésel.

Se asumió que las condiciones definidas para la proyección del mercado del biodiésel en el país hasta 2025 se mantienen inalterables con respecto a las que se tenían en 2013, proyectando en algunos casos escenarios de aumento de mezclas al 10 % (B10), en las zonas del país donde en esos momentos se encontraban en 8 % (B8) y en sectores que, como en el caso de la gran minería del Cesar y la Guajira, no consumían biodiésel al momento de realizar el estudio. Además, los aspectos del análisis que están relacionados con los volúmenes de producción y comercialización del biocombustible, fueron primero relacionados con la producción de 1.000 barriles por día (~52.850 t aceite crudo/año) y, luego, se llevaron a los requerimientos totales del mercado para cada año, en el periodo 2007 a 2025.

Para el caso de la sustitución del aditivo de lubricidad por biodiésel, se realizó un análisis de los posibles proveedores del aditivo en Colombia, se solicitaron ofertas que incluyeron los costos y dosificaciones requeridas del mismo y con base en los análisis de oferta/demanda de combustible diésel total, incluido el biodiésel, se cuantificó el aditivo que se requeriría y los costos evitados por la mezcla del biodiésel al diésel de bajo y ultra bajo azufre (LSD y ULSD).

Para la estimación del beneficio económico por mejora en calidad de aire y reducción de costos por mortalidad y morbilidad de la población de las grandes ciudades, se tomó como base estudios sobre el tema que en los últimos años han realizado entidades como: el Banco Mundial, BM (Banco Mundial, 2012), estudio realizado para el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, MADS de Colombia en 2012 y el Clean Air Institute (CAI) de Washington (Sanchez S., 2013), en ciudades de América Latina. El modelo de reducción de emisiones de material particulado (PM_{10} , $PM_{2,5}$), por la mezcla del biodiésel al diésel, fue basado en correlaciones desarrolladas por entidades como Chevron Research Co (Wall *et al.*, 1984), el European Program on Emissions, Fuels and Engines, EPEFE (Camarsa *et al.*, 1996) y el CONCAWE-Automotive Emissions Management Group (Heinze *et al.*, 1996).

En este primer estudio, por falta de información de modelos de dispersión de contaminantes para las ciudades colombianas, se asume que la reducción de emisiones en el tubo de escape de los vehículos se correlaciona directamente con la reducción de su concentración en el aire ambiente. Además, se hace una serie de suposiciones sobre la disminución de costos en salud pública por efecto de esta reducción y basados en información del estudio elaborado por el BM (Banco Mundial, 2012) y los estándares de calidad de aire definidos por la Organización Mundial de la Salud, OMS. Buscando generar el escenario de menores beneficios, que ayuden a equilibrar posibles sobrevaloraciones de mejoras en calidad de aire por uso del biodiésel, en todos los casos se toman los escenarios más conservadores de reducción de emisiones vehiculares, reducción de costos con respecto al estimado presentado por el BM y niveles mínimos recomendados por la OMC de concentración de $PM_{10}/PM_{2,5}$ en el aire ambiente.

Para la estimación de beneficios por el empleo generado por el sector palmicultor en las zonas rurales donde se produce el aceite de palma para la producción del biodiésel, se tomaron estudios desarrollados por Fedesarrollo (Olivera, M. *et al.*, 2011) y el Centro de Estudios Regionales Cafeteros y Empresariales, CRECE (Perfetti del Corral, M. *et al.*, 2003), entre 2003 y 2012.

Además, para las estadísticas de productividad y volúmenes de aceite producidos en el país y dedica-

dos a la producción de biodiésel, se tomó la información del Anuario Estadístico de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia y el mundo de 2012 (Fedepalma, 2012). De acuerdo con los históricos y estadísticas de áreas sembradas en palma y producción de aceite, antes y después del inicio del programa de biodiésel en Colombia (2008), se asumió que el empleo generado para producir el aceite de palma utilizado como materia prima para el biodiésel, se debió al impulso que el Gobierno Nacional ha dado al Programa Nacional de Biodiésel y, por esta razón, el beneficio económico y social se le atribuyó totalmente al programa.

Para los temas de precios de los combustibles y biocombustibles, incluidos los rubros de impuestos y las exenciones asociadas, se tomaron los lineamientos dados en la legislación, reglamentación y política nacional de precios vigente para el año 2013 para el diésel, el biodiésel y sus mezclas (B8/B10). Para el periodo 2014 a 2025 se mantuvieron estos lineamientos.

Para la Tasa Representativa del Mercado (TRM), valor del cambio de dólares a pesos colombianos, se tomaron los históricos presentados en las resoluciones mensuales de precios del Ministerio de Minas de Energía, tanto para el Ingreso al Productor (IP) del diésel como del biodiésel, hasta septiembre de 2013 y para la proyección hasta 2025 se tomó constante el dato de este último mes. El Índice de Precios al Consumidor (IPC) y el incremento del salario mínimo en Colombia se proyectaron constantes al 3 % anual hasta 2025.

Resultados y discusión

El análisis beneficio/costo llevado a cabo en el presente estudio, bajo las condiciones y aproximaciones descritas en el acápite anterior, permitieron llegar a una primera aproximación del beneficio económico que este programa puede estar generando al país en el periodo 2007-2025. Los resultados finales de la cuantificación, tanto de los beneficios como de los costos integrados al estudio, se muestran en la Figura 1, donde se puede ver que, para el periodo 2007-2025, el Programa Nacional de Biodiésel puede representar para el país unos beneficios económicos de alrededor de 3.300 millones de dólares (USD\$ 3.300'000.000).

