

IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS CLAVE PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA EN LA DISMINUCIÓN DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES DE LAS FUENTES MÓVILES, POR EL USO DE BIOCOMBUSTIBLES (ALCOHOL CARBURANTE Y BIODIESEL)

**OSCAR ALBERTO NOREÑA TRIGOS
JUVENAL ESPITIA VILLAMIL**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2009**

IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS CLAVE PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA EN LA DISMINUCIÓN DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES DE LAS FUENTES MÓVILES POR EL USO DE BIOCOMBUSTIBLES (ALCOHOL CARBURANTE Y BIODIESEL)

**JUVENAL ESPITIA VILLAMIL
OSCAR ALBERTO NOREÑA TRIGOS**

**Monografía para optar al título de
Especialista en Ingeniería Ambiental**

**Director
RICHARD DÍAZ GUERRERO
INGENIERO QUÍMICO, Esp. Ing. Ambiental**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL
BOGOTA, D.C.
2009**

Ni la Universidad Industrial de Santander, ni los jurados se hacen responsables de los conceptos expuestos en el presente documento.

A mi padre, mi madre, mis hermanos y a la mujer de mi vida.....mi Rocío de la mañana que cada día me llena de ilusión para alcanzar nuestros sueños.

Oscar Noreña.

*A mis dos mujeres....de la casa por supuesto
Juvenal Espitia*

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos enormemente la colaboración prestada por el ingeniero Richard Díaz Guerrero durante la planeación, ejecución y elaboración del informe de la revisión.

Expresamos nuestros agradecimientos para con el doctor Elkín Sánchez, quien prestó a nuestro trabajo una asesoría invaluable durante la planeación y corrección del objetivo de la revisión y del establecimiento del alcance del mismo, así como de los contenidos mínimos del documento.

Nuestra expresión de gratitud para el doctor Luis Jorge Hernández, quien motivó y apoyo la realización de este trabajo, y supo apreciar el interés que los autores expresaron tener en la ejecución del mismo, muchas gracias.

Tabla de Contenido

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1 ANTECEDENTES	21
2 JUSTIFICACIÓN DE LA REVISIÓN	27
3 PRODUCCIÓN Y USO DE BIOCOMBUSTIBLES	29
3.1 OBTENCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES	33
3.2 EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLES DE ORIGEN AGRÍCOLA	37
3.3 DISMINUCIÓN DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES DERIVADA DEL USO DE COMBUSTIBLES DE ORIGEN AGRÍCOLA	38
4 DISEÑO DE LA METODOLÓGIA DE REVISIÓN	41
4.1 Identificación de la necesidad de la revisión.	43
4.2 Definición de la pregunta de interés.	44
4.3 Elaboración de un protocolo de revisión.	44
4.4 Resumen y síntesis de los estudios relevantes para el análisis.	51
4.5 Reporte Final.	52
5 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA DE REVISIÓN	54
5.1 Resultados de la revisión de los documentos	56
5.2 Resultados del análisis de los documentos relevantes	78
6. CONCLUSIONES SOBRE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA	85
7. BIBLIOGRAFÍA	88

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Jerarquía de diseños de estudio para ingeniería de software.	49
Tabla 2: Adaptación de jerarquías de diseños de estudio para la revisión	50
Tabla 3: Criterios de sesgo para la revisión	51
Tabla 4: Formato de presentación de resultados de la revisión	52
Tabla 5: Listado de artículos y criterios de selección aplicados al grupo de documentos inicialmente revisados	57
Tabla 6: Listado de documentos relevantes de acuerdo con los criterios de calidad y sesgo potencial	73

Lista de gráficas

	Pág.
Gráfica 1 Participación del consumo de crudo mundial. 2006	13
Gráfica 2 Consumo de Gasolina y combustible Diesel por sector de la economía colombiana. 2006	14
Gráfica 3 Reacción de transesterificación para la producción de ésteres metílicos (Biodiesel)	34
Gráfica 4: Diferentes fuentes de la producción de combustibles alternativos	35
Gráfica 5: Proceso industrial de producción de Biodiesel	35
Gráfica 6: Diferentes fuentes para la producción de etanol	36

TITULO: IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS CLAVE PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA EN LA DISMINUCIÓN DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES DE LAS FUENTES MÓVILES, POR EL USO DE BIOCOMBUSTIBLES (ALCOHOL CARBURANTE Y BIODIESEL)

Autores: NOREÑA TRIGOS. Óscar Alberto; ESPITIA VILLAMIL, Juvenal**

Palabras Clave: Revisión sistemática, biocombustibles, biodiesel, etanol, emisiones.

Los combustibles de origen agrícola han sido considerados una alternativa para la solución de los problemas de escasez de fuentes de energía. Se ha sugerido, también, que pueden ser neutrales en cuanto a la generación de dióxido de carbono y eficaces en la reducción de los gases contaminantes emitidos por los vehículos.

En Colombia, con ocasión de la emisión del documento Conpes 3510, desde el 2005 se viene utilizando en los vehículos a gasolina una mezcla combustible de la que no se ha llevado a cabo ninguna evaluación de sus potenciales efectos perjudiciales sobre la salud de las comunidades y el medio ambiente.

Este trabajo emplea la metodología de la revisión sistemática, para la identificación de los aspectos clave necesarios en la evaluación, objetiva, del uso de biocombustibles en Colombia.

Mediante la aplicación de un protocolo de revisión se obtuvo un conjunto de documentos compuestos por 8297 estudios, consultados en bases de datos indexadas, que, luego de la depuración por el título, palabras clave y contenido del resumen, se redujo a un grupo de 62 artículos de revisión.

La revisión mostró que el empleo de estas mezclas combustibles disminuye la emisión de monóxido de carbono, material particulado, hidrocarburos no quemados y benceno, pero aumenta la emisión de otros contaminantes, como el acetaldehído y el formaldehído. Se identificaron, como aspectos clave, el desarrollo de estudios de ciclo de vida y eficiencia energética, así como de sistemas de monitoreo del acetaldehído y el formaldehído. Por se considera necesario llevar a cabo estudios para la medición de la exposición y el efecto de esta sobre la salud de las poblaciones.

}

* Trabajo de grado

** Escuela de Ingeniería Química. Especialización en Ingeniería Ambiental. Director: Ingeniero Richard Díaz Guerrero

TITLE: IDENTIFICATION OF KEY ASPECTS FOR THE ASSESSMENT OF EFFICIENCY IN THE DECLINE OF THE POLLUTANT EMISSIONS FROM MOBILE SOURCES, BY THE BIOFUEL USE (ALCOHOL FUEL AND BIODIESEL)*

Authors: NOREÑA TRIGOS. Oscar Alberto; ESPITIA VILLAMIL, Juvenal**

Keywords: systematic review, biofuels, biodiesel, ethanol, emissions.

The fuels of agricultural origin have been considered an alternative for solving the problems of shortage of energy sources. It has been suggested, too, that can be neutral in terms of generating carbon dioxide and effective in the reduction of gaseous pollutants emitted by vehicles.

In Colombia, when issuing the document Conpes 3510, since 2005 has been used in gasoline vehicles fuel mixture which has not conducted any evaluation of their potential harmful effects on health of communities and the environment.

This paper uses the methodology of systematic review to identify key aspects necessary in evaluating, objectively, the use of biofuels in Colombia.

By applying a protocol for review of documents obtained a set consisting of 8297 studies, respondents in indexed database, which, after purification by the title, keywords and content of the summary, was reduced to a group of 62 artículos de revisión.

The review showed that the use of such fuel mixtures reduces the emission of carbon monoxide, particulate matter, unburned hydrocarbons and benzene, but increases the emission of other pollutants such as acetaldehyde and formaldehyde. Were identified as key issues, development studies and life cycle energy efficiency and monitoring systems of acetaldehyde and formaldehyde. It is considered necessary to conduct studies to measure exposure and effect of this on the health of populations.

Need to develop research around the relevance and feasibility, technical and economic, the development of biofuels of agricultural origin second generation, ie of those who use all parts of the plant and fruit not only for the obtaining solutions fermentable starch and cellulose from which it can be distilled alcohol.

* Thesis

** Chemical Engineer School. Environmental Engineer Specialist. Director: Richard Díaz Guerrero

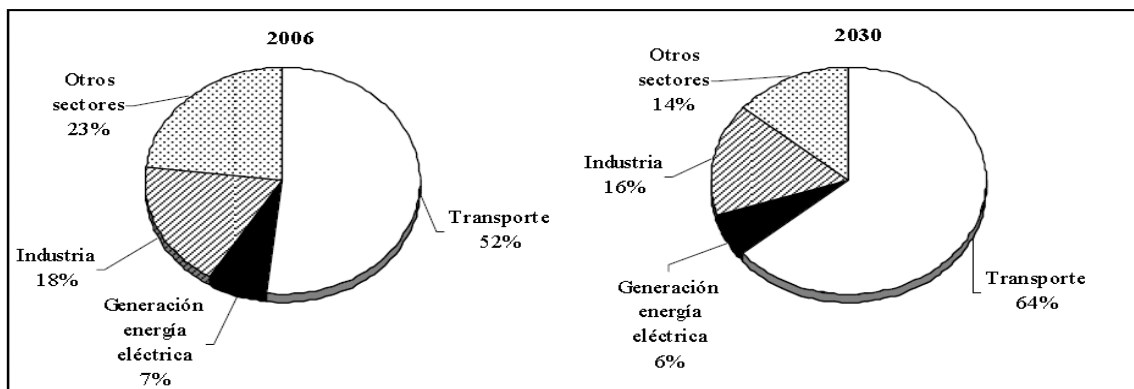
INTRODUCCIÓN

La utilización de combustibles de origen fósil con fines de locomoción y transporte ha sido parte inseparable del estilo de vida de la sociedad. El empleo de dichos combustibles ha tenido, sin embargo, un efecto colateral perjudicial sobre la calidad del aire y la disponibilidad de fuentes energéticas. Es así como durante los últimos años, las reservas de petróleo han venido disminuyendo, hecho que ha sido acompañado, además, por una producción que ha variado en función de la demanda y de las políticas de producción de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) [33].

La demanda de petróleo se halla dirigida, fundamentalmente, al uso en el sector del transporte, como se puede observar en la gráfica 1. La destinación de los combustibles obtenidos a partir del petróleo para fines relacionados con el transporte es un poco mayor de la mitad de la producción mundial y se estima que puede llegar a aumentar a un 64% para el 2030 [33]. Gráfica 1: Sectores consumidores de Petróleo en el mundo y el porcentaje de participación en 2006 y su prospección a 2030

Gráfica 1 Participación del consumo de crudo mundial. 2006

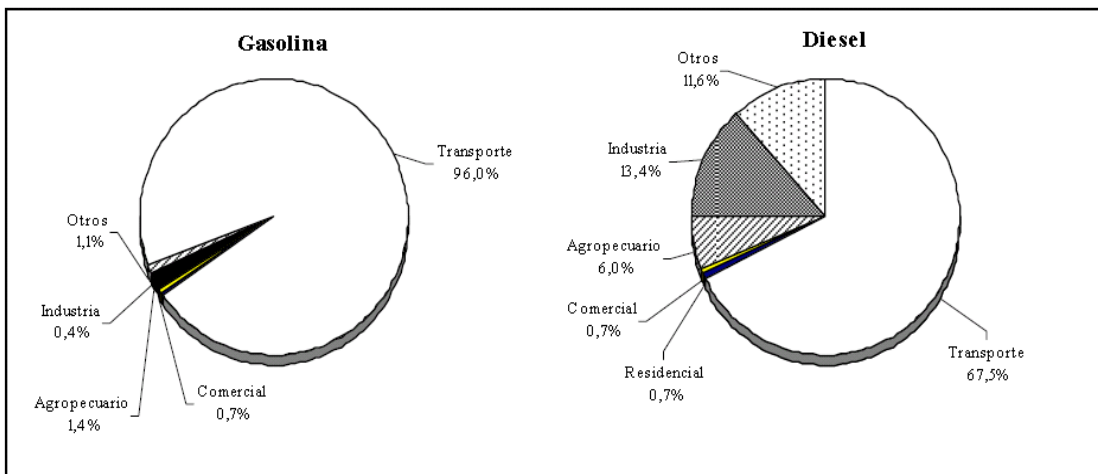
Participación del consumo de crudo mundial por sectores 2006 y 2030



Fuente: Documento CONPES 3510

Gráfica 2 Consumo de Gasolina y combustible Diesel por sector de la economía colombiana. 2006

Participación del consumo de derivados de crudo en Colombia por sectores. 2006



Fuente: Documento CONPES 3510

De acuerdo con el documento de política sobre los biocombustibles de la Royal Society [17], la movilidad es uno de los aspectos clave para las aspiraciones de mejora en la calidad de vida de nuestra sociedad, y en ese mismo orden de ideas, el transporte se ha convertido en el principal destinatario de la demanda de petróleo, que se predice crecerá en un 1,3 % cada año hasta el 2030, alcanzando los 116 millones de barriles por día, muy por encima de los 84 millones de barriles reportados en 2005. Esta demanda creciente permite inferir que las fuentes de combustibles fósiles empiecen a escasear y aumentar de precio en las próximas décadas, haciendo además, que el suministro comience a verse interrumpido.

De otro lado, en el caso de Colombia, el volumen de reservas de crudo ha venido disminuyendo durante los 10 años precedentes en un 5,7% promedio anual, en tanto que la producción ha disminuido a razón de 0,5% promedio anual en el mismo período [33]. En cuanto a la demanda de combustibles, en el mismo período señalado antes, ha mostrado un crecimiento sostenido. Las proporciones

de consumo para fines relacionados con el transporte es de 96% en el caso de la gasolina y de 67% en el caso del diesel [33].

El empleo intensivo de los combustibles para fines relacionados con el transporte se halla vinculado, no obstante, con la agudización del cambio climático y la contaminación atmosférica. Problemas que son más graves en ciudades muy pobladas, en las que se concentran los vehículos causantes de la contaminación [34].

Entre las soluciones para enfrentar la escasez y aumento de precios de los combustibles fósiles, así como el deterioro de la calidad del aire y la agudización del cambio climático, se ha propuesto el uso de combustibles de origen agrícola, como el etanol producido a partir cultivos de biomasa, en lugar de la gasolina, arguyendo que estos tienen el potencial de ser combustibles renovables. En defensa del uso de estos combustibles alternativos se sostiene que cumplen con la función de oxigenar la mezcla combustible, permitiendo una mejor oxidación de hidrocarburos y de reducir las cantidades de compuestos aromáticos y monóxido de carbono liberados a la atmósfera. También se afirma que las emisiones de CO₂ generadas por la combustión de estos son compensadas por la absorción del gas carbónico durante el crecimiento de los cultivos de etanol a partir de la cual se produce, minimizando las emisiones de este gas [31].

Es así, entonces, como desde la década de los setenta del siglo XX, durante la primera crisis de los precios del petróleo, se ha pensado en la utilización de los combustibles de origen agrícola como alternativa para la solución de los problemas de escasez de fuentes de energía [1], posteriormente, con la preocupación creciente sobre el calentamiento de la tierra, debido a la emisión constante de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono, también se ha considerado a los biocombustibles como una solución a dicho problema. Se afirma que los combustibles que provienen del procesamiento del material vegetal,

serían neutrales en cuanto a la generación de dióxido de carbono, ya que el que se libera luego de la combustión del biocombustible, podría ser absorbido por las nuevas plantas mientras crecen[†].

Adicionalmente, se dice que los biocombustibles ayudarán a garantizar la seguridad energética de los países que cuentan con escasas reservas de petróleo. La magnitud de la preocupación se entiende en la medida en que la movilidad es una de las necesidades más apremiantes de nuestra sociedad y que esta es la actividad que más demanda combustible en el mundo, con aproximadamente 84 millones barriles por día para el 2005[‡].

Los biocombustibles ya se hallan inmersos en el mercado global y su empleo como combustible para los motores de combustión interna de los vehículos particulares y de carga es ya una realidad. La producción mundial de alcohol carburante se incrementó en un 194% entre 2000 y 2006, alcanzando 318.000 millones de barriles (mmb) (50,55 mil millones de litros), de los cuales el 87% fue producido por Estados Unidos (EE.UU) y Brasil. Los principales exportadores fueron Brasil con el 50%, Europa con el 4%, Asia con el 2% y EE.UU. con el 1%[§].

