

Biodiesel de aceite de palma: una alternativa para el desarrollo del país y para la autosuficiencia energética nacional

Pedro N. Benjumea , John R. Agudelo** y Lesmes Corredor****

Resumen

Para Colombia, la introducción de un combustible alternativo para ser usado en el sector transporte, como complemento del diesel o ACPM, constituye una innovación tecnológica que puede ofrecer grandes ventajas económicas, sociales y ambientales.

En este artículo, inicialmente se precisa el concepto de biodiesel y se describe brevemente su proceso de obtención. Después se analizan las principales fuerzas que vienen impulsando intensamente el consumo de este combustible alternativo, al punto de que hoy es usado en más de veinte países alrededor del mundo. Por último se exponen varios factores que sustentan por qué en Colombia debería emprenderse un programa de fomento del uso del biodiesel y se hace un análisis preliminar de la factibilidad de su implementación.

----- *Palabras clave:* biodiesel, aceites vegetales, transesterificación, combustibles, ésteres metílicos, biocombustibles.

Biodiesel from palm oil: an alternative for Colombian development and for national energy self-sufficiency

Abstract

The introduction of an alternative fuel as substitute of conventional diesel fuel to be used in the transportation sector constitute a technology innovation that offers economical, social and environmental advantages for Colombia.

This paper first discusses the biodiesel concept and how it is obtained. The main forces that are impelling the consumption of this alternative fuel, not

* Ingeniero de Petróleos. MSc. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

** Ingeniero Mecánico. PhD. Grupo Ciencia y Tecnología del Gas y Uso Racional de la Energía de la Universidad de Antioquia.

*** Ingeniero Mecánico. PhD. Grupo Uso Racional de la Energía y Preservación del Medio Ambiente (Urema) de la Universidad del Norte (Barranquilla).

only in Colombia, but in more than twenty countries around the world are reviewed, finally several factors are exposed that sustain why in Colombia an program of promotion of the use of biodiesel would have to be undertaken. Also a preliminary analysis of the feasibility of their implementation is presented.

----- *Key words:* biodiesel, vegetable oils, transesterification, fuels, methylesters, biofuels

Introducción

La preocupación general por el carácter no renovable de los combustibles fósiles y la alta participación del sector transporte en el consumo total de energía primaria y en la contaminación atmosférica de los centros urbanos, se ha convertido en la fuerza que está impulsando en el mundo la investigación sobre fuentes alternas de combustibles para vehículos, especialmente las fuentes agrícolas.

En un contexto general, un combustible alternativo será aquel que proceda de fuentes renovables, o el que aun siendo derivado de combustibles fósiles no es combustible convencional [1]. En este contexto, un biocombustible se puede definir como aquél que ha sido obtenido de una planta y que se puede emplear en procesos de combustión. Los biocombustibles utilizados en el sector transporte se pueden clasificar en dos grupos, dependiendo del tipo de motor en el cual se pueden utilizar: los bioalcoholes y sus éteres derivados (EtilTerButilEter —ETBE— y MetilTerButilEter —MTBE—), cuyo uso es apto en motores de encendido provocado (gasolina) y los aceites vegetales y sus éteres derivados, aptos para motores de encendido por compresión (diesel). A este último grupo de combustibles se les conoce con el nombre de biodiesel.

En este artículo se presentan una serie de argumentos que justifican el inicio en Colombia de un programa de fomento del uso de biodiesel de aceite de palma, como una alternativa para el desarrollo sostenible del país y para apoyar la autosuficiencia energética nacional.

Obtención de biodiesel

De acuerdo con su naturaleza química, un biodiesel está compuesto básicamente por ésteres alquílicos (metílicos o etílicos) de ácidos grasos. Tales ésteres son obtenidos a partir de la transesterificación de aceites y grasas, especialmente de origen vegetal.