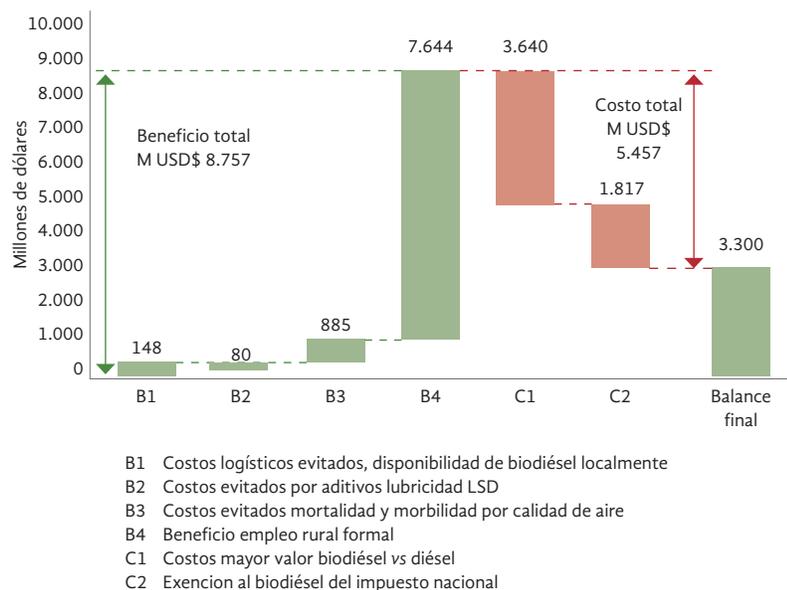
A continuación se presenta una breve descripción de la forma como se calculó cada uno de los ítems contemplados tanto para los beneficios como para los costos.

Beneficios del Programa Nacional de Biodiésel en Colombia para el periodo 2007-2025

Reducción de costos logísticos por disponibilidad local del biodiésel

En los últimos cinco años, debido a la política de mejora de la calidad del diésel, asociada a la mejora de la calidad del aire de las grandes ciudades colombianas, Colombia ha tenido que importar, en forma perma-

Figura 1. Consolidado de la evaluación beneficio-costo del Programa Nacional de Biodiésel para el periodo 2007-2025.



nente, cantidades importantes de diésel de ultra bajo azufre (ULSD) del mercado del Golfo de México. Entre 2008 y 2009 el país importó aproximadamente 27.500 barriles de diésel por día, producto que fue destinado principalmente al interior del país. Con la evolución de la regulación de la calidad del diésel, las importaciones se incrementaron en promedio a 53.000 barriles por día en el periodo 2010–2012, situación que se espera se mantenga durante 2013 y 2014.

La importación del combustible diésel desde el Golfo de México implica incurrir en costos de transporte marítimo hasta Pozos Colorados, terminal y puerto para importación de combustibles en Santa Marta, de desembarque del combustible y de transporte por ducto hasta la Refinería de Barrancabermeja en el interior del país. El biodiésel producido en el país (aprox. 9.600 barriles por día en 2012) ha evitado los costos logísticos de importación de esta misma cantidad de diésel, asumiendo la sustitución de un barril de diésel por uno de biodiésel. Para 2015, con la entrada en operación de la nueva Refinería de Cartagena (Reficar S.A.), se podrá internar parte de los excedentes de su producción de ULSD a la Refinería de Barrancabermeja, pero con una logística y unos costos que no difieren mucho de los que se tienen con producto importado. En la Figura 2 se aprecia el estimado de los costos logísticos anuales evitados al país y el total estimado para el periodo 2007–2025, por utilización del biodiésel en sustitución de diésel importado o transferido de la Refinería de Cartagena a la de Barrancabermeja.

Costos evitados por la sustitución de aditivos mejoradores de lubricidad

De acuerdo con lo que se ha encontrado en los diferentes estudios a nivel mundial y que ha venido sien-

do aprovechados en muchas partes del mundo, el uso del biodiésel como componente del combustible diésel comercial (mezclas BX) que se entrega a los usuarios finales, permite lograr las especificaciones de lubricidad exigidas en la reglamentación para el diésel de bajo azufre (LSD < 500 ppm) y, especialmente, el de ultra bajo azufre (ULSD < 15 ppm) (máx. 450 μm norma ASTM D6079 HFRR), sin necesidad de utilizar los aditivos diseñados y fabricados para este propósito.

En Colombia, el diésel de bajo azufre (LSD < 50 ppm de azufre) se empezó a comercializar en el país desde 2010 en Bogotá y el área metropolitana de Medellín, y desde 2013 en el resto del país. Si el país no utilizara el biodiésel de palma como componente del diésel que se comercializa localmente (B8/B10), se tendrían que importar aditivos mejoradores de lubricidad, para poder ajustar la especificación del diésel a lo exigido por la reglamentación nacional. En la Figura 3 se puede apreciar el consolidado de los costos anuales evitados al país y el total para el periodo 2007–2025, por la utilización del biodiésel como sustituto de los aditivos mejoradores de lubricidad.