En Colombia, a partir de la sanción de la Ley 693 de 2001, se reglamentó el uso del etanol como carburante mezclado con la gasolina al 10%, así como también, su producción y comercialización. Debido a ello, actualmente se consumen en Colombia alrededor de 950.000 litros de etanol por día^{**}.

[†] Sustainable Biofuels: Prospects and Challenges. The Royal Society. Policy Document. Enero 2008. 90 Pág.

[‡] *Ibid*

[§] Documento CONPES 3510. Consejo Nacional de Política Económica y Social. República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación. 2008. 44 Pág.

^{**} Ministerio de Minas y Energía de la República de Colombia. Política General En Materia De Biocombustibles. Bogotá. Colombia. 2008. 10 Pág

Sin embargo, la utilización intensiva de los combustibles de origen agrícola, como fuentes de energía de los vehículos, no se halla exenta de inconvenientes sobre los cuales ya se ha advertido desde diversos frentes. Hay quienes sostienen que la producción masiva de combustibles de origen agrícola, además de causar la sobreexplotación de la tierra, la disminución de la biodiversidad, la afectación de la seguridad alimentaria y la utilización intensiva de fertilizantes y plaguicidas para sostener la producción necesaria, tampoco logra hacerse obteniendo un ganancia energética neta, y que su utilización tampoco tiene lugar disminuyendo la cantidad de contaminantes atmosféricos de importancia [2][3][4][5][6].

Por tales razones, se ha advertido sobre la necesidad de efectuar la evaluación de los impactos medioambientales, económicos y sociales de la implementación de la política de fomento de los biocombustibles, lo cual no significa que no deban ser considerados como parte de la solución al problema energético de la sociedad, sino que es necesario conocer los efectos de su uso intensivo para tomar las medidas contingentes adecuadas^{††}.

También, hay preocupación sobre la capacidad de reducir las emisiones de gases favorecedores del calentamiento global y de contaminantes atmosféricos que tiene cada biocombustible, debido a que estos provienen de distintas materias primas, hecho que determina su capacidad para mitigar el efecto. Sin mencionar el impacto medioambiental, a lo largo de todo el ciclo de producción, que se justificaría solo en virtud del beneficio energético neto obtenido de su uso, así como el impacto sobre el uso del suelo y otras implicaciones, no solo locales o regionales, sino globales del uso intensivo de estos sucedáneos de los combustibles fósiles.

^{††} Sustainable Biofuels: Prospects and Challenges. The Royal Society. Policy Document. Enero 2008. 90 Pág.

De otro lado, también es necesario considerar el efecto que podría tener sobre la salud de las personas, la exposición a los gases de escape y a los vapores que se generan durante el almacenamiento, transporte y utilización de los biocombustibles. De acuerdo con diversas investigaciones [6] [14] [15] [16] [22], el uso de mezclas de etanol y gasolina, así como de diesel y biodiesel, en los motores de combustión interna de los vehículos, ocasiona cambios en la composición de los gases de escape de estos, hecho que estaría en capacidad de causar potenciales efectos en salud derivados del carácter tóxico, citotóxico, mutagénico y su capacidad de daño sistémico.

Atendiendo todas estas circunstancias y consideraciones, el presente estudio tiene como objetivo general identificar los elementos claves para evaluar la capacidad de los biocombustibles, específicamente en el caso del alcohol carburante y el biodiesel, para disminuir las emisiones contaminantes de las fuentes móviles. Para este efecto se realizó una revisión sistemática de la literatura científica publicada recientemente y se efectuó un análisis crítico de la misma.

Para alcanzar este objetivo general se tuvieron como objetivos específicos los siguientes:

- Hacer una revisión sistemática de los estudios sobre el uso de alcohol carburante y el biodiesel en los motores de combustión de las fuentes móviles y su efecto sobre la disminución en la liberación de gases favorecedores del efecto invernadero y contaminantes atmosféricos.
- Incluir en la revisión mencionada los efectos que ejercen sobre la salud de las personas las emisiones de contaminantes provenientes de la combustión de alcohol carburante y biodiesel en los motores de las fuentes móviles de contaminación atmosférica.

- Señalar la estructura y los patrones de investigación existentes sobre el impacto del alcohol carburante y el biodiesel en el mejoramiento de la calidad de las emisiones de las fuentes móviles e identificar las brechas por subsanar en la investigación posterior que se realice sobre el tema.
- Formular recomendaciones a tener en cuenta para el desarrollo de nuevos estudios e investigaciones, sobre aspectos específicos identificados en la revisión, de manera que puedan aportar elementos de análisis suficientes para la evaluación objetiva de la implementación de la política de uso intensivo de biocombustibles en Colombia.

Este trabajo permitió, a través de la revisión sistemática de la literatura científica que se ocupa de los temas señalados previamente, identificar los aspectos clave en la comprensión de la problemática descrita y aportar elementos de análisis claros para la evaluación objetiva del uso de biocombustibles como alternativa de solución a la emisión de sustancias generadoras de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos, producto de la combustión de derivados del petróleo, a la escasez y al alza en los precios de las fuentes de energía tradicionales.

Dicha revisión sistemática consistió en la aplicación de una metodología definida para identificar, evaluar y analizar los estudios publicados acerca del tema, con el objetivo de ahondar en la pregunta específica de investigación. Permitted además, descubrir la estructura y los patrones de investigación existentes e identificar las brechas que deben subsanarse en la investigación venidera^{‡‡}.

El trabajo de revisión se efectuó inicialmente identificando la necesidad del mismo y a través de la elaboración de un protocolo de la revisión que minimizó el sesgo

^{‡‡} Staples M, Niazi M. Experiences Using Systematic Review Guidelines. 10th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE). 2006

en la selección de los estudios, se estableció una estrategia de búsqueda que incluyó términos clave, bases de datos, publicaciones científicas específicas, criterios de inclusión y exclusión de los estudios, el manejo bibliográfico y la documentación de la revisión, así como la descripción cualitativa y cuantitativa, si así fuese posible, del trabajo realizado, para encontrar aquellos aspectos técnicos que constituyen fortalezas o debilidades de la propuesta y señalar los principales peligros que para la salud y el medio ambiente pudiese acarrear la implementación indiscriminada de la política de uso intensivo de los biocombustibles.

El documento incluye la descripción detallada de las etapas y procedimientos empleados en la construcción del mismo, las conclusiones y recomendaciones derivadas del análisis crítico de los estudios consultados y la referencia completa de todos los documentos, con indicaciones de su disponibilidad para quienes se encuentren interesados en abordar el tema.

1 ANTECEDENTES

Se han publicado diversos estudios, documentos y libros que se ocupan de hacer revisiones bibliográficas alrededor del tema de los biocombustibles y su efecto sobre la reducción de la cantidad de gases contaminantes (NO_x, CO, SO_x, material particulado, hidrocarburos no quemados, etc.) y de sustancias favorecedoras del efecto invernadero emitidas por los vehículos que los consumen, sin embargo, no se encuentran revisiones sistemáticas sobre el tema. La literatura científica consultada se ocupa, en su mayoría, de revisiones de estudios experimentales específicos, en los que se evalúa el aumento o la disminución porcentual de la cantidad de contaminantes criterio y dióxido de carbono emitidos por los motores de vehículos, tradicionalmente usuarios de combustibles derivados del petróleo, y que se han sometido a pruebas con biocombustibles o mezclas de estos con combustibles tradicionales.

Sin embargo, también hay revisiones bibliográficas que tienen en cuenta un número considerable de estudios, y que abordan el problema sobre el análisis del ciclo de vida o sobre la resistencia al desgaste y la potencia del motor entre otros aspectos mecánicos y de la producción de los biocombustibles, que en forma paralela, también se refieren al efecto sobre la calidad de las emisiones de los vehículos a los que les han sido suministrados combustibles de origen agrícola.

E. Shadid y Y. Jamal [26] efectuaron la revisión de los reportes de alrededor de 50 científicos, publicados entre 1900 y 2005, sobre el uso de biodiesel en motores de compresión, quienes mediante la realización de pruebas experimentales con aceites vegetales, aceites sometidos al proceso de transesterificación y mezclas de biodiesel y diesel, evaluaron el efecto sobre la vida útil, la potencia y el consumo de combustible del motor. Paralelamente, la revisión menciona la

disminución de las emisiones de NO_x, hidrocarburos no quemados, SO_x y CO₂. De acuerdo con las conclusiones de la revisión, el uso de biodiesel generaría una menor cantidad de gases contaminantes que la generada por la combustión del diesel y por tal motivo se recomienda su uso para el transporte en áreas urbanas. La revisión menciona además que es necesario efectuar con mayor regularidad el mantenimiento y revisión periódicos del motor cuando a este le sea suministrado biodiesel como combustible.

En una revisión realizada por *A. Agarwal* [27] se consultan y analizan las condiciones de producción, caracterización y el estado actual del uso de los aceites vegetales y el biodiesel como combustibles, así como la investigación experimental que evalúa ese uso y el efecto que éste tiene sobre la reducción de las emisiones de efecto invernadero y la eficiencia energética. También se evaluó la versatilidad del combustible, la infraestructura y disponibilidad económica necesarios, el desempeño y las emisiones del motor e implicaciones sobre la vida útil del mismo. Las propiedades y especificaciones de las mezclas de etanol con gasolina y biodiesel fueron objeto de discusión de los estudios, en los que se tuvieron en cuenta especialmente los factores críticos de comercialización de las mismas y la evaluación del efecto de su uso sobre el desempeño y las emisiones del motor, así como la influencia sobre el desgaste de los materiales al interior de éste. En las conclusiones del estudio se advierte que el uso de etanol con gasolina exenta de plomo causa una significativa reducción en las emisiones de CO e hidrocarburos no quemados, lo que sugiere una mejora de las condiciones y la calidad de la combustión, para todas las velocidades de prueba de los motores mencionadas en los estudios revisados. Lo anterior sin embargo significa que se presenta un aumento marginal en las emisiones de CO₂ derivadas de una combustión completa. Por otro lado, la revisión concluye que el uso de una mezcla de un 20% de biodiesel y diesel representa la concentración óptima para mejorar el pico de eficiencia térmica del motor en un 2,5%, reducir sustancialmente las emisiones y el consumo específico de energía. Se menciona también, la escasa

presencia de azufre en el biodiesel como explicación de la potencial reducción en las emisiones de SO_x y material particulado, así como la inexistencia de hidrocarburos aromáticos en el biodiesel, como el benceno y el tolueno, para sustentar la disminución en las emisiones no reguladas. Se esgrime la presencia de oxígeno en el biodiesel como un elemento favorecedor de la combustión completa, y por ende, de la menor cantidad de hidrocarburos no quemados y CO en los gases de escape. Se menciona el aumento de la concentración de NO_x en los gases de combustión como consecuencia de la mejor calidad de la misma y las mayores temperaturas obtenidas al interior del motor y se afirma que de acuerdo con estudios de ciclo de vida del biodiesel, éste reduce las emisiones netas de CO_2 en un 78% comparado con el diesel de origen mineral.

H. Blottnitz y M. A. Curran [28] revisaron 47 estudios publicados, que comparaban los sistemas de producción del alcohol carburante con los de combustibles fósiles sobre la base de un análisis del ciclo de vida. La mayoría de dichos estudios se enfocaron en el balance de energía neta y los gases de efecto invernadero, mientras que 7 de ellos trataron sobre un amplio espectro de efectos medioambientales con conclusiones divergentes pero que en su mayor parte reportaron disminución en la presión sobre los fuentes de energía no renovables y los efectos del calentamiento global, pero mayores impactos en acidificación de los suelos, toxicidad humana y ecológica, producida durante el crecimiento y procesamiento de la biomasa.

Con el objeto de apoyar la idea de que el uso de biodiesel provee reducciones de las emisiones de hidrocarburos no quemados, hidrocarburos aromáticos policíclicos, material particulado y monóxido de carbono, A. Demirbas [29] menciona varios estudios sobre el desempeño y las emisiones de motores de compresión sometidos a pruebas con biodiesel y mezclas con diesel. El autor sostiene que en virtud del uso de dichos combustibles se presentan reducciones del 90% en hidrocarburos no quemados y del 75 al 90% en hidrocarburos

aromáticos policíclicos, aunque afirma que se observan ligeros incrementos o disminuciones en las cantidades de óxidos de nitrógeno en los gases de escape, dependiendo del tipo de motor o del procedimiento de prueba. De acuerdo con la literatura consultada por *A. Demirbas*, sin embargo, existe preocupación por el aumento de las emisiones de NO_x debido al uso de una mayor cantidad de biodiesel en las mezclas combustibles, pero no se menciona ningún otro estudio que discuta la disminución de este contaminante, que es un factor que contribuye a la formación localizada de smog y ozono. De otro lado, se señala también la capacidad potencial del biodiesel para reducir las emisiones netas de CO_2 en aproximadamente 77 a 104 g/MJ, sin embargo, no se menciona que el estudio citado se encargó de la producción de biodiesel a partir del fruto de la palma de coco y los desechos de su producción, y que las bajas emisiones de CO_2 de dicho sistema de producción de biodiesel pueden ser atribuidas en parte a los bajos requerimientos energéticos de las prácticas agrícolas actuales en las plantaciones de palma de coco de las Filipinas^{§§}.

Aún cuando en las revisiones señaladas previamente se menciona el efecto del uso de biodiesel sobre la reducción de las emisiones de material particulado, *N. Rojas* [30] elaboró un artículo en el que se compararon varios estudios sobre el particular, basados específicamente en la concentración másica de las partículas emitidas, en la distribución de su tamaño y en la composición químicas de éstas. La comparación de los estudio llevó al autor a concluir que no existían resultados definitivos sobre las ventajas del uso del biodiesel en lo relativo a las emisiones de material particulado, en virtud de la variabilidad de los resultados reportados. También señala el autor, que se evidencia un potencial de mejoramiento de la calidad de las emisiones, pero que este debe evaluarse para las condiciones locales y de calidad de los combustibles utilizados. Además, hace claridad sobre la

^{§§} R.R. Tan et al. Carbon balance implications of coconut biodiesel utilization in the Philippine automotive transport sector. *Biomass and Bioenergy* 26 (2004) 579 – 585.

importancia de establecer la naturaleza de los efectos que, sobre el ambiente y la salud de la población, puede ocasionar el uso indiscriminado del biodiesel. Se hace hincapié también sobre la necesidad de llevar a cabo una caracterización cuidadosa del material particulado producido durante la combustión de dicho biocombustible.

Para el caso específico del etanol y sus mezclas con gasolina, *R. Niven* [31] analizó los resultados obtenidos y reportados en la literatura científica y técnica sobre cinco aspectos medioambientales de interés derivados del enriquecimiento de la gasolina con etanol a niveles de alrededor de 10% a un 85%. El análisis de *Niven* se enfocó especialmente sobre la posible disminución de las emisiones de contaminantes atmosféricos derivadas del uso de mezclas de etanol y gasolina, además de su potencial impacto sobre el subsuelo y el agua subterránea, la reducción en las emisiones de gas de efecto invernadero, la eficiencia energética del etanol y la evaluación global de su producción sostenible. Con base en la revisión de un considerable número de estudios sobre las emisiones de vehículos y análisis de ciclo de vida del uso de etanol mezclado con gasolina, el investigador afirmó que el uso de mezclas de biocombustible que contienen un 10% de etanol pueden ofrecer algunas ventajas sobre el uso la gasolina sin etanol, como por ejemplo, la reducción en las emisiones de material particulado y de monóxido de carbono (CO) y mediante el control de la presión de vapor de la mezcla de etanol y gasolina, también se conseguiría reducir la cantidad de hidrocarburos y vapores tóxicos como el de benceno, generados por la evaporación de los compuestos de la gasolina en virtud del aumento de presión de vapor causado por la adición de etanol. Sin embargo, aún controlando la presión de vapor del combustible, la mezcla de etanol y gasolina al 10% causa mayores emisiones de etanol, acetaldehído y NO_x, todas sustancias con un alto potencial formador de ozono. Según el autor, de acuerdo con los datos de monitorización de calidad del aire de los EE.UU. existe evidencia de la relación entre el uso de la mezcla de etanol y gasolina al 10% e incrementos sustanciales en los niveles de ozono. En vista de

las conclusiones del estudio, el autor sugiere que la introducción de la mezcla de etanol y gasolina al 10% en los vehículos debe ser llevada a cabo con gran cuidado, ya que puede causar mayor daño que bien a la calidad del aire. Recuerda el autor que se requiere mayor investigación, sobre todo en casos de estudio y modelación de la calidad del aire en regiones específicas.