Una molécula de aceite vegetal o triglicérido está constituida por tres ácidos grasos esterificados a

una molécula de glicerina. La glicerina constituye cerca de un 20% de la molécula y es la que le da al aceite su textura espesa y pegajosa. Para obtener un biodiesel, los ésteres del aceite vegetal se deben separar de la glicerina; solo así se logra reducir la alta viscosidad del aceite original (cerca a 60 centistokes) para obtener una sustancia con viscosidad similar a la del combustible diesel tradicional (del orden de 4 centistokes). En general, el proceso de transesterificación consiste en la transformación de un tipo de éster en otro. Durante el proceso de transesterificación de un aceite vegetal la glicerina es reemplazada por un alcohol en presencia de un catalizador. Los alcoholes más comúnmente usados son el metanol y el etanol. El catalizador rompe el triglicérido y libera los ésteres, los cuales una vez libres se combinan con el alcohol formando metilésteres o etilésteres según el tipo de alcohol usado (figura 1). El catalizador se combina con la glicerina y van al fondo del reactor. Tras su separación los ésteres formados son tratados para separar una parte del alcohol que no reacciona y eliminar restos de impurezas. A su vez, la glicerina también se purifica separándose de la otra parte del alcohol que no reacciona y de ácidos grasos, que se pueden esterificar para formar más biodiesel o utilizarse como materia prima para producir jabón u otros productos (figura 2).

En cuanto a las materias primas más utilizadas en la producción de biodiesel, la práctica común en los países pioneros ha sido usar aceites vegetales autóctonos. En Austria, Alemania y otros países de Europa Central se utilizan aceites de semillas oleaginosas como el girasol y la colza. En Estados Unidos de Norteamérica y Argentina se utiliza fundamentalmente aceite de Soya. En países tropicales como Malasia e Indonesia se utiliza el aceite de palma. Otra materia prima que en varios países viene ganando terreno por su bajo precio, son los aceites de fritura usados. En la figura 3 se presenta a modo de resumen tres cuadros que muestran las materias primas más comunes, los tipos de catalizador y los parámetros deseables en el producto final. Los

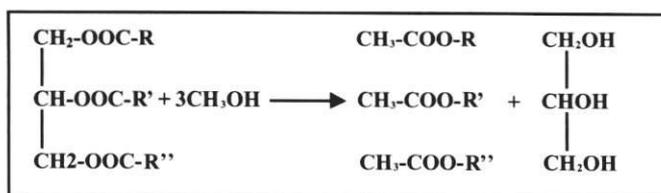


Figura 1 Vista esquemática de la reacción de transesterificación: el triglicérido reacciona con el alcohol (metanol) para producir ésteres y glicerina

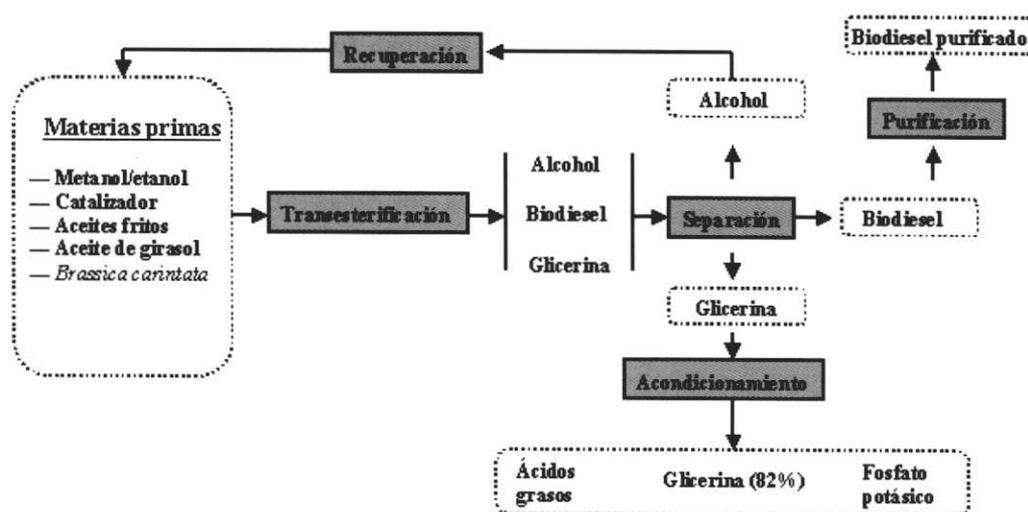


Figura 2 Esquema de producción de biodiesel. Método de la Universidad Complutense de Madrid y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía —IDAE— [1]