Reducción de costos asociados a mortalidad y morbilidad por reducción de emisiones de $\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2,5}$

De acuerdo con los análisis de la información recopilada de la red de calidad del aire en las principales ciudades colombianas, a través del Subsistema de Información sobre Calidad del Aire, SISAI, las fuentes móviles se han convertido en una de las principales aportantes de contaminantes tóxicos a la atmósfera y el problema más grave de contaminación del aire en las grandes ciudades, principalmente Bogotá y Medellín, es el material particulado ($\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2,5}$), que

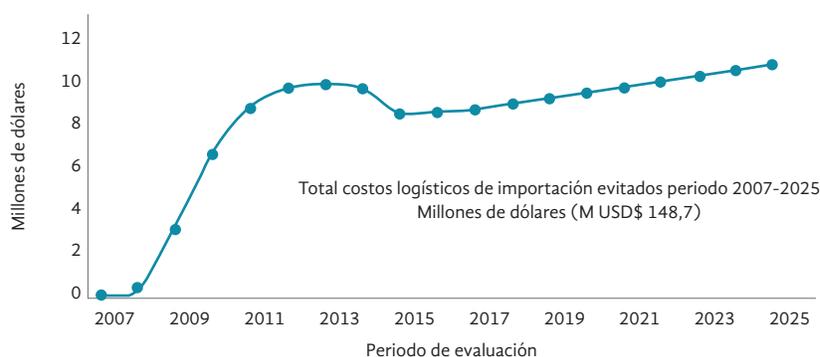
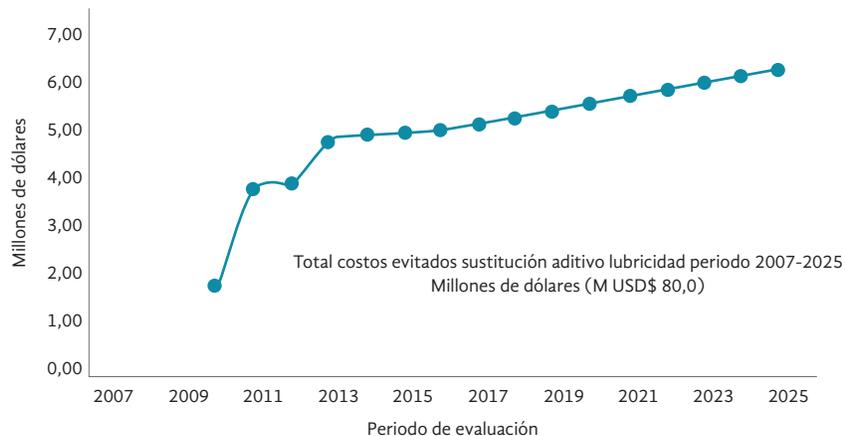


Figura 2. Consolidado de costos logísticos de importación evitados por utilización de biodiésel en sustitución de diésel importado o transferido de Reficar S.A.

Figura 3. Consolidado del costo evitado por sustitución del aditivo mejorador de lubricidad por biodiésel.



sobrepasa los valores máximos de concentración en el aire recomendados por la OMS ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Un estudio realizado por el Banco Mundial (Banco Mundial, 2012) para el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-MADS en 2012, muestra que los efectos atribuibles a la contaminación del aire urbano en Colombia son:

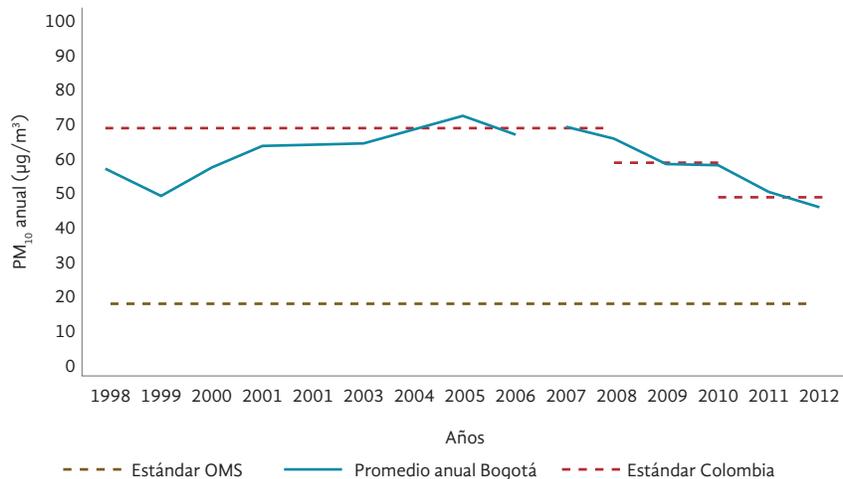
- Cerca de 5.000 muertes prematuras por año. Bogotá y el área metropolitana del Valle de Aburrá representan más del 75 % de la mortalidad asociada.
- Alrededor de 65 mil años perdidos por incapacidad (DALY, por sus siglas en inglés).
- Cerca de 4.700 nuevos casos de bronquitis crónica por año.

El costo medio anual estimado por el Banco Mundial, por los impactos en salud pública de la contami-

nación del aire en las ciudades de Colombia, fue de \$ 5'700.000 millones (\$ 5,7 billones) anuales o 1,1 % del PIB de 2009.

En la Figura 4, se puede apreciar cómo ha venido evolucionando la concentración de material particulado PM_{10} en el aire de Bogotá, desde finales de los años 1990 (Sánchez, S., 2013). Las reducciones que se aprecian a partir de 2008 se deben, en gran medida, al inicio del programa de reducción del azufre del combustible diésel en Colombia, complementado con la mezcla de biodiésel, que para el caso de Bogotá se inició en 2009 con 5 % en volumen (B5); hoy en día está reglamentado el uso de B8. A pesar de la reducción en la concentración de PM_{10} en el aire de Bogotá, aún se tienen niveles que superan ampliamente (en cerca de 2,5 veces) los máximos recomendados por la OMS.

Figura 4. Histórico Concentración Promedio de PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en Bogotá. (Sánchez, S., 2013).