Sobre la efectividad en la reducción de gases de efecto invernadero *Niven* menciona que el uso de la mezcla de etanol y gasolina al 10% ofrece tan solo entre un 1 y un 5% de reducción de los gases de efecto invernadero comparado con el uso de gasolina. Este último hecho, sugiere el investigador, hace que el uso de la mezcla al 10% sea menos costo efectivo que la implementación de medidas como la reforestación.

2 JUSTIFICACIÓN DE LA REVISIÓN

El empleo de biocombustibles, en los motores de los vehículos, con miras a la reducción de las emisiones contaminantes a la atmósfera y la atenuación de los efectos del cambio climático, constituye una iniciativa que, si bien puede estar motivada en la protección al medio ambiente y el uso racional de los recursos naturales, no se encuentra exenta de incertidumbre alrededor de su eficacia en alcanzar dichos objetivos. Existen, por ejemplo,, estudios científicos que ciernen dudas al respecto de la capacidad del etanol y el biodiesel para disminuir las emisiones contaminantes, o no son concluyentes en dicho sentido, y no permiten afirmar con certeza que su uso sea la solución más conveniente.

A pesar de las inquietudes suscitadas al interior de la comunidad científica, en Colombia se ha decidido implementar la política de promoción para la producción de etanol y biodiesel, de acuerdo con el documento Conpes 3510. No obstante, es responsabilidad de la academia el plantear y desarrollar las investigaciones necesarias para evidenciar las consecuencias que puede llegar a tener en un futuro próximo la adopción de dichas iniciativas, de manera que los tomadores de decisión, y la comunidad en general, cuenten con elementos de juicio suficientes para evaluar la implementación de las mismas.

Con el fin de aportar elementos de juicio útiles para la discusión, se ha llevado a cabo la adopción de la metodología Cochrane para el desarrollo de revisiones sistemáticas en el área de la medicina, cuyo resultado se haya plasmado en el protocolo de revisión, que se presenta posteriormente y que cuenta con instrucciones precisas y lógicas para que cualquier otra persona interesada en

llevar a cabo una revisión similar pueda verificar los hallazgos que los autores presentan a continuación.

En este caso la revisión se ha dirigido a identificar aquellos aspectos claves que permiten evaluar la conveniencia de la implementación de la política de fomento a los proyectos productivos de combustibles, toda vez que existen los posibles efectos perjudiciales derivados del uso intensivo de las tierras para obtener biocombustibles y del empleo de los mismos sobre la atmósfera, la salud de las personas y la disponibilidad de alimentos pueden ser mucho mayores que los beneficios obtenidos de su uso.

3 PRODUCCIÓN Y USO DE BIOCOMBUSTIBLES

La utilización de combustibles provenientes del procesamiento de plantas, frutos u partes de ellas no es nuevo. Desde el inicio del desarrollo de motores de combustión interna hasta el momento en que el hombre tuvo conciencia de que la tasa de consumo de combustibles fósiles terminaría por diezmar las reservas de petróleo conocidas, pues estas son limitadas, ha recurrido al empleo de fuentes alternativas de energía para su uso en los vehículos automotores. Por ejemplo, el prototipo del motor Otto, utilizado actualmente en los vehículos a gasolina, fue desarrollado para el consumo de etanol, trabajo de investigación que subvencionó una fábrica de azúcar. También el modelo T de Ford (*Tin Lizzy*) empleaba etanol. Tal era el desempeño de estos dispositivos que a principios del siglo XX los vehículos que se movían con etanol eran elogiados por su menor desgaste, su carácter silencioso y poca tendencia a la generación de humo en comparación con los automóviles alimentados con gasolina. De otro lado, al mismo tiempo que tenían lugar los acontecimientos mencionados, era conocido el hecho de que una parte significativa de las locomotoras de trenes en Alemania fuese alimentada con etanol [32].

Para el período comprendido entre 1925 a 1945, se empleo el etanol obtenido a partir de la fécula de papa como aditivo antidetonante. En la década de 1930, el etanol producido a partir de almidón o azúcar favoreció la utilización del transporte por carretera, ya que en los estados del medio oeste de los EE.UU. los precios de los productos agrícolas eran muy bajos. Es también durante la década de 1930 que el gobierno brasileño empieza a estimular la utilización de mezclas de gasolina con un 5% de etanol proveniente de la fermentación del jugo de caña de azúcar [32].

En lo concerniente a la producción de biodiesel, las primeras manifestaciones de su producción comienzan a presentarse a principios del siglo XX, en 1900, en París y San Petersburgo, en donde se empezó a producir a partir de una amplia variedad de plantas y aceites de origen animal. Inicialmente se suponía que el biodiesel sería de gran utilidad en países tropicales, en donde la relativamente alta viscosidad, en relación con el diesel de origen fósil, lo hace más eficiente en los motores diesel. Es así como la primera patente para la producción de biodiesel a partir se adjudicó en 1937 y fue aplicada en 1938 para suministrar energía a los autobuses en Bélgica. Posteriormente, durante la Segunda Guerra Mundial, los aceites vegetales aparecieron nuevamente como combustibles para motores diesel en países como Brasil, Argentina y China. En el extremo oriente, específicamente en Japón, el aceite de soja fue empleado para la locomoción de los buques de potencia y se utilizó el aceite de pino como un carburante de alto octanaje. La marina japonesa realizó una amplia investigación sobre la producción de combustible diesel a partir de aceite de coco, corteza de abedul, cáscara de naranja y agujas de pino. También en el período bélico de 1939 a 1945, en la china se produjeron sustitutos de la gasolina y el queroseno a partir del craqueo catalítico de aceites vegetales [32].

Durante la posguerra empezó a cobrar importancia el uso de carburantes de origen biológico, especialmente desde 1973, debido al alza en el precio del petróleo. Con el ánimo de disminuir el consumo y la dependencia de los combustibles de origen fósil los gobiernos pusieron en práctica reducciones de impuestos, subsidios, apoyo de investigación y desarrollo, y se favoreció el uso de vehículos flexibles, es decir, que usaban mezclas de carburantes biológicos con derivados del petróleo. No hace mucho, en 2006, se estimó que los EE.UU. gastaron aproximadamente 11 millones de dólares en medidas de apoyo al consumo de combustibles de origen biológico [32].

Brasil cuenta con una experiencia vasta en lo que respecta a la producción y consumo de combustibles biológicos, ya que desde 1973 decidió establecer un Programa Nacional de Alcohol para abastecer los vehículos. Este programa comenzó en 1975, utilizando caña de azúcar como materia prima. Posteriormente los EE.UU. iniciaron un programa similar utilizando como materia prima el maíz y en menor medida el sorgo. Este programa tuvo origen en la necesidad de velar por la seguridad energética, apoyar y mejorar los ingresos del sector agrícola, y mejorar la calidad del aire [32].

De otro lado, durante la década de 1980 tuvo lugar el resurgimiento del biodiesel, ya que fue en esta época durante la cual se anunciaron iniciativas para su uso, en 1981 en Sudáfrica y en 1982 en Alemania, Nueva Zelanda y Austria. El auge en la producción de biodiesel europeo tuvo lugar alrededor de alrededor de 1987 y en los EE.UU. a partir de 1990. Este interés en dicho combustible se hallaba relacionado con la necesidad de ampliar el desarrollo de nuevos mercados agrícolas y la preocupación constante por la escasez de petróleo y su aumento de precio [32].

Aunada a la preocupación permanente por la incertidumbre en el suministro de crudo y lo que ello significa para la seguridad energética, existe otra relacionada con la contaminación procedente de la quema de combustibles fósiles. Recientemente, los efectos de la contaminación sobre el clima han cobrado importancia dentro de la agenda política internacional. La presión ejercida por sectores especialmente sensibles al problema de la contaminación y la comunidad en general, mucho más conciente e informada de los problemas derivados de la polución, han generado un aumento de las acciones y reclamos de la opinión encaminados a que los estados tomen decisiones para reducir la emisión de gases de efecto invernadero. El especial interés en este esfuerzo tiene su objetivo en la reducción del consumo de combustibles fósiles para el transporte, ya que esta actividad es usuaria del 22% del total de la energía consumida en el mundo y

se halla fundamentalmente basada en el consumo de petróleo y sus derivados [32].

Aún cuando los beneficios del uso de combustibles de origen agrícola ha contado con enorme apoyo por parte de gobiernos como el estadounidense y el brasilero, existe entre la comunidad en general una creciente preocupación por el verdadero impacto ocasionado por el uso de estos nuevos combustibles, específicamente en la reducción de las emisiones de contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero, así como también sobre la eficiencia energética efectiva con que se puede hacer uso de los mismos, las consecuencias que sobre la disponibilidad de tierras destinadas a la siembra de cultivos para el consumo humano, y el precio de los alimentos, que pueda tener el mismo.

A pesar de las reservas crecientes sobre las bondades del uso de combustibles alternativos de origen agrícola, es muy probable que se continúe favoreciendo su uso dadas las grandes inversiones planteadas por múltiples firmas a nivel mundial y los instrumentos económicos desarrollados por los países interesados en disminuir su dependencia del consumo de los combustibles fósiles e impulsar el sector real de sus economías. Con base en la perspectiva de un escenario intensivo de continuidad a la política de fomento de los combustibles de origen agrícola, se ha estimado que para el 2050 la energía proveniente de la biomasa aportará aproximadamente la mitad del total de la demanda de energía en los países en desarrollo. Esta cantidad de energía consumida implicará la utilización de 385 millones de hectáreas de tierra, que en su mayoría estarán ubicadas en los países en desarrollo [32].

Es necesario contar, entonces, con elementos de juicio suficientes que permitan establecer la conveniencia del empleo de estas fuentes de energía en sustitución de la gasolina y el diesel fósiles, ya que no es claro que su uso pueda ser neutral y permita reciclar el carbono en el ciclo de vida de los mismos.

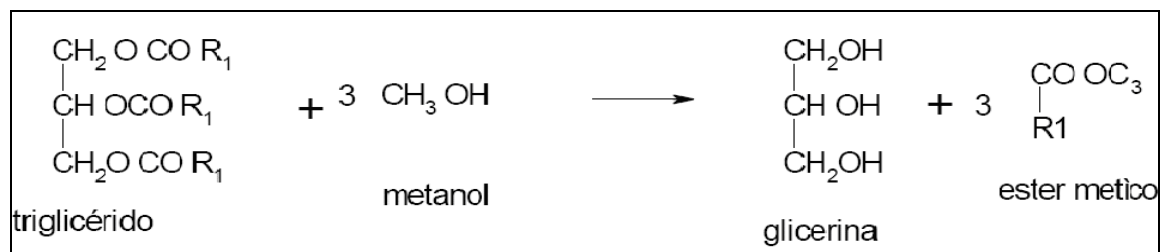
3.1 OBTENCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES

Los biocombustibles, o combustibles de origen agrícola, son aquellos que provienen de la materia orgánica en lugar de tener origen fósil. La mayoría son producidos a partir de alimentos o cultivos agrícolas. La primera generación de ellos se compone de dos diferentes combustibles, el etanol y el biodiesel, el primero obtenido como producto de la fermentación de cualquier materia prima que posea un alto contenido de azúcar o almidón, como por ejemplo la caña de azúcar, la remolacha, el maíz y cereales como el trigo y la cebada [17]. El segundo, obtenido a partir de los aceites y grasas animales, la colza o el aceite de palma. Estos combustibles están en capacidad de sustituir parte del consumo de combustibles fósiles tradicionales, como el petróleo o el carbón.

Se sabe que entre el 2000 y el 2005 la producción de etanol en el mundo se duplicó, pasando de 17.000 a 36.000 millones de litros [18], mientras que la producción de petróleo aumentó tan solo en un 7 %. Brasil es el mayor productor de etanol con 16.500 millones de litros, mientras que Alemania lo es de biodiesel con 1920 millones de litros. En Colombia, gracias a la expedición de la ley 693 de 2001, cinco ingenios azucareros invirtieron en promedio 20 millones de dólares para montar sus plantas de destilación, de las cuales la de Incauca es la mayor productora con 300.000 litros por día. En lo que respecta al biodiesel, la federación Nacional de Cultivadores de Palma, adelanta proyectos con los que se busca lograr la mezcla de diesel con 5% de biodiesel proveniente del aceite de palma, los cuales superarían la demanda de esta mezcla llegando a producir 320.000 toneladas de aceite anuales [18].

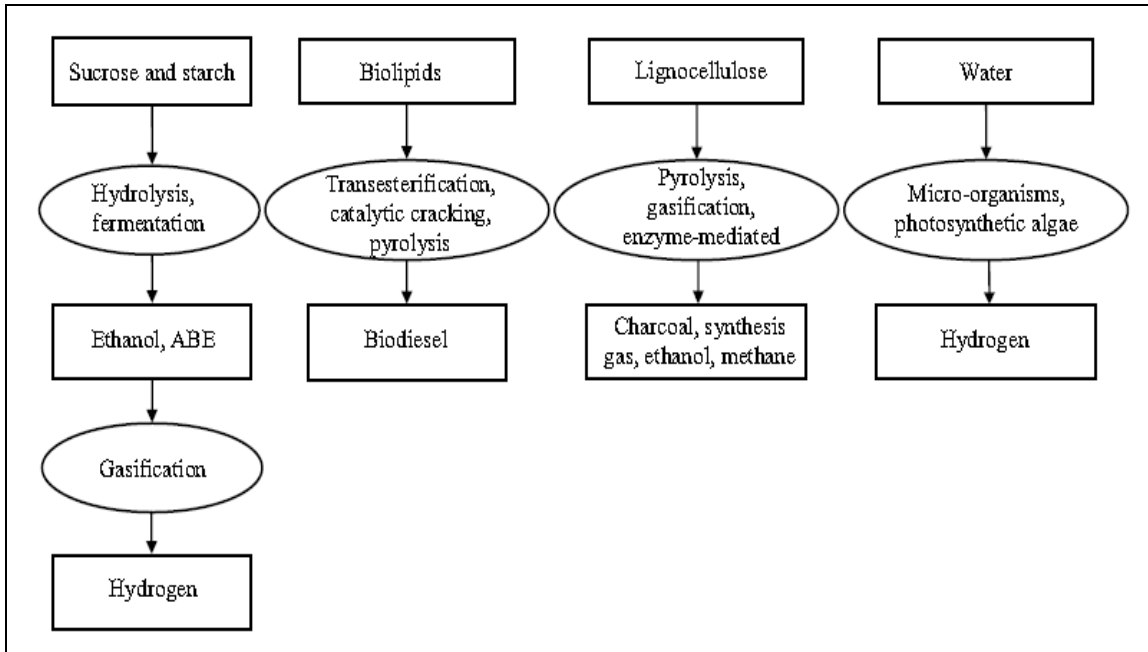
La producción de biodiesel se fundamenta en la reacción de transesterificación, de lejos el método más común para la obtención de alquil ésteres a partir de grasas y aceites [19]. El biodiesel consiste esencialmente en una mezcla de los esteres metílicos de los ácidos grasos. La reacción a partir de la cual se obtienen es característica de los ésteres, en la cual el aceite o la grasa reacciona con ácidos grasos, alcoholes u otros esteres intercambiando los grupos acilo. Frecuentemente se efectúa la reacción entre el ácido graso y el metanol, en presencia de etilato de sodio como catalizador, a temperatura ambiente, de manera que se alcanza el equilibrio en aproximadamente un par de horas. Es necesario, sin embargo, retirar para favorecer la producción del éster metílico. La reacción, entonces, se completa al menos en un 98% [20].