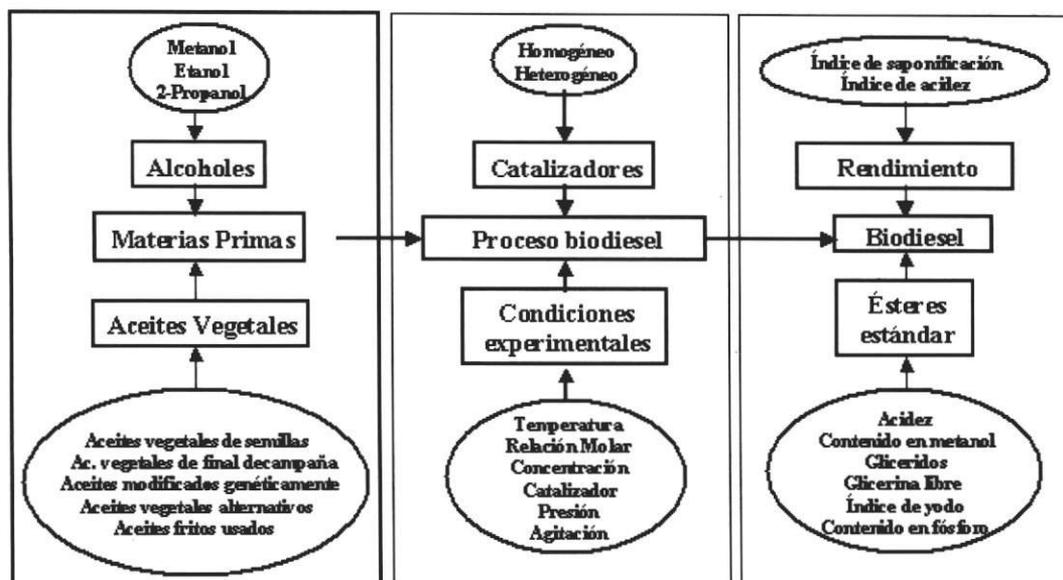


Figura 3 Diagrama de bloques de la producción de biodiesel [1]

co-productos obtenidos de este proceso, tales como la glicerina, carotenos, vitamina E, tocoferoles, entre otros, tienen gran valor agregado en el mercado internacional.

Fuerzas impulsoras del consumo de biodiesel a escala mundial

El uso de combustibles de origen vegetal en motores de encendido por compresión no supone una novedad, pues hace poco más de un siglo, en la exposición mundial de París del año 1900, Rudolf Diesel ponía en marcha su primer motor de encendido por compresión con aceite de maní. No obstante, a la par que se desarrollaba la industria de los motores, se lograban grandes avances en la industria petroquímica, lo que hizo que se perdiera el interés en los combustibles no fósiles.

Entre los principales argumentos que en los últimos años están impulsando fuertemente el consumo de biodiesel en el mundo se tienen:

a) Dependencia energética. La tasa de dependencia energética de importaciones de la Unión Europea, por ejemplo, es del 50%, mientras que la de España es del orden del 75%. Al mismo tiempo la volatilidad de los

precios del petróleo y el gas provocan tensiones inflacionistas [2].

- b) El uso de un biocombustible supone disminución considerable en las emisiones globales de CO₂, ya que el ciclo de generación-absorción se cierra. En otras palabras, las emisiones netas de CO₂ utilizando un biocombustible serían cero, ya que el CO₂ generado en la combustión ya fue absorbido por la planta durante su ciclo de vida. En el caso de los combustibles fósiles, el carbono que se libera es el que se ha fijado en el subsuelo durante millones de años.
- c) El uso del biodiesel reduce las emisiones de óxidos de azufre. Los aceites y grasas, por su propio origen, no contienen azufre.
- d) El uso del biodiesel permite reducciones cercanas al 75% de las emisiones de monóxido de carbono y una reducción sustancial de las emisiones de material particulado, aldehídos e hidrocarburos aromáticos monocíclicos. Adicionalmente, se reducen dramáticamente las emisiones de hidrocarburos aromáticos policíclicos, especialmente los cancerígenos como el fenantreno y el benzopireno [3].
- e) El biodiesel es biodegradable (figura 4) y es no tóxico [4].