Los principales parámetros de calidad del diésel, que inciden en las emisiones de material particulado ($PM_{10}/PM_{2,5}$) de los motores son, en su orden, el contenido de azufre, de aromáticos y poliaromáticos, la destilación del combustible (especialmente la fracción más pesada) y el número de cetano. Si bien la reducción de azufre en el diésel que se comercializa en Colombia debe estar aportando el más alto porcentaje en la reducción de emisiones de PM_{10} , el biodiésel de palma, por ser un componente de cero azufre, cero aromáticos y poliaromáticos y alto número de cetano (~68 vs ~45 del diésel), también debe estar aportando a esta reducción y, adicionalmente, puede estar contribuyendo a reducir la toxicidad del mismo.

Teniendo en cuenta la información anterior, en el presente estudio se buscó estimar el aporte que puede tener el biodiésel en la reducción de emisiones de PM_{10} de los motores y/o vehículos, a partir de correlaciones desarrolladas en programas de investigación llevados a cabo por entidades internacionales especialistas en estos temas: el Chevron Research Co. (Wall *et al.*, 1984), el European Program on Emissions, Fuels and Engines, EPEFE (Comasa *et al.*, 1996) y el CONCAWE-Automotive Emissions Management Group (Heinze *et al.*, 1996). En la Figura 5 se pue-

de apreciar el modelo desarrollado para estimar la reducción de emisiones de PM_{10} en vehículos, por el uso de biodiésel en mezcla con el diésel de bajo azufre (<50 ppm de azufre) que se consume en Colombia. La correlación desarrollada por el Chevron Research Co. es la que presenta la más baja reducción de material particulado para las condiciones de calidad del combustible colombiano, por lo cual, para ser lo más conservadores posibles en los estimativos, se tomó esta como base para los cálculos posteriores.

Debido a que para este estudio no fue posible disponer de modelos de dispersión de contaminantes en el aire para la ciudad de Bogotá y como una aproximación, se supuso que la reducción de la concentración de PM_{10} en el aire de las principales ciudades de Colombia es equivalente a la reducción de este contaminante en los motores y vehículos. A partir de estas estimaciones se cuantificó cuál podría ser el aporte del biodiésel en la reducción de los costos asociados a salud pública, de las principales ciudades de Colombia, que el Banco Mundial estimó para 2009 en 5,7 billones de pesos anuales, en el estudio llevado a cabo para el MADS de Colombia. En la Figura 6 se puede apreciar el modelo desarrollado para el estimado de reducción de costos por efectos de la reducción de emisiones de PM_{10} .

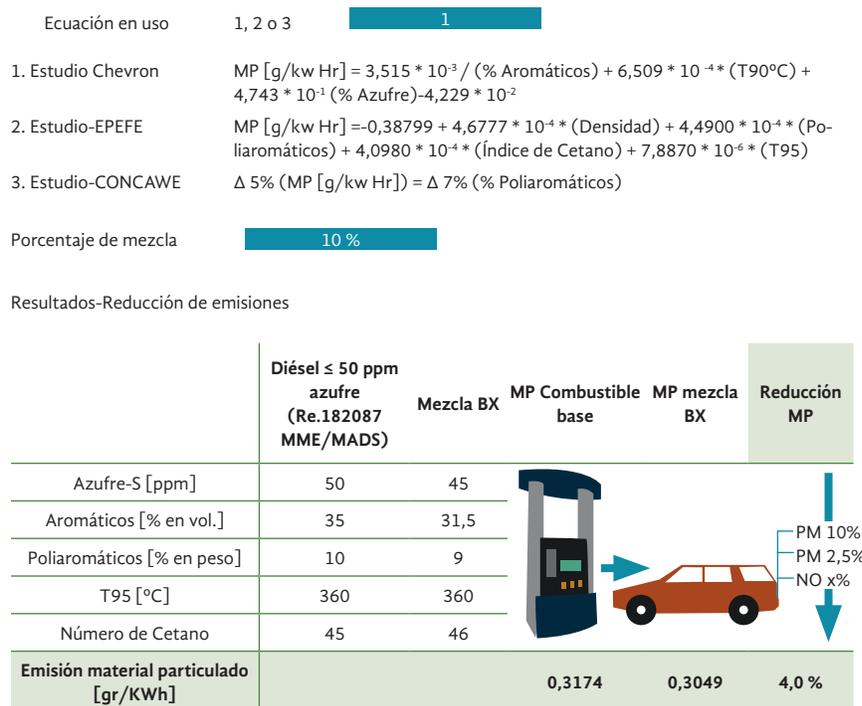


Figura 5. Modelo del impacto del uso del biodiésel en las emisiones de PM_{10} .

Figura 6. Modelo de estimación costos evitados en salud pública por reducción en emisiones de material particulado PM_{10} , periodo 2014-2015.

MP-Estimado Bogotá 2010	58	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
MP-Recomendado OMS 2010	20	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
COSTO ANUAL por mayor MP al de OMS	\$ 2,85	[Billones de pesos al año]
Porcentaje de mezcla BX	10,0 %	
Reducción MP	4,0 %	
Costo evitado por el BX	\$ 112.585	[Millones de pesos al año]
TRM	\$ 1.900	[Col\$/USD]
Costo evitado por el BX	\$ 59	[Millones de dólares al año]
Costo evitado entre 2014 y 2025	\$ 652	[Millones de dólares]

En el modelo de la Figura 6, para la estimación de costos evitados se tomó como referente la concentración de material particulado PM_{10} en Bogotá en 2010, según la información del Clean Air Institute, presentada en la Figura 4 (Sánchez, S., 2013). Para 2009-2010, la concentración de PM_{10} en Bogotá era de alrededor de $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 290 % superior a la máxima recomendada por la OMC ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