Gráfica 3 Reacción de transesterificación para la producción de ésteres metílicos (Biodiesel)



Fuente: Proceso para la producción de biodiesel

Gráfica 4 Diferentes fuentes de la producción de combustibles alternativos



Fuente: Biofuels Road Transport

Gráfica 5: Proceso industrial de producción de Biodiesel

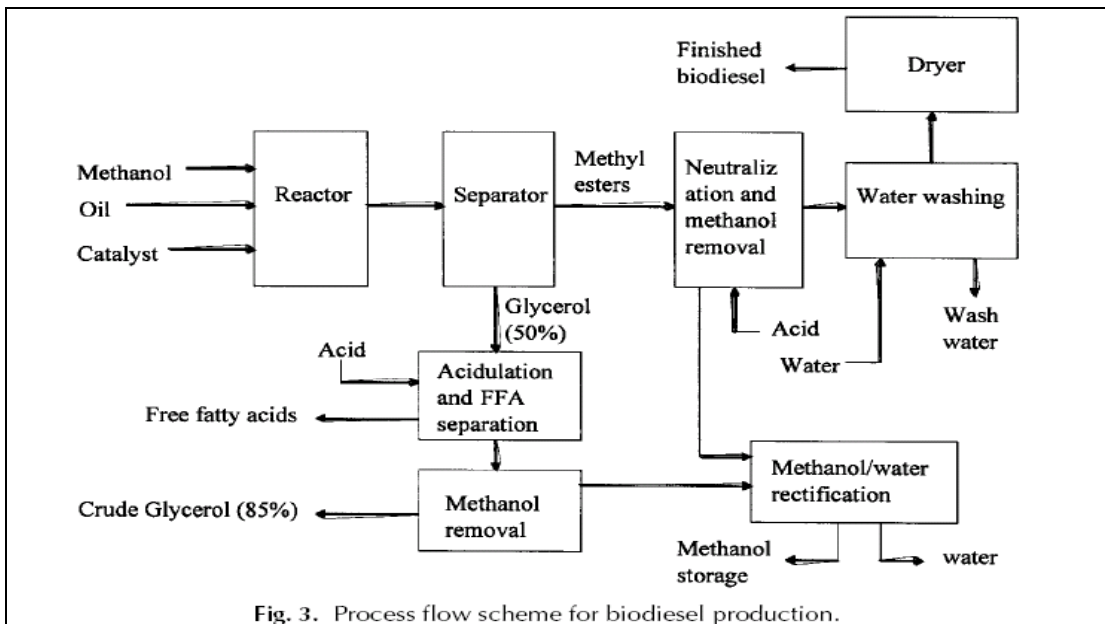


Fig. 3. Process flow scheme for biodiesel production.

Fuente: The Biodiesel Handbook

3.2 EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLES DE ORIGEN AGRÍCOLA

Aún cuando se ha sugerido que el uso de biocombustibles ofrece ventajas económicas y energéticas en comparación con los combustibles fósiles, este argumento no se esclarece o argumenta de manera juiciosa cuando se trae a colación. La consulta de los textos académicos y científicos que se refieren al particular sugiere que, aún cuando la evaluación de los balances energéticos y de ciclo de vida de los biocombustibles puede llegar a conclusiones divergentes dependiendo de las metodologías empleadas o las etapas del proceso seleccionadas o excluidas del análisis, en general las conversiones de materia prima en combustibles de origen agrícola implican una reducción sustancial de la eficiencia en la conversión de energía solar. Este hecho no es novedoso, ya que la transformación de metano a metanol vía anaeróbica, la conversión de lípidos y etanol a hidrocarburos o hidrógeno, se caracterizan por ofrecer eficiencias reducidas, razón de peso para permanecer escépticos al respecto de las conversiones sucesivas y su impacto negativo sobre la eficiencia global de conversión de energía solar en energía útil [32].

Se menciona que a pesar de la ineficiencia en la conversión, de energía solar a útil, inherente al proceso de producción de biocombustibles, al parecer, el aceite de palma y el etanol proveniente de la caña de azúcar poseen mejores rendimientos que, por ejemplo, el aceite de colza o el etanol proveniente del maíz o el trigo, especialmente cuando el procesamiento incluye el aprovechamiento de residuos de la cosecha [32].

De otro lado también se hace referencia a dos factores dominantes en relación con la eficiencia energética de la obtención de etanol a partir de fuentes biológicas. La productividad del cultivo asociada a condiciones climáticas y la naturaleza de la materia prima de partida. A ese respecto es importante mencionar que tanto la caña de azúcar como la materia prima celulósica han recibido la menor atención en lo que respecta al desarrollo de estudios alrededor del carácter sostenible de su aprovechamiento más allá de la eficiencia energética y análisis de retención de dióxido de carbono [28].

En sentido contrario a lo establecido por algunos autores se refiere que la revisión documental de estudios sobre el ciclo de vida de la producción de etanol a partir de materias primas vegetales y su reemplazo en lugar de los combustibles fósiles o haciendo parte de mezclas con ellos ofrece una ganancia neta en energía [28]. Es oportuno decir que cada estudio posee unas características específicas que requieren ser tenidas en cuenta, y enfrentadas a las de otros estudios para poder establecer puntos de comparación equivalentes y sacar las respectivas conclusiones sobre el particular.

3.3 DISMINUCIÓN DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES DERIVADA DEL USO DE COMBUSTIBLES DE ORIGEN AGRÍCOLA

El empleo de combustibles de origen agrícola en los motores de combustión de las fuentes móviles se ha promovido en razón de su habilidad para disminuir las emisiones, especialmente, de aquellas no necesariamente asociadas al efecto invernadero. Generalmente se menciona que, por ejemplo, el uso de biodiesel reduce las emisiones de dióxido de azufre provenientes de dichos motores. También se advierte que, al parecer, las sustitución del diesel fósil por el biodiesel

reduce el total de partículas y la cantidad de material particulado emitidos cuando es paulatinamente reemplazado por su sucedáneo de origen agrícola [32].

Sin embargo, existen voces que alertan al respecto del peligro potencial derivado del potencial incremento, por ejemplo, de las emisiones de óxidos de nitrógeno a partir del empleo de biodiesel. Adicionalmente, la sustitución del diesel por el biodiesel afecta de manera compleja la estructura del material particulado generado, favoreciendo su carácter oxidante y su toxicidad celular, aún cuando también se menciona la potencial disminución de su efecto mutagénico. Sobre el caso del material particulado se advierte además que el biodiesel disminuye el tamaño del material particulado emitido incrementando así el riesgo a la salud asociado a la potencial inhalación del mismo [32].

De otro lado, la utilización de mezclas de gasolina y etanol en los motores de los vehículos puede generar una reducción de las emisiones de monóxido de carbono y ozono [14]. Existe información que señala que las emisiones provenientes de vehículos usuarios de mezclas de etanol y gasolina son similares a las provenientes de la combustión de EU2000, combustible fósil estándar de la unión europea, en vehículos de prueba. Sin embargo, se menciona un aumento en la cantidad de monóxido de carbono y de hidrocarburos, siendo, no obstante, muy similares las cantidades de 1-3 butadieno y BTEX, y ligeramente inferiores las de material particulado y óxidos de nitrógeno [17]. Pero la preocupación más recurrente alrededor del empleo de mezclas de gasolina y etanol en los motores de los vehículos proviene del riesgo en el aumento de las emisiones de formaldehído y acetaldehído.

Además, el aumento en las emisiones de acetaldehído puede también ocasionar un incremento en la concentración atmosférica de peroxiacetil nitrato (PAN), irritante respiratorio y ocular presente en el smog fotoquímico. En consideración de la información señalada es evidente la necesidad de profundizar en la

investigación al respecto de los efectos en salud asociados al empleo de combustibles de origen agrícola y su impacto sobre las emisiones generadas durante su combustión en los motores de los vehículos. Es más, es muy dudoso que su empleo pueda beneficiar la salud humana [17].

Es importante tener en cuenta también las emisiones generadas durante la producción de los combustibles de origen agrícola. Una parte sustancial de las emisiones contaminantes se asocian con la etapa de cultivo de las fuentes de combustible [17]. Particularmente, se hace mención del influjo de fertilizantes y pesticidas requeridos para la protección y crecimiento de las plantas. Empezando con el cultivo y a través de su conversión en producto final, la cadena entera de producción de biocombustibles tiene un amplio rango de impactos contaminantes, no solo a la atmósfera sino también al agua. Es por ello procedente la evaluación de efectos y la recopilación y análisis de la información relacionada, que permita ayudar en la toma de decisiones benéficas a la sociedad en general.

4 DISEÑO DE LA METODOLÓGIA DE REVISIÓN

La metodología a emplear consiste en el desarrollo de las actividades establecidas en un protocolo de revisión construido a partir de la adopción del manual para la ejecución de revisiones sistemáticas de la Colaboración Cochrane, organización encargada de unificar los criterios y servir de revisora experta de los documentos de revisión dirigidos, principalmente, a la evaluación de los efectos de las intervenciones médicas y su eficacia en el tratamiento de diferentes dolencias. Esta adopción guarda el principio de garantizar el acceso ordenado, sistemático y sin sesgos a la información proveniente de la investigación científica disponible en las bases de datos bibliográficas y revistas indexadas, que caracteriza a las revisiones sistemáticas del área de la medicina ejecutadas con base en el manual Cochrane.

La revisión sistemática se define como un medio para evaluar e interpretar todas las investigaciones relevantes efectuadas alrededor de una determinada pregunta de investigación, área, o fenómeno de interés, con el objetivo de presentar una evaluación justa de un tema de investigación mediante una metodología fiable, rigurosa, verificable y reproducible^{***}.

Considerando, entonces, la necesidad de identificar los aspectos clave para la evaluación del desempeño de los biocombustibles como alternativa en la solución de problemas como la contaminación atmosférica en las grandes ciudades, la emisión de gases asociados al calentamiento global y la escasez de combustibles

^{***} Kitchenham B. Procedures for Performing Systematic Reviews. Keele University Technical Report TR/SE-0401. Reino Unido. 2004

fósiles, se plantea la revisión sistemática de la literatura científica que ha sido publicada sobre el particular.

El proceso de revisión sistemática, alrededor de una pregunta de investigación dada, comprende varias actividades específicas. Aún cuando se han establecido diversas sugerencias y recomendaciones al respecto del número y orden de las actividades, enmarcadas en tres fases de planificación, ejecución, y presentación de informes, las etapas de una revisión sistemática pueden ser resumidas en los siguientes pasos [25]:

- Identificación de la necesidad de una revisión.
- Elaboración de un protocolo de revisión.
- Identificación de la investigación.
- Selección de estudios primarios.
- Estudio de evaluación de la calidad.
- Extracción de datos y seguimiento.
- Síntesis de los datos.
- Presentación de informes.

A pesar de que, de acuerdo con el orden de presentación, se pudiese llegar a pensar que la ejecución de las anteriores actividades es secuencial, es necesario advertir que, frecuentemente, durante el desarrollo de las revisiones sistemáticas, se llevan a cabo iteraciones y correcciones sobre la marcha, pues muchas de las actividades se inician durante la etapa de desarrollo de protocolo, y son refinadas cuando la revisión toma la dirección y forma adecuadas.

Es así como, por ejemplo, la selección de los estudios primarios tiene en cuenta criterios de inclusión y exclusión que inicialmente son definidos en el protocolo, pero que pueden ser transformados en la medida en que se definen los criterios de calidad. Así mismo, la forma de obtención de los datos que se define en un

principio, puede ser modificada cuando se establezcan los criterios de calidad, y los métodos de síntesis de la información contenida en la literatura científica definidos en el protocolo son susceptibles de ser modificados cuando ya se han colectado los documentos bajo análisis.

En consideración de los pasos señalados y de acuerdo con el tema específico de interés identificados, se plantean, entonces, los siguientes ítems de desarrollo metodológico de la revisión, lo cuales componen el protocolo de revisión necesario para la identificación de aspectos clave en el análisis.

4.1 Identificación de la necesidad de la revisión.

El objetivo de cualquier revisión sistemática consiste en la síntesis de la información existente sobre algún tema de interés, de manera que se realice un examen imparcial minucioso, con el fin de de extraer conclusiones generales a partir de los estudios individuales, que puedan servir para identificar campos de investigación prioritarios sobre el tema de interés [25].

En el caso del uso de los combustibles de origen agrícola como fuentes de energía para los vehículos en Colombia, se requiere determinar específicamente la pertinencia de su empleo como alternativa al uso de combustibles de origen fósil, tanto para aligerar la presión y dependencia de ellos, así como para establecer su capacidad en la disminución del impacto negativo sobre la calidad del aire que tiene el consumo de combustibles derivados del petróleo.

Es necesario llevar a cabo una revisión sistemática de la literatura científica, que permita obtener conclusiones generales sobre la conveniencia del uso del etanol y el biodiesel en mezclas con combustibles fósiles como fuente de energía para los

vehículos, y así, establecer aspectos técnicos prioritarios de investigación, que deben ser tenidos en cuenta para la emisión de alertas y la toma de decisiones relacionadas con la política de fomento a los biocombustibles vigente en el país.

4.2 Definición de la pregunta de interés.

Teniendo en cuenta la necesidad de la revisión y en consideración de la justificación esgrimida previamente, la ejecución de la revisión busca dar respuesta a la pregunta de si ¿el uso de biocombustibles, específicamente el de bioetanol y biodiesel, como fuente de energía para los vehículos es una alternativa conveniente al uso de combustibles de origen fósil con miras a disminuir la emisión de contaminantes atmosféricos y la dependencia energética en el contexto colombiano?

En el caso colombiano, entonces, es definitiva la identificación de aspectos clave que permitan evaluar la conveniencia y la capacidad de los combustibles de origen agrícola en la consecución de los objetivos de mejoramiento de la calidad del aire en las grandes ciudades y de disminución de la dependencia de los combustibles fósiles.

4.3 Elaboración de un protocolo de revisión.

El instrumento guía para llevar a cabo la revisión de la información científica disponible acerca de la pregunta de interés debe contener, de acuerdo con lo establecido en la literatura sobre el particular [25], los siguientes apartes:

- Un contexto que justifique la ejecución de la revisión

- La pregunta de investigación que se pretende responder
- La estrategia de búsqueda de los estudios primarios, incluyendo los términos de búsqueda
- Criterios de selección y los procedimientos para elegir estudios relevantes.
- Listas de control para evaluar la calidad de los estudios individuales
- Estrategia para la extracción de datos de los estudios
- Síntesis de los datos extraídos
- Cronograma de revisión

Ya que previamente se ha dado trámite a los dos primeros apartes señalados, seguidamente se establecerán en detalle los restantes de acuerdo con el orden mencionado.

➤ **Estrategia de búsqueda de los estudios primarios.**

La búsqueda de artículos científicos potencialmente relevantes para los objetivos de la revisión tendrá lugar en bases de datos de publicaciones indexadas, documentos y reportes técnicos de asociaciones científicas internacionales y nacionales, documentos y memorias de congresos técnicos y científicos alrededor del tema de revisión, trabajos académicos de maestría y doctorado disponibles para la consulta, así como también libros y documentos de análisis que estén disponibles bien sea mediante consulta física o a través de la Internet.

En el caso de las bases de datos disponibles se cuenta con acceso a **Science Direct**, que ofrece enlaces a libros electrónicos, obras de referencia, sumarios y resúmenes de 1707 revistas de las editoriales Elsevier, Pergamon, Excerpta-Medica y North Holland. También se dispone de acceso a la base de datos **SpringerLink**, que ofrece enlaces a su colección de 1345 revistas digitales con cobertura en arquitectura, economía, medicina, física y química, matemáticas,

ingeniería, informática, medio ambiente, humanidades, astronomía, biomedicina, ciencia de vida, medicina clínica y humanidades.

Entre las bases de datos consultadas se cuenta con acceso a **PubMed**, motor de búsqueda de libre acceso a la base de datos **MEDLINE** de citas y resúmenes de artículos de investigación biomédica ofrecido por la Biblioteca Nacional de Medicina de los Estados Unidos.

MEDLINE tiene alrededor de 4.800 revistas publicadas en Estados Unidos y en más de 70 países de todo el mundo desde 1966 hasta la actualidad. Así mismo, en lo relacionado con la búsqueda de documentos relacionados con la evaluación de efectos sobre la salud humana asociados al uso de combustibles de origen agrícola, se encuentra también **SciELO** (Scientific Electronic Library Online o Biblioteca Científica Electrónica en Línea), proyecto de biblioteca electrónica que es iniciativa de la Fundación para el Apoyo a la Investigación del Estado de São Paulo, Brasil (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP) y del Centro Latinoamericano y del Caribe de Información en Ciencias de la Salud (BIREME), que permite la publicación electrónica de ediciones completas de las revistas científicas y un motor de búsqueda.

Los términos de búsqueda a emplear tendrán relación directa con la pregunta de la revisión y serán los siguientes:

- Gasolina (Gasoline).
- Bioetanol (Bioethanol).
- Biodiesel.
- Emisiones de gases de escape (Exhaust emissions).
- Evaluación del ciclo de vida (Life cycle assessment).
- Gases de efecto invernadero (Greenhouse gases).
- Transporte sostenible (sustainable transport).