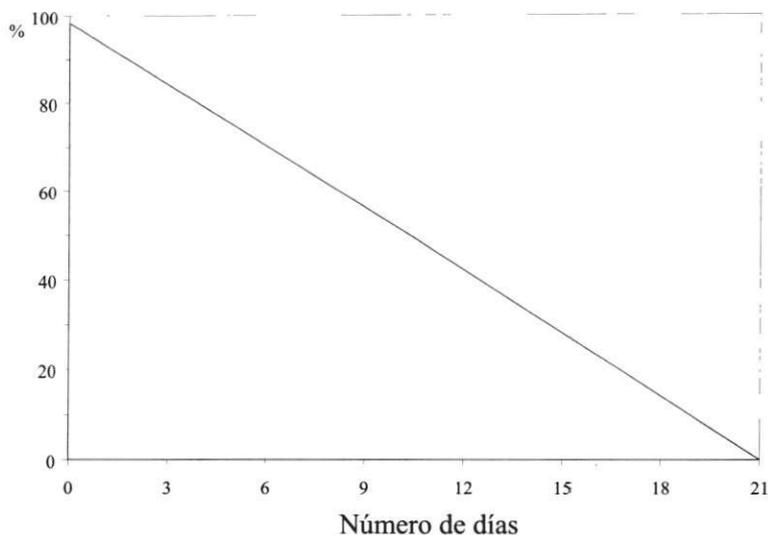


Figura 4 Degradabilidad del biodiesel en función del número de días [1]

- f) Desde el punto de vista energético, el biodiesel constituye una fuente de energía renovable y además su balance energético es positivo, es decir, la energía total contenida en el combustible es mayor que la que invierte a lo largo de su proceso de fabricación [4].
- g) Las energías renovables, al ser autóctonas, representan un enorme potencial para reforzar la seguridad del abastecimiento energético de una región o país, reduciendo el nivel de importaciones energéticas.
- h) La utilización del biodiesel no requiere modificaciones sobre el motor. En caso de usarse puro se recomienda reemplazar piezas del motor que contengan caucho natural o espumas de poliuretano (mangueras, manguitos, sellos y uniones). Tales materiales pueden ser atacados químicamente por el biodiesel puro debido a su acidez [5-6].
- i) Mercado de certificados de emisiones. A partir del Protocolo de Kyoto, la externalidad positiva prevaleciente en los biocombustibles podrá ser valorada monetariamente y así los proyectos de biodiesel tendrán la posibilidad de entrar al mercado de los certificados de reducción de emisiones. La compra-venta de los mismos mejorará la factibilidad económica

de tales proyectos al agregarles un nuevo subproducto (las reducciones de emisiones) para comercializar, y su precio se regirá libremente por la oferta y la demanda.

Actualmente, la mayor producción y consumo de biodiesel en el mundo se da en países de la Unión Europea. La tabla 1 muestra la capacidad instalada y la producción en toneladas por año para varios países europeos en el año 2001.

El biodiesel se consume puro en Alemania y Austria, dado que está libre de impuestos por no ser considerado combustible de origen fósil, con lo que recibe fuerte impulso en un entorno de altos precios del diesel. En Alemania, el suministro se realiza a través de 1.400 estaciones de servicio de la red de distribución [1]. En Francia e Italia existe exención fiscal para el empleo de biodiesel en consumo puro o mezclado. En Francia, el biodiesel se usa en mezclas al 5% vendido como combustible diesel normal, o bien mezclado al 30% para flotas cautivas. Austria fue el país pionero en el estudio y producción de biodiesel en Europa. Por ser un país sin salida al mar, el transporte terrestre de los excedentes agrícolas resultaba excesivamente caro. Debido a ello, se optó por la diversificación de cultivos, dedicando parte de los terrenos al cultivo de colza para la producción de biodiesel. Las investiga-

Tabla 1 Producción europea de biodiesel [4 y 7]

<i>País</i>	<i>Capacidad instalada (tn/año) a 1998</i>	<i>Capacidad instalada (tn/año) a 2001</i>	<i>Producción (tn/año)</i>
Alemania	100.000	550.000	415.000
Francia	225.000	307.000	286.000
Italia	80.000	240.000	160.000
Bélgica	20.000	110.000	86.000
Inglaterra	N.D.	2.000	2.000
Austria	10.000	20.000	20.000
Suecia	N.D.	11.000	6.000
República Checa	N.D.	47.000	32.000
Total	—	1.210.000	1.005.000

* N.D.: no disponible.

ciones se iniciaron en 1982 y la primera planta piloto inició producción en 1985 con la posterior ampliación a escala industrial en 1991. En España la situación actual es bien distinta en comparación con los demás países europeos. Hasta el momento no existen plantas de producción de biodiesel en explotación, aunque hay varios proyectos en diferentes fases de ejecución. Todos los proyectos se basan en tecnologías para producir ésteres de aceites vegetales usados, con la intención de ser utilizados en calefacción, consumo de flotas cautivas, en zonas protegidas medioambientalmente y en un futuro para distribuir en gasolineras, mezclados con diesel comercial. Los proyectos en ejecución producirán del orden de 120.000 toneladas equivalentes de petróleo (tep) de biodiesel.