De los 5,7 billones de pesos anuales en costos en salud pública que determinó el Banco Mundial, por efectos de la contaminación del aire urbano en Colombia, se asume que se podría reducir el 50 % de los mismos (2,85 billones de pesos), al llevar el PM_{10} al máximo recomendado por la OMS ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). El aporte porcentual del biodiésel a esta reducción de costos, por mejora de la calidad del diésel, al mezclar del 8 al 10 %

de biodiésel, se toma igual al porcentaje de reducción de emisiones de PM_{10} , estimado con la correlación del Chevron Research Co., que es la que presenta los niveles más bajos. El valor de reducción anual en costos se proyecta constante de 2014 a 2025, bajo el supuesto que las condiciones de calidad de combustible diésel y de mezcla de biodiésel se mantienen constantes.

Bajo las condiciones y supuestos anteriores, el costo anual evitado por impactos en salud pública, por la mezcla del biodiésel al diésel consumido en el país, se estimó en 59,0 millones de dólares (TRM de 1900 pesos/dólar), para un total para el periodo 2014-2015 de 652,0 millones de dólares.

El estimado de la reducción en costos para la salud pública para el período 2008-2013, se puede observar en la Figura 7. Cabe mencionar que el uso de biodiésel en la ciudad de Bogotá, entró en vigencia en julio de 2009 con una proporción inicial de 5 % (B%), y que se siguió la misma metodología para las estimaciones del período 2014- 2025.

Figura 7. Modelo de estimación costos evitados en salud pública por reducción en emisiones de material particulado PM_{10} , periodo 2008-2013.

Escenario conservador	Costo evitado (millones de dólares)
2008	2,96
2009	21,92
2010	43,26
2011	52,14
2012	56,29
2013	56,29
Total	232,87

Entonces, la reducción estimada de costos para el periodo 2008-2025 asociados a mortalidad prematura (niños y adultos mayores principalmente) y morbilidad (enfermedades respiratorias crónicas), generados por la reducción y menor toxicidad de las emisiones de material particulado ($PM_{10}/PM_{2,5}$) de las fuentes móviles (vehículos), por efectos de la reducción de azufre, aromáticos, poliaromáticos y la mejora del número de cetano que presenta el diésel al ser mezclado con el biodiésel de palma, es de alrededor de 885 millones de dólares (M USD\$ 885.0).

Beneficio socio-económico estimado del Programa Nacional de Biocombustibles para motores diésel

Este aparte del estudio no pretende hacer una evaluación detallada de todos los aspectos socio-económicos que se pueden tener alrededor de la agroindustria de la palma de aceite. El análisis que se presenta busca cuantificar, a través de un modelo, el impacto económico que se genera por el ingreso directo recibido por la población vinculada a la palmicultura, gracias a la generación de empleo directo e indirecto. El presente estudio no cuantifica los beneficios que por concepto de seguridad social (salud, pensiones y riesgos laborales) y programas de Responsabilidad Social y Empresarial (RSE) se pueden generar en las zonas rurales donde se establecen los cultivos de palma y se produce la materia prima para la producción del biodiésel. Estos son aspectos que, en forma directa o indirecta, compensan el impacto fiscal que tiene el Estado, por

la exoneración al biodiésel del pago del Impuesto Nacional a la gasolina y al diésel (IVA e Impuesto Global hasta 2012).

Para el análisis planteado, es necesario tomar indicadores de productividad del sector palmicultor en Colombia (Fedepalma, 2012), generación de empleos directos e indirectos, nivel salarial y calidad del empleo (Olivera, M. *et al.*, 2011 y Perfetti del Corral, M. *et al.*, 2003), entre otros. En Tabla 1 se pueden ver los índices de productividad y requerimiento de aceite crudo de palma (CPO por su sigla en inglés) por año, para producir 1.000 barriles por día (BPD) de biodiésel y el área cultivada requerida. El escenario bajo de productividad de CPO (3 t/ha) se tomó del mínimo reportado por Fedepalma desde 2000, el escenario medio fue la productividad de 2011 (3,52 t/ha) que fue el dato reportado por Fedepalma en su Anuario Estadístico de 2012 (Fedepalma, 2012) y el escenario alto (4 t/ha) del promedio que se traía en 2005 y que, posteriormente, tuvo un periodo de reducción hasta 2010.

En la Tabla 2 se pueden apreciar las condiciones laborales definidas por el Ministerio de Trabajo de Colombia para 2013, para las personas que devenguen el salario mínimo. De acuerdo con el documento “Caracterización del empleo en el sector palmicultor colombiano” publicado por Fedesarrollo en 2011 (Olivera, M. *et al.*, 2011), el nivel salarial del sector es 20 % superior al de los otros sectores agropecuarios. Con base en esto se calcula el salario mínimo promedio mensual para las personas vinculadas laboralmente, directa o indirectamente, al sector palmicultor.

Tabla 1. Requerimientos de CPO y área cultivada para producir 1.000 barriles de biodiésel por día (BPD).

Concepto	Unidad	Bases de cálculo	Escenarios productividad	
Base de cálculo producción biodiésel	Barriles por día (BPD)	1.000		
Factor de conversión	Bbl biodiésel/t	7.217		
Base cálculo biodiésel en masa	Toneladas por día (TPD)	139		
Requerimientos de aceite crudo de palma	t CPO/t biodiésel	1.045		
Aceite de palma requerido	Toneladas por día (TPD)	145		
Factor de conversión	Bbl CPO/t	6,88		
Días/Año	Días	365		
Aceite crudo de palma (CPO) requerido	Toneladas CPO/año	52.851	52.851	52.851
Productividad de CPO	Toneladas CPO/Ha/año	3,00	3,52	4,00
Área requerida para producción de CPO	Hectáreas requeridas	17.517	15.014	13.213

Tabla 2. Condiciones laborales definidas para remuneración de Salario Mínimo Legal en sector palmero.