- Balance energético (Energy balance).
- Evaluación de riesgo para la salud (Health Risk Assessment).
- Biocombustibles (Biofuels).

➤ **Criterios de selección y procedimientos para elegir estudios relevantes**

De acuerdo con la pregunta de revisión planteada se escogieron los siguientes criterios de selección útiles para escoger los documentos objeto de análisis:

- Que se trate de un estudio experimental acerca de las emisiones de contaminantes provenientes de la combustión de mezclas de gasolina y etanol, o diesel y biodiesel, en distintas proporciones.
- Que se trate de una revisión documental alrededor de los estudios científicos publicados sobre las emisiones provenientes de vehículos que utilizan mezclas de combustibles fósiles con los de origen agrícola.
- Que el estudio evaluado compare el desempeño de vehículos de características mecánicas similares, pero que empleen diferentes fuentes de energía, como por ejemplo, combustibles fósiles y mezclas de estos con etanol o biodiesel, específicamente en lo concerniente a su capacidad de generación de torque y eficiencia energética.
- Que sea un estudio que se ocupe de la evaluación del ciclo de vida energético en la elaboración de combustibles de origen agrícola, incluyendo la energía empleada en las etapas de preparación del terreno para la siembra, cosecha, transporte y transformación de la planta, caña de azúcar o palma africana fundamentalmente, así como también de la energía obtenida durante su empleo en el motor del vehículo.
- Que el estudio evaluado planteé, infiera, mida o evalúe experimentalmente los efectos sobre la salud humana, especialmente los relacionados con los sistemas respiratorio y cardiovascular, derivados de la exposición a

sustancias provenientes de la combustión de gasolina, diesel, biodiesel, etanol o mezclas de ellos en los motores de los vehículos.

- Que en el documento objeto de evaluación se planteé, infiera, mida o evalúe experimentalmente, o a través de balances de materiales y flujos de energía, la cantidad de gases de efecto invernadero, primordialmente CO₂, CH₄, entre otros, que son generados durante la producción de los biocombustibles, y se compare con la cantidad producida con el empleo de combustibles fósiles únicamente.

Mediante la búsqueda de artículos y documentos, de acuerdo con el procedimiento ya señalado en la estrategia planteada, se configura un conjunto de estos que serán sometidos al examen de criterios de selección. Si cumplen con alguno de ellos son incorporados al listado de trabajos relevantes para el análisis e incluidos en la bibliografía consultada para la ejecución de la revisión. Posteriormente, estos documentos se someten a la evaluación de calidad para obtener los elementos clave que permitan llegar a las conclusiones de la revisión.

➤ **Diseño de instrumentos para la evaluación de la calidad de los estudios**

Una vez se han seleccionado los estudios iniciales es necesario realizar una análisis más profundo al respecto de la validez de las conclusiones y la metodología empleada para llegar a ellas. En él se busca establecer si existen diferencias en la ejecución de los estudios al interior de las categorías de desarrollo de los mismos. Dicha información es útil para elaborar la síntesis de la información revisada e interpretar los datos reportados en los estudios. Con miras a cumplir con dicho criterio es probable emplear instrumentos que han sido desarrollados por autores que trabajan en el desarrollo de revisiones sistemáticas sobre temas distintos a los relacionados con la investigación en salud.

En consideración de las recomendaciones planteadas en la literatura consultada al respecto de los criterios requeridos para evaluar la calidad de los estudios elegidos, se decidió adoptar el listado de jerarquías de diseño de estudio para el caso de la ingeniería de software, elaborado por Barbara Kitchenham [24]. Este listado de jerarquías, a su vez, constituye una adaptación del Manual para revisores de la Cochrane Collaboration [26], (Cochrane Reviewers' Handbook) y de la guía del Consejo Nacional de Salud e Investigación Médica de Australia (National Health and Medical Research Council – NHRMC –).

El listado de jerarquías de estudio de Kitchenham considera de mayor relevancia la evidencia obtenida a partir de estudios experimentales equivalentes a los estudios controlados aleatorios, y le otorga la menor relevancia a la evidencia obtenida a partir de la opinión de expertos basada en la teoría o el consenso, pasando por los siguientes rangos intermedios:

Tabla 1: Jerarquía de diseños de estudio para ingeniería de software.

1	Evidence obtained from at least one properly-designed randomised controlled trial
2	Evidence obtained from well-designed pseudo-randomised controlled trials (i.e. non-random allocation to treatment)
3-1	Evidence obtained from comparative studies with concurrent controls and allocation not randomised, cohort studies, case-control studies or interrupted time series with a control group.
3-2	Evidence obtained from comparative studies with historical control, two or more single arm studies, or interrupted time series without a parallel control group
4-1	Evidence obtained from a randomised experiment performed in an artificial setting
4-2	Evidence obtained from case series, either post-test or pre-test/post-test
4-3	Evidence obtained from a quasi-random experiment performed in an artificial setting
5	Evidence obtained from expert opinion based on theory or consensus

Fuente: Kitchenham B. Procedures for Performing Systematic Reviews.

La adaptación de la tabla de jerarquías de estudio, que será aplicada durante la evaluación de la calidad de los documentos seleccionados, se puede entonces considerar de la siguiente manera:

Tabla 2: Adaptación de jerarquías de diseños de estudio para la revisión

Relevancia del estudio	Descripción del tipo de estudio
1	Estudios experimentales con sujetos aleatorios
2	Estudios experimentales de control concurrente. Grupos o casos de control
3 – 1	Estudio experimental comparativo sin caso paralelo de control
3 – 2	Estudio experimental bajo condiciones controladas
4 – 1	Revisiones o estados del arte
5	Evidencia obtenida a partir de la opinión experta sobre base teórica o consenso

Fuente: los autores

En este caso, y de acuerdo con la literatura consultada, se consideran de mayor relevancia los estudios calificados con uno (1) y de menor jerarquía aquellos a los que se les asigne una calificación de cinco (5).

Una vez asignada la relevancia de los estudios, es necesario evaluar el grado de sesgo potencial que pudiese llegar a tener determinado estudio bajo análisis. Los factores de sesgo identificados en la tabla 3 pueden ser particularizados alrededor de las siguientes características:

- Carencia de objetividad
- Uso de técnicas de medición no reproducibles
- Selección inadecuada de sujetos de estudio
- Empleo de herramientas de análisis estadístico inadecuadas

- Uso de resultados de mediciones que no son apropiados para responder la pregunta de investigación.

Para ello, se hace uso de los criterios de sesgo contemplados en el estudio de Kitchenham [24], de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 3: Criterios de sesgo para la revisión

Type	Synonyms	Definition	Protection mechanism
Selection bias	Allocation bias	Systematic difference between comparison groups with respect to treatment	Randomisation of a large number of subjects with concealment of the allocation method (e.g. allocation by computer program not experimenter choice).
Performance bias		Systematic difference is the conduct of comparison groups apart from the treatment being evaluated.	Replication of the studies using different experimenters. Use of experimenters with no personal interest in either treatment.
Measurement bias	Detection Bias	Systematic difference between the groups in how outcomes are ascertained.	Blinding outcome assessors to the treatments is sometimes possible.
Attrition bias	Exclusion bias	Systematic differences between comparison groups in terms of withdrawals or exclusions of participants from the study sample.	Reporting of the reasons for all withdrawals. Sensitivity analysis including all excluded participants.

Fuente: Kitchenham B. Procedures for Performing Systematic Reviews

4.4 Resumen y síntesis de los estudios relevantes para el análisis.

La información extractada de los estudios será tabulada de manera consecuente con la pregunta de la revisión, de manera que la tabla muestre las similitudes y diferencias entre los resultados de los estudios relevantes.

Con base en la revisión de cada estudio es conveniente establecer la consistencia del conjunto de estudios, es decir, su homogeneidad, o en su defecto su heterogeneidad. Dicha diferenciación depende de la evaluación de los estudios a la luz de los criterios de calidad ya mencionados, es decir, el tipo de estudio, la calidad del estudio, entre otros. Este análisis descriptivo permitirá hacerse una idea mucho más precisa del tipo y la validez de las conclusiones de los estudios relevantes identificados.

4.5 Reporte Final.

Interpretación y discusión de las conclusiones y limitaciones de la revisión. Para el reporte final de revisiones se sugieren formatos condensados que informen al respecto de los datos generales de los ejecutores de la misma, un resumen ejecutivo, las preguntas y métodos de la revisión, criterios de inclusión y exclusión, resultados y conclusiones [24].

Tabla 4: Formato de presentación de resultados de la revisión

Section	Subsection	Scope	Comments
Title*			The title should be short but informative. It should be based on the question being asked. In journal papers, it should indicate that the study is a systematic review.
Authorship*			When research is done collaboratively, criteria for determining both who should be credited as an author, and the order of author's names should be defined in advance. The contribution of workers not credited as authors should be noted in the Acknowledgements section.
Executive summary or Structured Abstract*	Context	The importance of the research questions addressed by the review	A structured summary or abstract allows readers to assess quickly the relevance, quality and generality of a systematic review.
	Objectives	The questions addressed by the systematic review	
	Methods	Data Sources, Study selection, Quality Assessment and Data extraction	
	Results	Main finding including any meta-analysis results and sensitivity analyses.	
	Conclusions	Implications for practice and future research	
Background		Justification of the need for the review. Summary of previous reviews	Description of the software engineering technique being investigated and its potential importance
Review questions		Each review question should be specified	Identify primary and secondary review questions. Note this section may be included in the background section.
Review Methods	Data sources and search strategy		This should be based on the research protocol. Any changes to the original protocol should be reported.
	Study selection		
	Study quality assessment		
	Data extraction		
	Data synthesis		
Included and excluded studies		Inclusion and exclusion criteria List of excluded studies with rationale for exclusion	Study inclusion and exclusion criteria can sometimes best be represented as a flow diagram because studies will be excluded at different stages in the review for different reasons.

Results	Findings	Description of primary studies Results of any quantitative summaries Details of any meta-analysis	Non-quantitative summaries should be provided to summarise each of the studies and presented in tabular form. Quantitative summary results should be presented in tables and graphs
	Sensitivity analysis		
Discussion	Principal findings		These must correspond to the findings discussed in the results section
	Strengths and Weaknesses	Strength and weaknesses of the evidence included in the review Relation to other reviews, particularly considering any differences in quality and results.	A discussion of the validity of the evidence considering bias in the systematic review allows a reader to assess the reliance that may be placed on the collected evidence.
	Meaning of findings	Direction and magnitude of effect observed in summarised studies Applicability (generalisability) of the findings	Make clear to what extent the result imply causality by discussing the level of evidence. Discuss all benefits, adverse effects and risks. Discuss variations in effects and their reasons (for example are the treatment effects larger on larger projects).
Conclusions	Recommendations	Practical implications for software development Unanswered questions and implications for future research	What are the implications of the results for practitioners?
Acknowledgements*		All persons who contributed to the research but did fulfil authorship criteria	
Conflict of Interest			Any secondary interest on the part of the researchers (e.g. a financial interest in the technology being evaluated) should be declared.
References and Appendices			Appendices can be used to list studies included and excluded from the study, to document search strategy details, and to list raw data from the included studies.

Fuente: Kitchenham B. Procedures for Performing Systematic Reviews

En este caso se ha decido utilizar un formato similar al sugerido en la literatura consultada. En el formato de presentación de resultados empleado para informar, en forma concisa, sobre los resultados de la revisión. Adicionalmente, el listado de los documentos consultados, con los trabajos elegidos y no elegidos, y los análisis de tipo y calidad del estudio, pueden verse en los anexos para la consulta.

5 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA DE REVISIÓN

Con base en el empleo de la estrategia de búsqueda planteada se obtuvo un conjunto de documentos compuestos por 8297 estudios, que luego de la depuración por el título, palabras clave y contenido del resumen se redujo a un grupo de 62 artículos de revisión.

De este grupo de 62 documentos se seleccionan aquellos que cumplen con los criterios de relevancia para la revisión. El listado de los documentos seleccionados, que suma un total de 41 trabajos científicos, se puede consultar en el apartado de anexos. La tabla de artículos elegidos muestra cada uno de los estudios, con información básica de identificación, y enfrente de cada uno de ellos los criterios de selección, indicando con cuáles de ellos ha cumplido para ser elegido dentro del conjunto de la revisión. También se puede observar el conjunto de artículos que no fueron seleccionados, ya que no cumplían con los criterios establecidos, que está compuesto por 21 artículos.

Posteriormente, y con base en la aplicación de las clasificaciones de jerarquía de diseños de estudios de investigación, se pudo obtener el conjunto ordenado de trabajos científicos conforme la relevancia asignada de acuerdo con el criterio previamente establecido, tal como se puede observar en los anexos.

Adicionalmente, es necesario hacer mención de los sesgos potenciales a que se haya sujeta la realización de los estudios seleccionados. En la tabla de resultados de la revisión se puede observar, junto con la asignación de relevancia de cada estudio, la mención de los sesgos potenciales de cada tipo de trabajo, de manera

que sea tenida en cuenta a la hora de considerar los resultados, conclusiones y sugerencias de los estudios relevantes.

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede observar que tres (3) de los 62 estudios inicialmente seleccionados fueron clasificados como relevantes para la revisión, es decir, a estos trabajos científicos les fue asignada una calificación de 1 dentro de la posible asignación de acuerdo con las jerarquías de estudio sugeridas en la literatura consultada. De otro lado, nueve (9) estudios fueron calificados con una relevancia de 2, diecisiete (17) trabajos científicos recibieron una calificación de 3 y once (11) fueron calificados con una relevancia de 4. Ningún estudio recibió una calificación de 5, es decir, no se seleccionaron estudios basados en la opinión experta sobre bases teóricas o el consenso.

Los estudios calificados con una relevancia de 1 recibieron dicha calificación en razón de que se trató de revisiones que cumplían con los criterios de selección establecidos y sus objetivos se hallaban en plena concordancia con la intención de responder las preguntas planteadas como objeto de la revisión fueron, entonces, consideradas de la mayor relevancia para absolver las inquietudes que motivaron la pesquisa planteada.

Los estudios que recibieron calificaciones de 2 y 3 fueron, en su mayoría, trabajos experimentales, bajo condiciones controladas, o comparativos, pero que se caracterizaron por no contar con grupos o casos de control que pudieran elevar la calificación de relevancia de éstos.

Ninguno de los trabajos experimentales seleccionados consistió en la observación de sujetos aleatorios.

Los documentos seleccionados como relevantes para el análisis fueron:

- A review of assessments conducted on bio-ethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life cycle perspective. De Harro von Blottnitz y Mary Ann Curran. (2006).
- A Review of biodiesel as vehicular fuel. De Ejaz M. Shahid y Younis Jamal. (2007).
- Ethanol in gasoline: environmental impacts and sustainability review article. De Robert K. Niven. (2005).

Los documentos restantes son tenidos en cuenta para la discusión y el aporte de hechos que deben ser sujetos a una revisión y estudio rigurosos. En las conclusiones se incluyen los aspectos sobre los que se puede concluir que existe evidencia en la literatura científica y aquellos sobre los que se requiere un mayor trabajo experimental.

La identificación de aspectos clave para la evaluación de la implementación de la política de promoción de los biocombustibles en Colombia partirá del hecho de que existen aspectos familiares a la puesta en práctica de la misma en el caso del etanol obtenido a partir de fuentes similares a las utilizadas en nuestro país, al igual que en el caso del biodiesel.

5.1 Resultados de la revisión de los documentos

A continuación se incluyen las tablas 5 y 6 que constituyen el resultado de la aplicación de la metodología de revisión diseñada para el presente estudio.