En Malasia las investigaciones para obtener biodiesel a partir de aceite de palma comenzaron a principios de los noventa, lideradas por el PORIM (Palm Oil Research Institute of Malaysia) y con el apoyo de la estatal petrolera (Petronas). Para el año 1995, ya contaban con una planta piloto con capacidad de producción de 300.000 toneladas por año [8].

Factores que favorecen la utilización de biodiesel en Colombia

La utilización de biodiesel en Colombia, además de verse justificada por los elementos mencio-

nados en la sección anterior, cobra especial interés debido a factores como los siguientes:

1. Potencial de producción de palma y oportunidad social. La materia prima más adecuada para fabricar biodiesel en Colombia es, por muchas razones de peso, el aceite de palma. En la figura 5 se observa que cerca del 86% de la producción de oleaginosas en el país proviene de la palma de aceite. La palma representa para el país el cultivo más promisorio, a tal punto que Colombia actualmente es el cuarto productor mundial de esta planta y el primero en el continente. La meta del plan nacional para el desarrollo integral de la agroindustria del aceite de palma para el año 2020 es tener sembradas 640.000 nuevas hectáreas de palma, adicionales a las 190.000 que hoy existen, con lo cual se crearían 100.000 nuevos empleos directos y 300.000 indirectos. Para dar una idea de lo que esto significa, si la meta se logra, el cultivo de palma podría superar al del café, tanto en términos de área sembrada como de generación de puestos de trabajo [10-11]. La siembra de la palma permitiría incrementar la generación de empleo en el agro colombiano y podría constituirse en una alternativa para la sustitución de cultivos ilícitos. El mayor reto para el sector palmero nacional es la creación de nuevos mercados para el aceite de palma mediante la obtención de derivados que le den mayor valor agregado a las materias primas

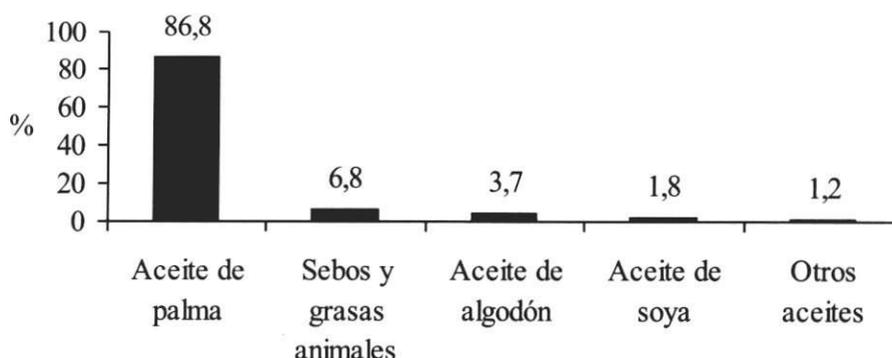


Figura 5 Composición de la producción de aceites y grasas en Colombia [9]