Aspectos económicos ¹	Condiciones laborales 2013
Salario mínimo legal (SML)	589.500
Auxilio de transporte	70.500
Ingreso mínimo mensual	660.000
Factor prestacional legal del asalariado	1,54
Mejora de ingreso del sector palmero	20 %
Salario promedio Sector Palmero	1'159.896

1. Fuente: Ministerio del Trabajo.

Con base en la información de las Tablas 1 y 2, se estiman los empleos generados en las zonas agrícolas donde se produce el aceite de palma, para alcanzar 1.000 barriles de biodiésel por día, y los ingresos que perciben las comunidades como remuneración al empleo.

Posteriormente, utilizando la proyección de ventas de biodiésel realizada en la parte inicial del estudio, en el cual se estimó unas ventas promedio de biodiésel en Colombia en 2013 de 9.690 BPD (~504.000 t de CPO/año), se calcula el empleo total generado y los ingresos percibidos por las comunidades, por la producción del CPO requerido para la producción del biodiésel. En la Tabla 3 se pueden ver los resultados, teniendo en cuenta los tres niveles de productividad de CPO tomados en la Tabla 1.

De acuerdo con estos estimados y tomando el escenario promedio de productividad para 2013, en las zonas donde se produce el aceite crudo de palma (CPO por su sigla en inglés) para la producción del

biodiésel, se habrán generado alrededor de 45.467 empleos, entre directos e indirectos, y las comunidades habrán recibido un estimado de 344,3 millones de dólares como remuneración al empleo, recursos que alimentan la economía de estas zonas y ayudan a generar una actividad comercial más dinámica, por las transacciones en bienes y servicios que se generan entre los habitantes de la zona con estos recursos. Adicional a esto, por ser empleo formal que cumple con todos los requerimientos de seguridad social exigidos por la ley colombiana, las personas vinculadas laboralmente al sector de la palma tienen cubiertas, en alto porcentaje, sus necesidades básicas y estarán afiliadas al régimen contributivo de salud y pensiones.

Ahora, tomando la información del histórico de ventas de biodiésel en el periodo 2007-2012 y las proyecciones para el periodo 2013-2025, se calculan los empleos permanentes que estará generando el Programa Nacional de Biodiésel y los ingresos, por año y totales del pe-

Tabla 3. Empleos generados e ingresos estimados para la comunidad por la producción del CPO para biodiésel durante el año 2013.

Producción estimada promedio de B100 para 2013	BPD	9.690		
Niveles de productividad de CPO	t/Ha	3,00	3,52	4,00
Trabajos agrícolas generados	Empleos totales	53.348	45.467	40.011
Ingreso estimado comunidad áreas palmeras en el año 2013	Millones de pesos	742.544	632.850	556.908
	Millones de dólares ¹	403,9	344,3	303,0

1. TRM promedio enero-septiembre 1838,30

riodo 2007-2025, que las comunidades en las zonas de producción del aceite crudo de palma estarán recibiendo por concepto de la remuneración al empleo.

La Figura 8 muestra que, bajo las mismas condiciones de mezclas de 2013, los ingresos a las comunidades pueden ir creciendo hasta llegar a niveles cercanos a los 700 millones de dólares por año, con un acumulado a 2025 cercano a los 7.645 millones de dólares. El empleo requerido para la producción del CPO dedicado a la producción de biodiésel puede llegar a cerca de 60.000 empleos en 2025, manteniendo las condiciones de mezclas que se tenían en 2013.

Costos asociados al Programa Nacional de Biodiésel en Colombia para el periodo 2007-2025

Costo económico por consumir biodiésel en reemplazo de diésel

Para determinar el costo económico de consumir biodiésel en lugar de diésel, teniendo en cuenta

que tanto el ingreso al productor de diésel como de biodiésel son definidos por el Gobierno Nacional, en resoluciones que emite cada mes basado en la reglamentación nacional vigente sobre el tema, se tomaron los datos del ingreso al productor (IP) del biodiésel, el ingreso al productor (IP) del diésel y estimaciones del costo de las importaciones de diésel a las refinerías de Cartagena y Barrancabermeja, para el periodo 2007-primer semestre de 2013. Para efectos de realizar una comparación económica adecuada, se tomó el IP del biodiésel y se le restó el costo de importación de diésel a Cartagena y a Barrancabermeja (Tabla 4) y se multiplicó por los volúmenes de biodiésel del correspondiente mercado (Costa Atlántica e interior). Para el periodo 2014-2025, se empleó el mismo diferencial observado para el primer semestre de 2013.