Tabla 5: Listado de artículos y criterios de selección aplicados al grupo de documentos inicialmente revisados

Criterio/Estudio	Estudio experimental emisiones contaminantes.	Revisión documental estudios científicos emisiones vehículos que utilizan mezclas	Comparación desempeño vehículos que empleen diferentes fuentes de energía	Evaluación ciclo de vida energético en la elaboración de combustibles de origen agrícola	Planteamiento, inferencia, medición, o evaluación experimental de los efectos sobre la salud humana	planteamiento, inferencia, medición o evaluación experimental de la cantidad de gases de efecto invernadero	Resultado Selección
G.P. Hammond, S. Kallu, M.C. McManus. Development of biofuels for the UK automotive market. 2007	No	No	No	No	No	No	No
Demirbas A. Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. 2008	No	No	No	No	No	No	No
Jerry D. Murphy. Niamh M. Power. How can we improve the energy balance of ethanol production from wheat?. 2008	No	No	No	No	No	No	No
Ahman M. Nilsson N.J. Path dependency and the future of advanced vehicles and biofuels. 2008	No	No	No	No	No	No	No

Tabla 5. Continuación

Criterio/Estudio	Estudio experimental emisiones contaminantes.	Revisión documental estudios científico emisiones vehículos que utilizan mezclas	Comparación desempeño vehículos que empleen diferentes fuentes de energía	Evaluación ciclo de vida energético en la elaboración de combustibles de origen agrícola	Planteamiento, inferencia, medición, o evaluación experimental de los efectos sobre la salud humana	planteamiento, inferencia, medición o evaluación experimental de la cantidad de gases de efecto invernadero	Resultado Selección
B.V. Mathiesen. H. Lund. P. Nørgaard. Integrated transport and renewable energy systems. 2007	No	No	No	No	No	No	No
The Royal Society. Sustainable biofuels: prospects and challenges. 2008	No	Si	No	No	No	No	Si
Martin Junginger. Et.al. Developments in international bioenergy trade. 2008	No	No	No	No	No	No	No
Birka Wicke. Et.al. Different palm oil production systems for energy purposes and their greenhouse gas implications. 2008.	No	No	No	Si	No	No	Si
Jorg Peters. Sascha Thielmann. Promoting biofuels: Implications for developing countries. 2008.	No	No	No	No	No	No	No

Tabla 5. Continuación

Criterio/Estudio	Estudio experimental emisiones contaminantes.	Revisión documental estudios científico emisiones vehículos que utilizan mezclas	Comparación desempeño vehículos que empleen diferentes fuentes de energía	Evaluación ciclo de vida energético en la elaboración de combustibles de origen agrícola	Planteamiento, inferencia, medición, o evaluación experimental de los efectos sobre la salud humana	planteamiento, inferencia, medición o evaluación experimental de la cantidad de gases de efecto invernadero	Resultado Selección
J.A. Quintero. Et.al. Fuel ethanol production from sugarcane and corn: Comparative analysis for a Colombian case. 2006	No	No	No	No	No	No	No
Harro von Blottnitz. Mary Ann Curran. A review of assessments conducted on bio-ethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life cycle perspective. 2006	No	No	No	Si	No	Si	Si
Christian Rodriguez Coronado. Et.al. Determination of ecological efficiency in internal combustion engines: The use of biodiesel. 2008	No	No	No	No	No	Si	Si

Tabla 5. Continuación

Criterio/Estudio	Estudio experimental emisiones contaminantes.	Revisión documental estudios científico emisiones vehículos que utilizan mezclas	Comparación desempeño vehículos que empleen diferentes fuentes de energía	Evaluación ciclo de vida energético en la elaboración de combustibles de origen agrícola	Planteamiento, inferencia, medición, o evaluación experimental de los efectos sobre la salud humana	planteamiento, inferencia, medición o evaluación experimental de la cantidad de gases de efecto invernadero	Resultado Selección
Wei Yang. Stanley T. Omaye. Air pollutants, oxidative stress and human health. 2008.	No	No	No	No	Si	No	Si
Eric Grosjean. Et al. Ambient Levels Of Gas Phase Pollutants in Porto Alegre, Brazil. 1998	Si	No	No	No	No	No	Sí
Eduardo Monteiro Martins. Et.al. Atmospheric levels of aldehydes and BTEX and their relationshipwith vehicular fleet changes in Rio de Janeiro urban area. 2007	Sí	No	No	No	No	No	Sí
Frank M. Bowman. Et.al. Ozone and Aerosol Productivity of Reactive Organics. 1994	Sí	No	No	No	No	No	Sí

Tabla 5. Continuación

Criterio/Estudio	Estudio experimental emisiones contaminantes.	Revisión documental estudios científico emisiones vehículos que utilizan mezclas	Comparación desempeño vehículos que empleen diferentes fuentes de energía	Evaluación ciclo de vida energético en la elaboración de combustibles de origen agrícola	Planteamiento, inferencia, medición, o evaluación experimental de los efectos sobre la salud humana	planteamiento, inferencia, medición o evaluación experimental de la cantidad de gases de efecto invernadero	Resultado Selección
Néstor Y Rojas. Revisión de las Emisiones de Material Particulado por la Combustión de Diesel y Biodiesel. 2004	No	Si	No	No	No	No	Sí
Helena Ribeiro. Maria Regina Alves Cardoso. Air pollution and children's health in Sao Paulo (1986–1998). 2003	No	No	No	No	Si	No	Si
Joellen Lewtas. Air pollution combustion emissions: Characterization of causative agents and mechanisms associated with cancer, reproductive, and cardiovascular effects. 2007	No	No	No	No	Si	No	Si

Tabla 5. Continuación

Criterio/Estudio	Estudio experimental emisiones contaminantes.	Revisión documental estudios científico emisiones vehículos que utilizan mezclas	Comparación desempeño vehículos que empleen diferentes fuentes de energía	Evaluación ciclo de vida energético en la elaboración de combustibles de origen agrícola	Planteamiento, inferencia, medición, o evaluación experimental de los efectos sobre la salud humana	planteamiento, inferencia, medición o evaluación experimental de la cantidad de gases de efecto invernadero	Resultado Selección
Ha Thi-Hoang Nguyen. Atmospheric alcohols and aldehydes concentrations measured in Osaka, Japan and in Sao Paulo, Brazil. 2001	No	No	No	No	Si	No	Si
Chiung-Yu Peng. Et. al. Effects of the biodiesel blend fuel on aldehyde emissions from diesel engine exhaust. 2007	No	No	Si	No	No	No	Si
Norman Y. Kado. Et.al. Chemical and Bioassay Analyses of Diesel and Biodiesel Particulate Matter: Pilot Study. 1996	No	No	No	No	Si	No	Si

Tabla 5. Continuación

Criterio/Estudio	Estudio experimental emisiones contaminantes.	Revisión documental estudios científico emisiones vehículos que utilizan mezclas	Comparación desempeño vehículos que empleen diferentes fuentes de energía	Evaluación ciclo de vida energético en la elaboración de combustibles de origen agrícola	Planteamiento, inferencia, medición, o evaluación experimental de los efectos sobre la salud humana	planteamiento, inferencia, medición o evaluación experimental de la cantidad de gases de efecto invernadero	Resultado Selección
J. Bunger. Cytotoxic and Mutagenic Effects, Particle Size and Concentration Analysis of Diesel Engine Emissions Using Biodiesel and Petrol Diesel As Fuel. 2000	No	No	No	No	Si	No	Si
Eduardo M. Martins. Graciela Arbilla. Computer modeling study of ethanol and aldehyde reactivities in Rio de Janeiro urban air. 2003	No	No	No	No	Si	No	Si
Peter F. Nelson. Et.al. Effects of vehicle type and fuel quality on real world toxic emissions from diesel vehicles. 2008	Si	No	No	No	No	No	Si
Mark Z. Jacobson. Effects of Ethanol (E85) Versus Gasoline Vehicles on Cancer and Mortality in USA. 2007	No	No	No	No	Si	No	Si

Tabla 5. Continuación

Criterio/Estudio	Estudio experimental emisiones contaminantes.	Revisión documental estudios científico emisiones vehículos que utilizan mezclas	Comparación desempeño vehículos que empleen diferentes fuentes de energía	Evaluación ciclo de vida energético en la elaboración de combustibles de origen agrícola	Planteamiento, inferencia, medición, o evaluación experimental de los efectos sobre la salud humana	planteamiento, inferencia, medición o evaluación experimental de la cantidad de gases de efecto invernadero	Resultado Selección
Farid E. Ahmed. Toxicology and human health effects following exposure to oxygenated or reformulated gasoline. 2001	No	No	No	No	Si	No	Si
F.L.T. Goncalves. The effects of air pollution and meteorological parameters on respiratory morbidity during the summer in Sao Paulo City. 2004	No	No	No	No	Si	No	Si
Ruy Camargo Pires-Neto. Et.al. Effects of Sao Paulo air pollution on the upper airways of mice. 2006	No	No	No	No	No	No	No
Xiaoyan Shi. Et.al. Emission reduction potential of using ethanol-biodiesel-diesel fuel blend on a heavy-duty diesel engine. 2005	Si	No	No	No	No	No	Si

Tabla 5. Continuación

Criterio/Estudio	Estudio experimental emisiones contaminantes.	Revisión documental estudios científico emisiones vehículos que utilizan mezclas	Comparación desempeño vehículos que empleen diferentes fuentes de energía	Evaluación ciclo de vida energético en la elaboración de combustibles de origen agrícola	Planteamiento, inferencia, medición, o evaluación experimental de los efectos sobre la salud humana	planteamiento, inferencia, medición o evaluación experimental de la cantidad de gases de efecto invernadero	Resultado Selección
Lisa A. Graham. Et.al. Emissions from light duty gasoline vehicles operating on low blend ethanol gasoline and E85. 2008	No	Si	No	No	No	No	Si
Jürgen Krahl. Et.al. Exhaust Emissions and Health Effects of Particulate Matter from Agricultural Tractors Operating on Rapeseed Oil Methyl Ester. 2002	Si	No	No	No	No	No	Si
George D. Thurston. Kazuhiko Ito. Epidemiological studies of acute ozone exposures and mortality. 2001	No	No	No	No	Si	No	Si

Tabla 5. Continuación

Criterio/Estudio	Estudio experimental emisiones contaminantes.	Revisión documental estudios científico emisiones vehículos que utilizan mezclas	Comparación desempeño vehículos que empleen diferentes fuentes de energía	Evaluación ciclo de vida energético en la elaboración de combustibles de origen agrícola	Planteamiento, inferencia, medición, o evaluación experimental de los efectos sobre la salud humana	planteamiento, inferencia, medición o evaluación experimental de la cantidad de gases de efecto invernadero	Resultado Selección
Jurgen Bunger. Influence of fuel properties, nitrogen oxides, and exhaust treatment by an oxidation catalytic converter on the mutagenicity of diesel engine emissions. 2006	Si	No	No	No	No	No	Si
Myriam Gerlofs-Nijland. Health Effects of Emissions From Biofuel Combustion. 2008.	No	No	No	No	No	No	No
Simone Georges. Avaliação dos custos econômicos, ambientais e de saúde pública devido ao uso de mistura diesel/etanol estabilizada por um aditivo comercial na cidade de São Paulo, Brasil. 2007	No	No	No	No	No	No	No

Tabla 5. Continuación

Criterio/Estudio	Estudio experimental emisiones contaminantes.	Revisión documental estudios científico emisiones vehículos que utilizan mezclas	Comparación desempeño vehículos que empleen diferentes fuentes de energía	Evaluación ciclo de vida energético en la elaboración de combustibles de origen agrícola	Planteamiento, inferencia, medición, o evaluación experimental de los efectos sobre la salud humana	planteamiento, inferencia, medición o evaluación experimental de la cantidad de gases de efecto invernadero	Resultado Selección
Peter M. Joseph. Paradoxical ozone associations could be due to methyl nitrite from combustion of methyl ethers or esters in engine fuels.	No	No	No	No	Si	No	Si
Ulf Rannug. Data from Short-Term Tests on Motor Vehicle Exhausts. 1983	No	No	No	No	No	No	No
Jurgen Bunger. Strong mutagenic effects of diesel engine emissions. 2007 using vegetable oil as fuel by an oxidation catalytic converter on the mutagenicity of diesel engine emissions. 2006	No	No	No	No	No	No	No
Rebecca Rowe. Systematic Review of Life Cycle Analysis for Bioenergy and Biofuels. 2008	No	No	No	Si	No	No	Si

Tabla 5. Continuación

Criterio/Estudio	Estudio experimental emisiones contaminantes.	Revisión documental estudios científico emisiones vehículos que utilizan mezclas	Comparación desempeño vehículos que empleen diferentes fuentes de energía	Evaluación ciclo de vida energético en la elaboración de combustibles de origen agrícola	Planteamiento, inferencia, medición, o evaluación experimental de los efectos sobre la salud humana	planteamiento, inferencia, medición o evaluación experimental de la cantidad de gases de efecto invernadero	Resultado Selección
Ed Gallagher. The Gallagher Review of the indirect effects of biofuels production. 2008.	No	No	No	No	No	Si	Si
Shadid E.M. A review of biodiesel as vehicular fuel. 2007	No	Si	No	No	No	No	Si
Carrarreto C. Et.al. Biodiesel as alternative fuel: Experimental analysis and energetic evaluations. 2004	Si	No	No	No	No	No	Si
Laforgia D. Ardito V. Biodiesel fueled IDI engines: Performances, emissions and heat release investigation. 1994	Si	No	No	No	No	No	Si

Tabla 5. Continuación

Criterio/Estudio	Estudio experimental emisiones contaminantes.	Revisión documental estudios científico emisiones vehículos que utilizan mezclas	Comparación desempeño vehículos que empleen diferentes fuentes de energía	Evaluación ciclo de vida energético en la elaboración de combustibles de origen agrícola	Planteamiento, inferencia, medición, o evaluación experimental de los efectos sobre la salud humana	planteamiento, inferencia, medición o evaluación experimental de la cantidad de gases de efecto invernadero	Resultado Selección
Kumar A. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. 2006	No	Si	No	No	No	Si	Si
Szklo A. Can one say ethanol is a real threat to gasoline?. 2007.	No	No	No	No	No	No	No
Tan R. Et.al. Carbon balance implications of coconut biodiesel utilization in the Philippine automotive transport sector. 2004	No	No	No	No	No	Si	Si
Ortiz-Cañavate J. Characteristics of different types of gaseous and liquid biofuels and their energy balance. 1994	No	No	No	Si	No	No	Si

Tabla 5. Continuación

Criterio/Estudio	Estudio experimental emisiones contaminantes.	Revisión documental estudios científico emisiones vehículos que utilizan mezclas	Comparación desempeño vehículos que empleen diferentes fuentes de energía	Evaluación ciclo de vida energético en la elaboración de combustibles de origen agrícola	Planteamiento, inferencia, medición, o evaluación experimental de los efectos sobre la salud humana	planteamiento, inferencia, medición o evaluación experimental de la cantidad de gases de efecto invernadero	Resultado Selección
Kim H. Effect of ethanol–diesel blend fuels on emission and particle size distribution in a common-rail direct injection diesel engine with warm-up catalytic converter. 2008	Si	No	No	No	No	No	Si
Graham L. Et.al. Emissions from light duty gasoline vehicles operating on low blend ethanol gasoline and E85. 2008	No	No	Si	No	No	No	Si
Niven R. Ethanol in gasoline: environmental impacts and sustainability review article. 2005.	No	Si	No	No	No	No	Si

Tabla 5. Continuación

Criterio/Estudio	Estudio experimental emisiones contaminantes.	Revisión documental estudios científico emisiones vehículos que utilizan mezclas	Comparación desempeño vehículos que empleen diferentes fuentes de energía	Evaluación ciclo de vida energético en la elaboración de combustibles de origen agrícola	Planteamiento, inferencia, medición, o evaluación experimental de los efectos sobre la salud humana	planteamiento, inferencia, medición o evaluación experimental de la cantidad de gases de efecto invernadero	Resultado Selección
Dorado M.P. Et.al. Exhaust emissions from a Diesel engine fueled with transesterified waste olive oil. 2003.	Si	No	No	No	No	No	Si
Kim S. Dale B.E. Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues. 2004	No	No	No	No	No	No	No
Mathiesen B.V. Et.al. Integrated transport and renewable energy systems. 2008.	No	No	No	No	No	No	No
Murphy J.D. Power N.M. How can we improve the energy balance of ethanol production from wheat?. 2008	No	No	No	No	No	No	No
Balat M. Et.al. Progress in bioethanol processing. 2008	No	No	No	No	No	No	No