- y le permitan al sector salvaguardarse de las variaciones en los precios internacionales del aceite crudo y evitar la saturación del mercado interno. En el sentido de dar valor agregado al aceite crudo de palma, aparece la producción de biodiesel como una alternativa viable en el corto plazo. Sin embargo, también deberán tenerse en cuenta factores que permitan el desarrollo sostenible del cultivo, pues lo mismo que con cualquier otro cultivo, el problema no es la palma en sí, sino el modelo industrial en el que se la instala. Existen numerosos ejemplos (en particular en África) que muestran que esta palma puede ser cultivada y cosechada de una manera ambientalmente adecuada y que puede servir para satisfacer las necesidades de las poblaciones locales en forma sostenible y equitativa [12]. Estos son los ejemplos que se deben tener en cuenta para generar un crecimiento del cultivo de palma en el país mediante un proceso productivo sostenible y en armonía con el medio ambiente, evitando a toda costa el monocultivo y la destrucción de selva tropical que podrían llegar a afectar fuertemente el suelo y el agua de los humedales.
2. Incremento desbordado en la demanda nacional de diesel: en Colombia, según la UPME—Unidad de Planeación Minero Energética, del Ministerio de Minas y Energía—, el sector transporte consume más de una tercera parte (36%) de la energía total y depende en un 99% de los derivados del petróleo [13]. De éstos, el diesel representa cerca del 40%, con una demanda nacional actual cercana a los 62.000 BPD, con tendencia al crecimiento. De acuerdo con Ecopetrol y el Ministerio de Minas y Energía, el país viene experimentando en los últimos años un proceso de “dieselización” caracterizado por los siguientes síntomas: alto crecimiento de la demanda de diesel y reducción de la de gasolina, importación de vehículos livianos diesel (campana “el primer taxi de diesel en Colombia”), repotenciación de motores, utilización de diesel para el proyecto Transmilenio de Bogotá en lugar de gas natural comprimido, entre otros. Este proceso de “dieselización” está conduciendo al país a una situación crítica, en cuanto a su autoabastecimiento de este combustible. Actualmente, la capacidad instalada de las refinerías de Ecopetrol es de 66,3 KBPD (miles de barriles por día) y el consumo nacional está en 62 KBPD, o sea un consumo superior al 90% de la capacidad instalada. En un escenario de demanda creciente para el diesel, Ecopetrol se vería en la obligación de importar diesel para suplir tal demanda. Una importación del combustible implicaría el desmonte del actual esquema de subsidios, pues sería insostenible para las finanzas del estado comprar el diesel a precios internacionales y venderlo a precios subsidiados. Si se implementara un programa de sustitución del 30% del diesel por biodiesel, esto representaría un ahorro cercano a los 71 millones de dólares por subsidios.
 3. Calidad del diesel colombiano: la carencia de azufre en la composición del biodiesel representa una ventaja comparativa fundamental respecto al combustible diesel que se produce en las refinerías del país, el cual, según los catálogos de Ecopetrol, contiene aproximadamente 5.000 ppm en masa (en torno a 1.000 ppm en masa el diesel premium que se distribuye sólo en Bogotá). Este contenido de azufre del diesel colombiano es muy superior al del diesel que actualmente se comercializa en los países desarrollados.
- En Estados Unidos de Norteamérica, la EPA (Environmental Protection Agency) ha propuesto una reducción en el contenido de azufre del diesel desde su valor actual 500 ppm en masa hasta un máximo de 15 ppm en masa en el año 2006. Debido a las buenas características de mezclado del biodiesel con el diesel, podría plantearse como alternativa económica la utilización de mezclas, con el fin de disminuir el contenido de azufre del diesel colombiano; esto, por otra parte, evitaría la necesidad de instalar plantas de desulfurización de alto costo.

4. Altitud de las principales ciudades colombianas: las mencionadas ventajas en la reducción de emisiones contaminantes se ven incrementadas en condiciones de gran altura, lo que es particularmente importante en un país como Colombia, donde los principales centros urbanos se ubican en alturas superiores a los 1.000 msnm (figura 6), con la ventaja de que la capital (2.600 msnm) concentra cerca del 45% del parque automotor diesel del país (figura 7). La ausencia de una industria propia de diseño de motores diesel en Colombia hace que los motores importados, diseñados para cumplir normas ambientales en Europa y en Estados Unidos a nivel del mar, se encuentren funcionando fuera de su punto de diseño (con excesivas relaciones combustible-aire) debido a la menor concen-

tración de oxígeno en nuestras ciudades. La utilización de combustibles oxigenados como los ésteres de ácidos grasos (biodiesel) puede proporcionar el aporte de oxígeno necesario para llevar nuevamente el motor a funcionar en su punto de diseño sin necesidad de una nueva puesta a punto.

Factibilidad de un programa de biodiesel de aceite de palma en Colombia

El mercado para biodiesel en Colombia estaría basado en la utilización de mezclas 70% diesel-30% biodiesel (B30), las cuales han tenido gran aceptación en diferentes países europeos y asiáticos. De este modo se estaría supliendo en parte el fantasma de la importación al lograrse una