Ahora, si tomamos el histórico de ventas de biodiésel para el periodo 2007-primer semestre de 2013 y las proyecciones realizadas hasta 2025, tanto para el mercado de la Costa Atlántica como del interior del país, podemos calcular el costo asociado al consumo de biodiésel por sustitución de diésel importado. En

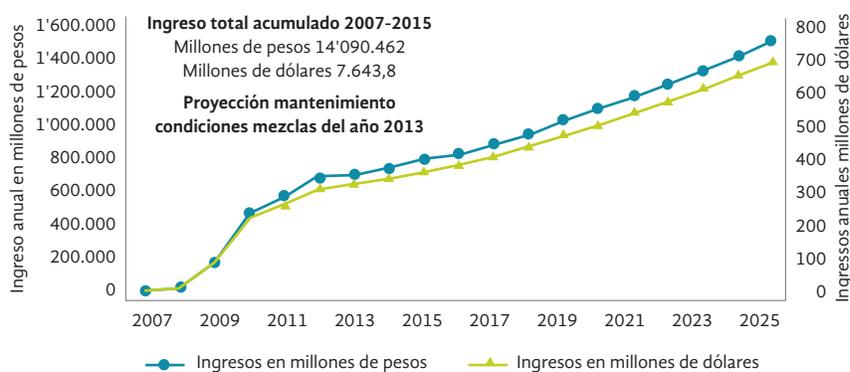


Figura 8. Proyección del ingreso total anual y acumulado periodo 2007-2025 en las comunidades de las zonas palmeras, por producción de CPO para biodiésel.

Tabla 4. Diferencial entre el IP de biodiésel y el estimado del costo de importación del diésel.

(USD/Barril)	IP Biodiésel-Costo importación Cartagena	IP Biodiésel-Costo importación Barrancabermeja
2007		
2008	89,1	58,2
2009	150,3	76,4
2010	82,5	82,4
2011	82,8	80,8
2012	78,9	78,5
2013 I trimestre	53,5	51,3
2014-2025	53,5	51,3

la Figura 9 podemos ver los costos estimados año a año y el total acumulado para el periodo 2007-2025.

Los costos asociados al mayor valor del biocombustible frente al diésel de producción nacional e importado y su impacto sobre el precio final del combustible suministrado a los usuarios, son de alrededor de 3.640 millones de dólares (M USD\$ 3.640,0).

Costos para el país por la exención de impuestos al biodiésel

La Ley 939 del 2004, por medio de la cual se dieron los estímulos a la producción y comercialización de biocombustibles de origen vegetal o animal para uso en motores diésel, con relación a la exención de los impuestos Global e IVA que se le cargan a los combustibles, especifica en su Artículo 8° que “El biocombustible de origen vegetal o animal para uso en motores diésel de producción nacional con destino a la mezcla con ACPM estará exento del impuesto a las ventas” y adiciona este inciso al Artículo 477 del Estatuto Tributario. Igualmente en el Artículo 9° dice “El biocombustible de origen vegetal o animal para uso en motores diésel de producción nacional que se des-

tine a la mezcla con ACPM estará exento del impuesto Global al ACPM”.

Estos dos impuestos fueron cambiados a partir del 1° de enero de 2013 por el Impuesto Nacional a la Gasolina y al Diésel, en la Ley 1607 de diciembre de 2012, pero esta Ley, en su Artículo 171, dejó explícito que los biocombustibles para uso en motores diésel no están sujetos a este nuevo impuesto y conservan la calidad de exentos del impuesto sobre las ventas, de acuerdo con lo establecido en el Artículo 477 del Estatuto Tributario.

Por esta circunstancia, para el cálculo del impacto fiscal que ha tenido el programa de biodiésel desde 2008 a 2012 y la proyección del 2013 a 2025, se deben calcular las exenciones tributarias del IVA e Impuesto Global hasta el 31 de diciembre de 2012 y del Impuesto Nacional a la gasolina y al diésel a partir del 1 de enero de 2013. Con base en el histórico de ventas de biodiésel hasta 2012 y el proyectado de ventas hasta 2025, bajo el escenario de mezclas que se tiene en 2013 y en forma similar a como se han tomado para todas las proyecciones que se han realizado en este estudio, se calculan los costos para el Gobierno Nacional, asociados a la exoneración de impuestos al bio-

Figura 9. Costos para el país asociados al mayor precio del biodiésel.

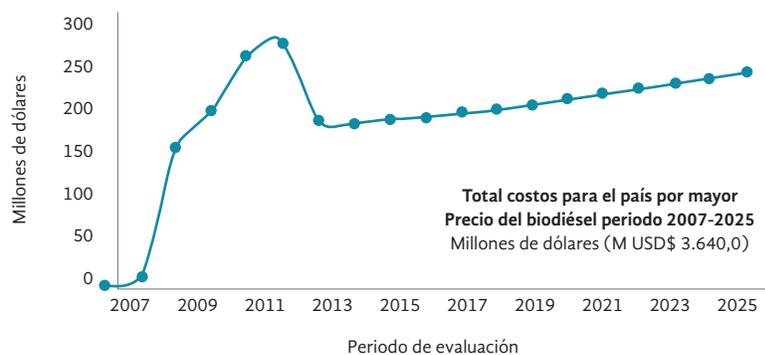
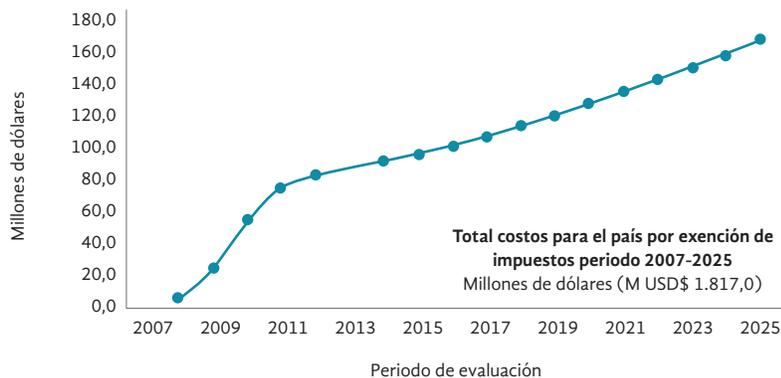


Figura 10. Costos para el país asociados a la exención de impuestos al biodiésel.



diésel. Para los valores de IVA y del Impuesto Global de los años 2008 a 2012, se toman promedios anuales del valor que se aplicó mensualmente para cada impuesto y se multiplican por el volumen de biodiésel vendido cada año. Para 2013, se toma el valor promedio del Impuesto Nacional a la gasolina y al diésel que fue de \$ 1.073 por galón y para el periodo 2014–2025, se proyecta con base en una inflación del 3 % anual.