Tabla 5. Continuación

Criterio/Estudio	Estudio experimental emisiones contaminantes.	Revisión documental estudios científico emisiones vehículos que utilizan mezclas	Comparación desempeño vehículos que empleen diferentes fuentes de energía	Evaluación ciclo de vida energético en la elaboración de combustibles de origen agrícola	Planteamiento, inferencia, medición, o evaluación experimental de los efectos sobre la salud humana	planteamiento, inferencia, medición o evaluación experimental de la cantidad de gases de efecto invernadero	Resultado Selección
Koo-Oshima S. Et.al. Comprehensive health and environmental effects of biodiesel as an alternative fuel. 1996	No	No	No	No	Si	No	Si
Cataluña R. Et.al. Specific consumption of liquid biofuels in gasoline fuelled engines. 2008	No	No	Si	No	No	No	Si
Lumbreras J. Et.al. Assessment of vehicle emissions projections in Madrid (Spain) from 2004 to 2012 considering several control strategies. 2008.	No	No	No	No	No	No	No
Lapuerta M. Et.al. Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. 2008	No	No	No	No	No	No	No
Lapuerta M. Et.al. Emissions from a diesel-bioethanol blend in an automotive diesel engine. 2008	No	No	Si	No	No	No	Si

Tabla 6: Listado de documentos relevantes de acuerdo con los criterios de calidad y sesgo potencial

Criterio/Estudio	Resultado Selección	Relevancia	Sesgo Potencial
Harro von Blottnitz. Mary Ann Curran. A review of assessments conducted on bio-ethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life cycle perspective. 2006	Sí	1	Sesgo de selección
Shadid E.M. A Review of biodiesel as vehicular fuel. 2007	Sí	1	Sesgo de selección
Niven R. Ethanol in gasoline: environmental impacts and sustainability review article. 2005.	Sí	1	Sesgo de selección Sesgo de evaluación
Helena Ribeiro. Maria Regina Alves Cardoso. Air pollution and children's health in Sao Paulo (1986–1998). 2003	Sí	2	Sesgo de selección
F.L.T. Goncalves. The effects of air pollution and meteorological parameters on respiratory morbidity during the summer in Sao Paulo City. 2004	Sí	2	Sesgo de medición Sesgo de evaluación
Peter M. Joseph. Paradoxical ozone associations could be due to methyl nitrite from combustion of methyl ethers or esters in engine fuels.	Sí	2	Sesgo de evaluación Sesgo de medición
Ed Gallagher. The Gallagher Review of the indirect effects of biofuels production. 2008.	Sí	2	Sesgo de selección
Carrarreto C. Et.al. Biodiesel as alternative fuel:Experimental analysis and energetic evaluations. 2004	Sí	2	Sesgo de evaluación Sesgo de medición
Laforgia D. Ardito V. Biodiesel fueled IDI engines: Performances, emissions and heat release investigation. 1994	Sí	2	Sesgo de evaluación Sesgo de medición

Tabla 6. Continuación

Criterio/Estudio	Resultado Selección	Relevancia	Sesgo Potencial
Kumar A. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. 2006	Sí	2	Sesgo de selección
Koo-Oshima S. Et.al. Comprehensive health and environmental effects of biodiesel as an alternative fuel. 1996	Sí	2	Sesgo de selección
Lapuerta M. Et.al. Emissions from a diesel-bioethanol blend in an automotive diesel engine. 2008	Sí	2	Sesgo de evaluación Sesgo de medición
Eric Grosjean. Et al. Ambient Levels Of Gas Phase Pollutants in Porto Alegre, Brazil. 1998	Sí	3	Sesgo de evaluación Sesgo de medición
Eduardo Monteiro Martins. Et.al. Atmospheric levels of aldehydes and BTEX and their relationship with vehicular fleet changes in Rio de Janeiro urban area. 2007	Sí	3	Sesgo de evaluación Sesgo de medición
Frank M. Bowman. Et.al. Ozone and Aerosol Productivity of Reactive Organics. 1994	Sí	3	Sesgo de evaluación Sesgo de medición
Ha Thi-Hoang Nguyen. Atmospheric alcohols and aldehydes concentrations measured in Osaka, Japan and in Sao Paulo, Brazil. 2001	Sí	3	Sesgo de evaluación Sesgo de medición
Chiung-Yu Peng. Et. al. Effects of the biodiesel blend fuel on aldehyde emissions from diesel engine exhaust. 2007	Sí	3	Sesgo de evaluación Sesgo de medición

Tabla 6. Continuación

Criterio/Estudio	Resultado Selección	Relevancia	Sesgo Potencial
Norman Y. Kado. Et.al. Chemical and Bioassay Analyses of Diesel and Biodiesel Particulate Matter: Pilot Study. 1996	Sí	3	Sesgo de evaluación Sesgo de medición
J. Bunger. Cytotoxic and Mutagenic Effects, Particle Size and Concentration Analysis of Diesel Engine Emissions Using Biodiesel and Petrol Diesel As Fuel. 2000	Sí	3	Sesgo de evaluación Sesgo de medición
Peter F. Nelson. Et.al. Effects of vehicle type and fuel quality on real world toxic emissions from diesel vehicles. 2008	Sí	3	Sesgo de evaluación Sesgo de medición
Mark Z. Jacobson. Effects of Ethanol (E85) Versus Gasoline Vehicles on Cancer and Mortality in the United States. 2007	Sí	3	Sesgo de selección Sesgo de evaluación
Farid E. Ahmed. Toxicology and human health effects following exposure to oxygenated or reformulated gasoline. 2001	Sí	3	Sesgo de selección
Xiaoyan Shi. Et.al. Emission reduction potential of using ethanol–biodiesel–diesel fuel blend on a heavy-duty diesel engine. 2005	Sí	3	Sesgo de medición Sesgo de evaluación
Jürgen Krahl. Et.al. Exhaust Emissions and Health Effects of Particulate Matter from Agricultural Tractors Operating on Rapeseed Oil Methyl Ester. 2002	Sí	3	Sesgo de evaluación Sesgo de medición

Tabla 6. Continuación

Criterio/Estudio	Resultado Selección	Relevancia	Sesgo Potencial
Jurgen Bunger. Influence of fuel properties, nitrogen oxides, and exhaust treatment by an oxidation catalytic converter on the mutagenicity of diesel engine emissions. 2006	Sí	3	Sesgo de evaluación Sesgo de medición
Rebecca Rowe. Systematic Review of Life Cycle Analysis for Bioenergy and Biofuels. 2008	Sí	3	Sesgo de selección
Kim H. Effect of ethanol–diesel blend fuels on emission and particle size distribution in a common-rail direct injection diesel engine with warm-up catalytic converter. 2008	Sí	3	Sesgo de evaluación Sesgo de medición
Dorado M.P. Et.al. Exhaust emissions from a Diesel engine fueled with transesterified waste olive oil. 2003.	Sí	3	Sesgo de evaluación Sesgo de medición
Cataluña R. Et.al. Specific consumption of liquid biofuels in gasoline fuelled engines. 2008	Sí	3	Sesgo de evaluación Sesgo de medición
The Royal Society. Sustainable biofuels: prospects and challenges. 2008	Sí	4	Sesgo de selección
Birka Wicke. Et.al. Different palm oil production systems for energy purposes and their greenhouse gas implications. 2008.	Sí	4	Sesgo de selección
Christian Rodriguez Coronado. Et.al. Determination of ecological efficiency in internal combustion engines: The use of biodiesel. 2008	Sí	4	Sesgo de evaluación
Wei Yang. Stanley T. Omaye. Air pollutants, oxidative stress and human health. 2008.	Sí	4	Sesgo de selección

Tabla 6. Continuación

Criterio/Estudio	Resultado Selección	Relevancia	Sesgo Potencial
Néstor Y Rojas. Revisión de las Emisiones de Material Particulado por la Combustión de Diesel y Biodiesel. 2004	Sí	4	Sesgo de selección
Joellen Lewtas. Air pollution combustion emissions: Characterization of causative agents and mechanisms associated with cancer, reproductive, and cardiovascular effects. 2007	Sí	4	Sesgo de selección
Eduardo M. Martins. Graciela Arbillá. Computer modeling study of ethanol and aldehyde reactivities in Rio de Janeiro urban air. 2003	Sí	4	Sesgo de selección
Lisa A. Graham. Et.al. Emissions from light duty gasoline vehicles operating on low blend ethanol gasoline and E85. 2008	Sí	4	Sesgo de selección
George D. Thurston. Kazuhiko Ito. Epidemiological studies of acute ozone exposures and mortality. 2001	Sí	4	Sesgo de selección
Tan R. Et.al. Carbon balance implications of coconut biodiesel utilization in the Philippine automotive transport sector. 2004	Sí	4	Sesgo de selección
Ortíz-Cañavate J. Characteristics of different types of gaseous and liquid biofuels and their energy balance. 1994	Sí	4	Sesgo de selección

5.2 Resultados del análisis de los documentos relevantes

El análisis de los documentos relevantes, resultado de la revisión realizada, conduce a la mención de los siguientes aspectos en relación con el uso de los biocombustibles en los motores de los vehículos:

- El empleo de etanol en mezclas con gasolina, de hasta el 10% en volumen, con el fin de ser consumido en los motores de vehículos diseñados para ser alimentados con combustibles fósiles reduce la cantidad de monóxido de carbono producido durante la combustión en comparación con el empleo de gasolina en forma exclusiva.
- La cantidad de hidrocarburos totales en los gases de escape de los motores alimentados con mezclas de etanol de hasta el 10% en volumen disminuye en comparación con el consumo de gasolina sin mezclar.
- El empleo de aceites vegetales, o de aceites transesterificados, para su empleo en los motores diesel, tanto en mezclas de hasta el 20% en volumen con combustible diesel de origen fósil, como en mezclas con etanol e hidróxido de potasio, o aún en forma exclusiva, ocasionan problemas permanentes de mantenimiento del motor relacionados con desgaste del mismo, de los empaques y sellos de este, reduciendo fundamentalmente la vida útil de los motores.
- La evaluación del empleo de mezclas de biodiesel con combustible diesel de origen fósil muestra, en forma reiterada, una ligera disminución de la potencia de los motores y un ligero aumento en el consumo de combustible. De otro lado, el carácter menos viscoso de este tipo de mezclas con

respecto al diesel sugiere que su uso puede convertirse en un coadyuvante de la eficiencia del motor.

- Existen dos factores que dominan el desempeño energético de los sistemas de producción de etanol de origen agrícola. Ellos son la razón de productividad que depende del cultivo y del clima, y la naturaleza del cultivo.
- La utilización de etanol o mezclas combustibles con gasolina de hasta un 10% en volumen o más genera un aumento de las emisiones de aldehídos como el acetaldehído y el formaldehído. Dicho aumento en las emisiones ha sido reportado en trabajos científicos que reportan desde un 100% por encima de la cantidad registrada para el consumo de gasolina en forma exclusiva.
- Cuando se utilizan mezclas combustibles de alcohol y gasolina aumenta la cantidad de etanol emitido como producto de la mayor volatilidad de la mezcla resultante.
- Las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x), en el caso de las mezclas de etanol y gasolina, aumentan en comparación con las debidas a la combustión de gasolina en forma exclusiva. Se sugiere, en este caso, una estrecha relación entre la relación de aire y combustible, y se espera que sea necesario una adecuación de los motores para reducir las emisiones de este contaminante cuando el motor consume mezclas de etanol y gasolina.
- Aún cuando existe evidencia de la disminución en las emisiones de hidrocarburos totales, monóxido de carbono, benceno y material particulado debido al uso de mezclas combustibles de etanol y gasolina, al 10% en

volumen, dicha disminución tiene lugar a expensas de un aumento de las emisiones de acetaldehído, etanol, NO_x , metanol y etileno.

- Debido a que compuestos como el acetaldehído o el formaldehído, entre otros compuestos orgánicos volátiles (COV), puedan reaccionar con los óxidos de nitrógeno en presencia de luz solar para formar ozono a nivel de la troposfera, hace que crezca la preocupación alrededor del potencial efecto negativo en salud asociado al consumo de mezclas combustibles de etanol y gasolina. Se requiere del establecimiento de un programa de seguimiento a las concentraciones de acetaldehído, formaldehído y ozono y de la vigilancia epidemiológica correspondiente de los eventos respiratorios y cardiovasculares asociados a la presencia de estos contaminantes en la atmósfera.
- Con base en los estudios seleccionados se puede identificar a las variables meteorológicas como factores determinantes del grado de exposición al ozono, en especial para el caso de ciudades en las que se emplean mezclas de etanol con gasolina como fuente de energía para la flota vehicular, ya que en virtud de la mayor presencia de luz solar en el verano se presenta un aumento en la concentración de ozono en la atmósfera, mientras que en el invierno ocurre un fenómeno inverso.
- El biodiesel se puede emplear en la combustión de calderas como fuente de energía sin que sea necesario llevar a cabo ajustes drásticos en esos dispositivos, de acuerdo con el estudio elaborado por Carrareto Et al., pero en el caso de su empleo en forma de mezclas con combustible diesel o como única fuente de energía, en motores de vehículos diesel, el desempeño de los motores se ve disminuido, por lo menos en un 5%. También se menciona un aumento de consumo de combustible de hasta el 15%.

- Para el caso de motores diesel alimentados con biodiesel, o mezclas del mismo con diesel, se observa una disminución de las emisiones de monóxido de carbono, material particulado y humo visible. Sin embargo, se reporta aumento de las emisiones de NO_x. El estudio de Carrareto sugiere el empleo de mejores sistemas de inyección para mejorar los inconvenientes de emisiones contaminantes y desempeño del motor.
- El empleo de biodiesel tiene inconvenientes técnicos asociados al almacenamiento del mismo en los tanques de combustible de los vehículos, pues el biodiesel es incompatible con los materiales plásticos usados en las tuberías y empaques internos del motor, como por ejemplo Viton o Teflón.
- El costo asociado a la producción de biodiesel no es competitivo con respecto al de la producción de diesel de origen fósil. Carrareto menciona que el precio se hace competitivo únicamente cuando existe una exención de impuestos.
- Aún cuando se promociona el empleo de biodiesel en razón de la disminución de la cantidad emitida de algunos contaminantes atmosféricos, y el beneficio que representa su uso en términos de la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero, no es claro el rendimiento energético positivo de su producción, lo que aunado a las dificultades económicas de su producción y a los potenciales inconvenientes técnicos hace, por lo menos irresponsable, promover su uso intensivo en mezclas con biodiesel, sin haber realizado los estudios de ciclo de vida y rendimiento energético en nuestro medio, por no mencionar los programas de seguimiento de las emisiones de óxidos de nitrógeno y ozono, entre otros provenientes de la combustión de estas mezclas.

- En consideración de las observaciones efectuadas por los investigadores consultados, en los trabajos seleccionados, alrededor del aumento en emisiones de contaminantes como acetaldehído y formaldehído, sustancias que poseen un efecto en salud ya señalado en múltiples investigaciones, como producto de la combustión de mezclas de etanol y gasolina en los motores de los vehículos, se hace evidente la necesidad de llevar a cabo investigaciones epidemiológicas y de evaluación de impacto en salud asociado al empleo de dichas mezclas combustibles en Colombia.
- Se requiere determinar la eficiencia energética en el ciclo de vida de los combustibles de origen agrícola, etanol y biodiesel, para el caso de la situación colombiana. Los estudios de ciclo de vida consultados en los trabajos científicos seleccionados muestran que estos son favorables para los biocombustibles, en cantidades marginales, o desfavorable en otros casos. El documento de Rebecca Rowe Et.al advierte, sin embargo, que la mayoría de estudios de ciclo de vida de los combustibles agrícolas no se reportan en forma transparente, no aclaran las fronteras del sistema en el que se enmarca el balance de energía, ni las suposiciones de escala de tiempo y rendimiento, o no comparan los resultados de sus trabajos con base en los mismos parámetros de otros documentos. Lo anterior sugiere que los estudios de ciclo de vida de la producción de biocombustibles deben ser desarrollados sobre la base de objetivos de comparación precisos que permitan evaluar la reproducibilidad de las conclusiones obtenidas.
- Se requiere también llevar a cabo estudios de evaluación de impacto ambiental en relación con la contaminación del suelo y el agua subterránea para el caso de los cultivos con destinación a la producción de combustibles en el caso colombiano. Tal como lo menciona el documento de Robert Kniven hay evidencia documental alrededor del riesgo de contaminación del

suelo y el agua subterránea asociado a este tipo de plantaciones. De otro lado, Kniven también afirma que para el caso de las mezclas de etanol al 85% hay un efecto benéfico en la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, pero a un costo relativamente alto en aumento de emisiones contaminantes y riesgos a la biodiversidad, entre otros desconocidos.