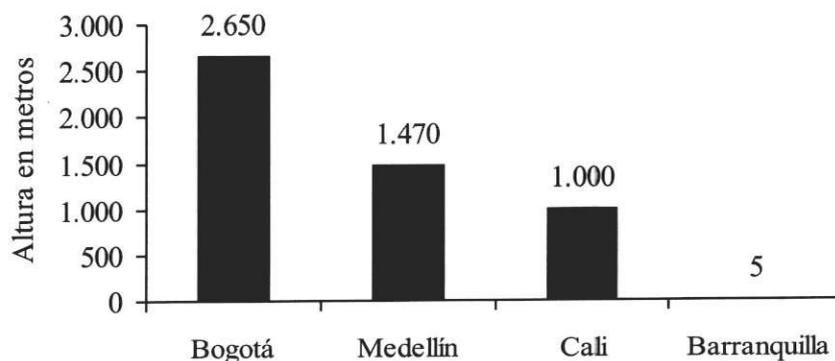


Figura 6 Altura sobre el nivel del mar de las principales ciudades colombianas

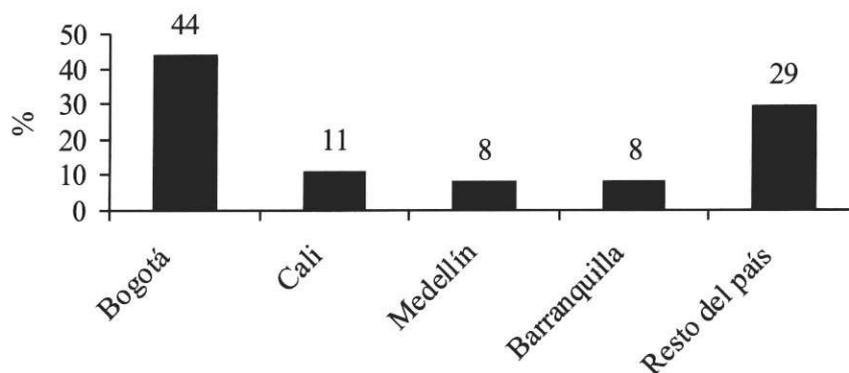


Figura 7 Distribución del parque automotor diesel en Colombia

sustitución del 30% del consumo total de diesel y se dispondría de un combustible final con un contenido de azufre más bajo.

Con base en un consumo de 60.000 BPD de diesel, una sustitución del 30% implicaría una demanda de biodiesel de 18.000 BPD. Suponiendo para el proceso de obtención una eficiencia de conversión del 95% y una dosis de metanol del 30% en volumen, se necesitarían 18.900 BPD de aceite de palma y 5.670 BPB de metanol. Para producir el aceite de palma demandado se requerirá de la siembra de 270.000 ha de palma, lo que podría generar alrededor de 70.000 nuevos empleos.

Uno de los factores que más influye en la factibilidad de un proyecto de biodiesel es el precio de las materias primas y sus fluctuaciones. El precio de las materias primas puede representar hasta un 90% de los costos directos, incluido el costo del capital y su amortización.

En cuanto al costo de producción de biodiesel en Colombia, un valor sobreestimado estaría en el orden de los 1,6 dólares/galón. Esto considerando un panorama alto de precios de mercado de \$880/kg y \$1.000/kg, para el metanol y para el aceite de palma (fase oleína), respectivamente.

Considerando que el precio de venta del diesel (incluyendo un subsidio del orden de U.S.\$0,25 por galón) es de \$2.410/galón después de impuestos, vemos que para que el biodiesel sea competitivo se requiere optimizar su proceso de obtención, desarrollar un proyecto a escala en el cual se involucren los agentes productores de materias primas, para así bajar los precios de tales insumos y sobre todo un tratamiento tributario favorable de parte del gobierno.

Si al biodiesel se le da un tratamiento impositivo similar al de los combustibles fósiles, la factibilidad de su uso se ve fuertemente limitada, de ahí que en los países que se han comprometido con proyectos de este tipo se hayan introducido esquemas impositivos preferenciales.

El marco legal para los biocombustibles en Colombia comenzó a tomar forma con la expedición de la ley 693 de 2001, en la cual se dictan normas sobre el uso de alcoholes carburantes. En lo referente al uso de los ésteres metílicos y etílicos de aceites vegetales como combustibles diesel aún no hay una ley en vigencia, pero se tiene en discusión un proyecto de reforma a la ley 693 para incluirlos.

La implementación de un programa de biodiesel le ofrece al país una gran oportunidad de desarrollo tecnológico propio. Actualmente el país más desarrollado en el mundo en los diferentes usos del aceite de palma es Malasia, con quien recientemente nuestro país se ha asociado estratégicamente. Ningún país europeo, ni Estados Unidos de Norte América, ni Japón disponen actualmente del nivel tecnológico y del grado de desarrollo de Malasia en lo referente a la palma, lo que representa una gran oportunidad de avanzar en desarrollos tecnológicos propios que evitan la importación de tecnología.