En la Figura 10 se puede ver el costo generado año a año para el Gobierno Nacional, por los impuestos que se dejan de recibir por la exención impuesto al biodiésel, que para el total del periodo 2007-2025 se estima en alrededor de 1.817 millones de dólares (M USD\$ 1.817).

Conclusiones

- El balance consolidado del análisis beneficio-coste del Programa Nacional de Biocombustibles para motores diésel para el periodo 2007-2025, de acuerdo con los resultados de este primer estudio, presenta un beneficio económico para el país estimado en 3.300 millones de dólares (M USD\$ 3.300).
- El uso del biodiésel de palma para mezcla con el diésel fósil producido y/o importado en el país, está permitiendo sustituir alrededor de 9.800 barriles por día de diésel importado, con los beneficios técnicos, ambientales y de impacto en calidad de aire y salud pública que esto genera.
- De acuerdo con lo definido por la Ley 1205 de 2008 y la Resolución 182087 de 2007 de los ministerios de Minas y Energía (MME) y Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), desde el 1° de enero de 2013 todo el diésel que se distribuya en el país debe con-

tener menos de 50 partes por millón (ppm) de azufre. Esto no tiene en cuenta la reducción adicional que se logra por la mezcla posterior con biodiésel, que es un componente de cero azufre.

- Por otro lado, el biodiésel es y será factor fundamental para mejorar aún más el producto entregado desde las refinerías de Cartagena y Barranca-bermeja, ya que el biodiésel aporta también en la reducción de aromáticos y poliaromáticos, componentes no deseados en el combustible por su alta toxicidad, y en la mejora del número del cetano, parámetro de gran importancia en el desempeño técnico y ambiental de los motores y vehículos.
- Las señales reglamentarias que se vienen dando de parte de los entes reguladores muestran que a futuro el diésel tiene que buscar reducciones de azufre a niveles de 10 a 15 ppm, reduciendo simultáneamente el contenido de aromáticos y poliaromáticos y aumentando el cetano. Bajo esta perspectiva, el biodiésel se convierte en un componente básico en la mejora del diésel actual, por ser un componente de cero azufre, cero aromáticos/poliaromáticos y alto número de cetano.
- Uno de los aspectos importantes que no fue tenido en cuenta en este estudio y que se recomienda analizar en una segunda fase, es el aporte del biodiésel a la mitigación del calentamiento global, por reducción de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por la sustitución de diésel fósil, que de acuerdo con los estudios contratos por el BID, dentro del convenio BID-MME de 2010 a 2012, con un consorcio internacional liderado por la empresa EMPA de Suiza, es de alrededor del 83 % (EMPA *et al.*, 2012).

Bibliografía

- Camarsa, M., Hublin, M., y Mackinve, R. (2006). Impact of EPEFE Data on the European Auto-Oil Process. *SAE Technical Paper 961076*.
- EMPA-Laboratorios Suizos Federales para Ciencia de Materiales y Tecnología, Centro Nacional de Producción Más Limpia-CNPML y Universidad Pontificia Bolivariana-UPB. (2012) *Evaluación del ciclo de vida de la cadena de producción de biocombustibles en Colombia*. Estudio desarrollado

- dentro del Convenio de Cooperación BID/MME. Estrategias de energía sostenible y biocombustibles para Colombia ATN/JC-10826-CO y ATN/JF-10827-CO. Enero 2012.
- FEDEPALMA. (2012). *Anuario Estadístico 2012*. La Agroindustria de la Palma de Aceite en Colombia y el Mundo. 2007 – 2011.
- Heinze, P., Gadd, P., Guttman, H., Hall, D.E., Mercogliano, R., Mann, N., Nancekievill, G. y Renault, F. (1996). Diesel Fuel/Engine Interaction and Effects on Exhaust Emissions. *Prepared for the CONCAWE Automotive Emissions Management Group, Bruselas*.
- Olivera, M., Escobar, D., Rojas, N., Moreno, J., Quintero, C. y Tobocho, A. (2011). Caracterización del Empleo en el Sector Palmicultor Colombiano. *Cuadernos Fedesarrollo 37*.
- Perfetti del Corral, M.; Zorro, H.; Ortiz, O.; Zarate, C.; Muñoz, J.; Arango, P.; Leal, S.; y Aguilar, L. (2003). *Impactos Socio-Económicos de la Agroindustria de la Palma de Aceite en Colombia*. Centro de Estudios Regionales Cafeteros y Empresariales, CRECE.
- Sánchez, Sergio. (2013). Transporte y Calidad de Aire. Clean Air Institute – CAI. Ecopetrol S.A. *Foro de Calidad de Combustibles*. Bucaramanga. Agosto de 2013.
- Wall, J.C. y Hoekman, S.K. (1984). Fuel Composition Effects on Heavy-Duty Diesel Particulate Emissions. *SAE Technical Paper 841364*.
- World Bank Report No. 71443 – CO. July 26, 2012. *Strengthening Environmental and Natural Resources Institutions. Study 2: Environmental Health in Colombia: An Economic Assessment of Health Effects*. Colombia.