- Es irresponsable poner en práctica una política de promoción y uso de los biocombustibles sin haber llevado a cabo estudios de impacto en salud asociado a la exposición a contaminantes atmosféricos producidos por la combustión de etanol y biodiesel en los motores de los vehículos.
- En vista de la ausencia de balances de ciclo de vida de la producción de etanol y biodiesel en Colombia y de que, por ende, se desconocen los rendimientos energéticos obtenidos mediante su uso en los vehículos que se usan en nuestro medio, es hasta cierto punto desafortunado que se invierta en cultivos de grandes extensiones de terreno, cultivable para la obtención de alimentos, y en la construcción de instalaciones para la refinación de estos combustibles, sin tener la certeza de obtener una ganancia energética neta de todo el proceso. No obstante, el hecho de que exista el subsidio a la producción de estos combustibles, al parecer, mantiene las expectativas económicas de los particulares que están inmersos en el negocio de la producción de biocombustibles.
- El uso de los biocombustibles con el objetivo de reducir la dependencia de los combustibles fósiles, y disminuir algunas de las emisiones contaminantes que han tenido efectos nocivos en salud ya conocidos y estudiados, es una alternativa que debe estar disponible en conjunto con otro tipo de medidas asociadas, por ejemplo, a la mejora de la calidad de los combustibles fósiles, sobre todo el diesel, a la organización del tráfico

en las grandes ciudades, a la promoción del uso de sistemas de transporte masivo, y a la implementación de medidas de liberalización arancelaria para la importación de vehículos que emplean combustibles más limpios, como el gas natural, que sean flexibles o que utilicen energía eléctrica.

- En ese orden de ideas, se deben desarrollar trabajos dirigidos a establecer la pertinencia y factibilidad, técnica y económica, de la producción de combustibles de origen agrícola de segunda generación. Es decir, los provenientes de aquellos procesos productivos que emplean, para la obtención del biocombustible, no solo el fruto, tubérculo o cualquier otra parte específica de la planta, sino toda ella en sus partes constitutivas. De esa manera, se aprovecha mucho mejor la planta y se obtiene mejor rendimiento productivo.

6. CONCLUSIONES SOBRE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

- La ejecución de la revisión sistemática permitió establecer que el desarrollo de estudios de ciclo de vida y eficiencia energética de la producción de combustibles de origen agrícola, en el caso colombiano, constituyen elementos de análisis clave para la evaluación de la implementación de la política de fomento a la producción de etanol y biodiesel. Sin estos insumos no es posible evaluar la eficacia particular, en el medio colombiano, de su uso en los motores de los vehículos para disminuir la emisión de contaminantes a la atmósfera.
- En razón de que, actualmente, en Colombia se emplea una mezcla combustible de gasolina y etanol al 10% en volumen y no se cuenta con un programa de seguimiento ni con una red de monitoreo de los contaminantes del aire producidos durante la combustión de dicha mezcla, no es posible determinar los efectos que sobre la salud de las comunidades expuestas y el medio ambiente puede estar causando la emisión de estas sustancias. Es irresponsable, por decir lo menos, fomentar en forma indiscriminada la producción de biocombustibles en las condiciones descritas.
- Los estudios sobre el impacto en salud asociado a las emisiones provenientes de motores que emplean biocombustibles, o mezclas de estos con gasolina o diesel, muestran que las emisiones de nuevos contaminantes, como el acetaldehído y el formaldehído, o el aumento de la cantidad de contaminantes emitidos en la actualidad por los motores que emplean combustibles fósiles, constituyen condición suficiente para desarrollar sistemas de monitoreo de los nuevos contaminantes y para

reconsiderar el empleo de dichas mezclas, de manera que no se constituyan en la única estrategia para la disminución de la concentración de contaminantes criterio en el aire.

- La investigación científica alrededor del tema de los biocombustibles y su empleo en los motores de combustión de los vehículos se ha dirigido, principalmente, a establecer el efecto sobre la eficiencia mecánica del motor derivada del empleo de biocombustibles o mezclas de ellos con combustibles fósiles; a evaluar la medida en la que disminuye la emisión de contaminantes del aire en virtud del empleo de biocombustibles o mezclas de ellos con combustibles fósiles en motores de vehículos estándar, o en algunas ocasiones comparando su desempeño con el de motores dedicados para el consumo de mezclas; a desarrollar balances de ciclo de vida de la producción de etanol y biodiesel; a establecer el impacto ambiental asociado a la producción de combustibles de origen agrícola, particularmente, sobre el suelo, el agua y el aire; así como a establecer asociaciones epidemiológicas en relación con la ocurrencia de casos de enfermedad respiratoria en individuos pertenecientes a grupos vulnerables y la presencia de contaminantes derivados de la combustión de biocombustibles o mezclas de estos.
- La ejecución de la revisión permitió establecer que la mayoría de los estudios experimentales desarrollados en relación con el uso de etanol y biodiesel, o mezclas de estos con combustibles fósiles, en los motores de los vehículos se han ocupado de establecer la medida en que el uso de estos combustibles afecta la eficiencia mecánica del desempeño del motor, la vida útil de este y las emisiones de contaminantes. Así mismo, se han llevado a cabo gran cantidad de estudios experimentales interesados en establecer asociaciones epidemiológicas entre la presencia de contaminantes provenientes de la combustión de las mezclas combustibles

de origen agrícola y la ocurrencia de casos de enfermedad respiratoria y cardiovasculares, entre otras patologías asociadas.

- Es necesario llevar a cabo estudios para la medición de la exposición y el efecto de esta sobre la salud de las poblaciones característicamente vulnerables a la presencia de acetaldehído y formaldehído en el aire ambiente e interior.
- Se requiere desarrollar investigaciones alrededor de la pertinencia y factibilidad , técnica y económica, de la elaboración de combustibles de origen agrícola de segunda generación, es decir, de aquellos que emplean todas las partes de la planta, y no sólo sus frutos, para la obtención de soluciones fermentables de amiláceos y celulósicos a partir de las que se pueda destilar alcohol
- Formular recomendaciones a tener en cuenta para el desarrollo de nuevos estudios e investigaciones, sobre aspectos específicos identificados en la revisión, de manera que puedan aportar elementos de análisis suficientes para la evaluación objetiva de la implementación de la política de uso intensivo de biocombustibles en Colombia.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. National Academy of Sciences. Review of the Research Strategy for Biomass-Derived Transportation Fuels. Washington, D.C, United States of America. 2003. [Consultado en línea]. Disponible en http://books.nap.edu/openbook.php?record_id=9714&page=11. Consultado el 6 de Marzo de 2008.
2. Fargione J, Hill J, Tilman D, Polasky S, Hawthorne P. Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt. Science 29, 319, 1235-1238, 2008. [Consultado en línea]. Disponible en <http://www.gmfus.org/doc/economics/Fargione-02-08-08.pdf>. Consultado el 14 de Febrero de 2008.
3. Pereira P, Santos L, Teixeira E, Andrade J. Alcohol- and Gasohol-Fuels: A Comparative Chamber Study of Photochemical Ozone Formation. J. Braz. Chem. Soc. 15 5 646-651. 2004. [Consultado en línea]. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/jbchs/v15n5/21952.pdf>. Consultado el 19 de Febrero de 2008.
4. Karman D. Ethanol fuelled motor vehicle emissions: A literature review. Air Health Effects Division, Health Canada. Mayo de 2003. [Consultado en línea]. Disponible en http://www.cleanairnet.org/caiasia/1412/articles-69504_paper.pdf. Consultado el 9 de Enero de 2008.
5. García H. La biogasolina en Bogotá. El Tiempo.12 de Enero de 2007.
6. Nguyen H, Takenakaa N, Bandowa H, Maedaa Y, De Olivab S, Botelhob M, Tavares T. Atmospheric alcohols and aldehydes concentrations measured

in Osaka, Japan and in Sao Paulo, Brazil. Atmospheric Environment 35, 3075–3083, 2001. [Consultado en línea]. Disponible en <http://www.sca.com.co/bajar/Etanol/MedioAmbiente/Atmospheric%20Alcohol.pdf>. Consultado el 5 de Marzo de 2008.

7. Ministerio de Minas y Energía de la República de Colombia. Política General En Materia De Biocombustibles. Bogotá. Colombia. 2008. 10 Pág. [Consultado en línea]. Disponible en [http://www.minminas.gov.co/minminas/sectores.nsf/2a84e89f4d73f130052567be0052c75a/6e8a3ceda5dd29bd0525734b00664165/\\$FILE/ATT6XUG1/_pa17kplik951k28278l74aki19gg4ajh09l0l8hai950i0h254114ijq39t6k4lajah4k4j25ac_.pdf](http://www.minminas.gov.co/minminas/sectores.nsf/2a84e89f4d73f130052567be0052c75a/6e8a3ceda5dd29bd0525734b00664165/$FILE/ATT6XUG1/_pa17kplik951k28278l74aki19gg4ajh09l0l8hai950i0h254114ijq39t6k4lajah4k4j25ac_.pdf). Consultado el 5 de Marzo de 2008.
8. M. Wang, C. Saricks, D. Santini. Effects of Fuel Ethanol Use on Fuel-Cycle Energy and Greenhouse Gas Emissions. Center for Transportation Research, Energy Systems Division. Argonne, Illinois. Estados Unidos. 1999. 39 Pág. [Consultado en línea]. Disponible en <http://www.transportation.anl.gov/pdfs/TA/58.pdf>. Consultado el 5 de Marzo de 2008.
9. Zhai H, Frey C, Roupail N, Gonçalves G, Farias T. Fuel Consumption and Emissions Comparisons between Ethanol 85 and Gasoline Fuels for Flexible Fuel Vehicles. Paper No. 2007-AWMA-444. 00th Annual Meeting of the Air & Waste Management Association, Pittsburgh, PA, June 26-28, 2007. [Consultado en línea]. Disponible en http://www4.ncsu.edu/~frey/Zhai_et_al_2007a.pdf. Consultado el 6 de Marzo de 2008.
10. Claes de Serves. Emissions from Flexible Fuel Vehicles with different ethanol blends: A report for The Swedish Road Administration. Suecia.

2005. 46 Pág. [Consultado en línea]. Disponible en http://circa.europa.eu/Public/irc/env/eccp_2/library?l=/light-duty_vehicles/meeting_january_2006/a20061483_contribution_1/ EN_1.0 &a=d. Consultado el 9 de Enero de 2008.
11. Harley R. Trends in California Gasoline Properties and Motor Vehicle Emissions. Workshop on Ethanol & Alkylates in Fuels. 2001. 22 Pág. [Consultado en línea]. Disponible en <http://www-erd.llnl.gov/ethanol/proceed/airtns.pdf>. Consultado el 6 de Marzo de 2008.
12. Environmental Protection Agency. A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions. Draft Technical Report. United States. 2002. 126 Pág. [Consultado en línea]. Disponible en <http://www.epa.gov/otaq/models/biodsl.htm>. Consultado el 7 de Marzo de 2008.
13. McCormick R, Williams A, Ireland J, Brimhall M, Hayes R. National Renewable Energy Laboratory. Effects of Biodiesel Blends on Vehicle Emissions. Fiscal Year 2006 Annual Operating Plan Milestone 10.4. United States. 2006. 69 Pág. [Consultado en línea]. Disponible en http://www.biodiesel.org/resources/reportsdatabase/reports/gen/20061001_gen-374.pdf. Consultado el 7 de Marzo de 2008.
14. Ahmed F. Toxicology and human health effects following exposure to oxygenated or reformulated gasoline. Toxicol. Lett. 123(2-3): 89-113, 2001 [Consultado en línea]. Disponible en <http://www.sca.com.co/bajar/Etanol/MedioAmbiente/Efectos%20sobre%20la%20salud%20al%20estar%20expuestos%20a%20las%20gasolina%20oxigenadas.pdf>. Consultado el 5 de Marzo de 2008.

15. Jacobson M. Effects of Ethanol (E85) Versus Gasoline Vehicles on Cancer and Mortality in the United States. *Env. Sci. and Tech.* in press. Revised Jan. 25 2007. [Consultado en línea]. Disponible en <http://www.stanford.edu/group/efmh/jacobson/E85PaperEST0207.pdf>. Consultado el 4 de Septiembre de 2007.
16. Thurston G, Ito K. Epidemiological studies of acute ozone exposures and mortality. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 11, 286 – 294, 2001. Disponible en <http://www.nature.com/jes/journal/v11/n4/pdf/7500169a.pdf>. Consultado el 4 de Septiembre de 2007.
17. House of Commons. Environmental audit. Committee. Are Biofuels Sustainable? First Report of Session 2007-2008. Vol 1. London. England. 2008. 45 Pág. [Consultado en línea]. Disponible en http://image.guardian.co.uk/sysfiles/Environment/documents/2008/01/18/EA_Cbiofuelsreport.pdf. Consultado el 6 de Marzo de 2008.
18. Legiscomex. Biocombustibles en América Latina: Brasil, Colombia y Centroamérica apuestan por los biocombustibles. Bogotá. Colombia. 2007. 18 Pág.
19. AOCS Press. The Biodiesel Handbook. Champaign, Illinois. United States. 2004. 303 Pág.
20. Larosa R. Proceso para la producción de biodiesel (metiléster o ésteres metílicos de ácidos grasos). [Consultado en línea]. Uruguay. 8 Pág Disponible en <http://www.biodiesel-uruguay.com/articulos/Biod-rev2.pdf>. Consultado el 7 de Marzo de 2008.

21. Calvo M. Metodología de investigación: la formulación del problema y la búsqueda bibliográfica. [Consultado en línea]. (2002). 6 Pág. Disponible en <http://cursweb.educadis.uson.mx/payala/Curso%20Metodolog%C3%ADa%20de%20la%20Investigaci%C3%B3n/Problema%20de%20investigaci%C3%B3n/La%20formulaci%C3%B3n%20del%20problema%20y%20la%20revisi%C3%B3n%20Bibliogr%C3%A1fica.doc->. Consultado el 13 de Marzo de 2008.
22. Swanson K, Madden M, Ghio A. Biodiesel Exhaust: The Need For Health Effects Research. Environ Health Perspect. 2007 Abril; 115(4): 496–499. [Consultado en línea]. Disponible en <http://www.ehponline.org/members/2006/9631/9631.pdf>. Consultado el 30 de Julio de 2008.
23. Staples M, Niazi M. Experiences Using Systematic Review Guidelines. School of Computing and Mathematics. Keele University. Reino Unido. 10 Pág. 2005. [Consultado en línea]. Disponible en http://www.bcs.org/upload/pdf/ewic_ea06_paper9.pdf. Consultado el 9 de Agosto de 2008
24. Kitchenham B. Procedures for Performing Systematic Reviews. Software Engineering Group. Department of Computer Science. Keele University. Reino Unido. 33 Pág. 2004. [Consultado en línea]. Disponible en http://www.idi.ntnu.no/emner/empse/papers/kitchenham_2004.pdf. Consultado el 9 de Agosto de 2008.
25. Higgins JPT, Green S, editors. Formulating the problem. Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions 4.2.6. Australia. 265 Pág. 2006. [Consultado en línea]. Disponible en

<http://www.cochrane.org/resources/handbook/hbook.htm>. Consultado el 9 de Agosto de 2008.

26. Shahid E.M, Jamal Y. A review of biodiesel as vehicular fuel. *Renew. Sustain. Energy. Rev.* (2007).
27. A. Agarwal. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. *Progress in Energy and Combustion Science* 33 (2007) 233–271.
28. Blottniz H, Curran M.A. A review of assessments conducted on bio-ethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life cycle perspective. *Journal of Cleaner Production* 15 (2007) 607-619.
29. Springer-Verlag London Limited. *Biodiesel: a realistic fuel alternative for diesel engines*. Londres. Inglaterra. 2007. 214 Pág.
30. Rojas N.. Revisión de las emisiones de material particulado por la combustión de diesel y biodiesel. *Revista de Ingeniería. Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes*. 2004.
31. Niven R. K. Ethanol In Gasoline: Environmental Impacts And Sustainability Review Article. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 9 (2005) 535–555.
32. Springer-Verlag London Limited. *Biofuels for Road Transport: A Seed to Wheel Perspective*. Londres. Inglaterra. 2008. 176 Pág.

33. Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES). Departamento Nacional de Planeación. República de Colombia. Lineamientos De Política Para Promover La Producción Sostenible De Biocombustibles En Colombia (Documento CONPES 3510). Bogotá. Colombia. 2008. 44 Pág.
34. Quintero J.A, Montoya M.I, Sánchez O.J, Giraldo O.H, Cardona C.A. Fuel Ethanol Production From Sugarcane And Corn: Comparative Analysis For A Colombian Case. *Energy*. 33 (2008) 385–399.