Para Malasia e Indonesia la palma ocupa un renglón importante de su economía, llegando a representar alrededor del 7% de su producto interno bruto. Esto ha motivado una diversificación en los usos finales del aceite crudo y sus derivados. Los distintos mercados a los que van orientados dichos derivados han propiciado el desarrollo de varios procesos de producción de biodiesel encaminados a la recuperación de coproductos tales como la glicerina, carotenos, vitamina E, tocoferoles, entre otros. En estos países el biodiesel se obtiene a partir de la fase líquida del aceite de palma conocida como oleína, dejando la fase sólida o estearina para otros procesos.

Colombia, como el cuarto productor de aceite de palma en el mundo y primero en Latinoamérica, alcanza cerca del 7% de la producción de los países mencionados anteriormente. Por economía de escala, por el incipiente desarrollo tecnológico de la oleoquímica y por la incapacidad de absorber los enormes excedentes de estearina

que se generarían en el país no sería conveniente circunscribir la obtención de grandes volúmenes de biodiesel a la fase oleína; por consiguiente, se plantea la necesidad de desarrollar procesos autóctonos para la transesterificación del aceite virgen (sin separación de fases). La primera experiencia que se tiene documentada en Colombia de obtención de biodiesel sin separación de fases se realizó en la Universidad de Antioquia con el apoyo de la empresa Interquim S.A., siguiendo un procedimiento recomendado por el Instituto de Investigación de Palma de Aceite (PORIM) [8]. Esta experiencia demostró la viabilidad técnica de la producción de biodiesel de aceite de palma; sin embargo, los principales problemas que se presentaron fueron el bajo rendimiento de la reacción de transesterificación, influido principalmente por el alto contenido de ácidos grasos libres (AGL) de la materia prima y la inestabilidad del biodiesel obtenido, debido a la falta de purificación final del producto, que mostró cierta tendencia a la separación de fases. Actualmente se está desarrollando un proyecto de investigación entre la Universidad de Antioquia y la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, con financiación de Colciencias e Interquim S.A. que produce cerca del 90% del metanol que se consume en el país, con el objetivo de optimizar el proceso de obtención del biodiesel de aceite de palma, de tal modo que se mejore el rendimiento de las reacciones y se obtenga un combustible de calidad que alcance estándares internacionales.

De otra parte, la Corporación para el Desarrollo Industrial de la Biotecnología y Producción Limpia —CORPODIB— adelanta con el apoyo del Servicio Nacional de Aprendizaje —Sena—, Indupalma y la Unidad de Planeación Minero Energética del Ministerio de Minas y Energía, un estudio de factibilidad técnico, económico y ambiental para la utilización de biodiesel como oxigenante del diesel producido a partir del aceite de palma africana y de aceites de fritura usados [14].

Conclusiones

- El éxito de un programa nacional de biodiesel, como un combustible alternativo más dentro del abanico de posibilidades que se están dando, radica en introducirlo con esquemas impositivos preferenciales, como lo han hecho varios países en el mundo.
- La obtención de un biodiesel de aceite de palma que cumpla especificaciones internacionales de calidad y la demostración práctica de las ventajas de su uso bajo las condiciones ambientales de las principales ciudades del país, serían las fuerzas impulsoras del desarrollo de un proyecto demostrativo a mayor escala que terminaría con la construcción de una planta de producción.
- En el contexto colombiano, el biodiesel como fuente de energía alternativa no sería un competidor para el diesel convencional, más bien sería un combustible complementario que estaría aportando fuertemente al desarrollo del país y a la autosuficiencia energética nacional.

Referencias

1. Armas Octavio, "Contaminantes Provocadas Por Biogásóleos Autóctonos y por Gasóleos Emulsionados", *Memorias de la red temática: Utilización de combustibles alternativos en motores térmicos*. Módulo 1. Medellín, septiembre de 2002. (<http://jaibana.udea.edu.co/investigacion/grupogas/>).
2. Alonso, J.A. "Los biocarburantes como alternativa energética. Situación actual y objetivos". *Biocarburantes: Una alternativa energética. Curso de verano*. UCM-IDAE. San Lorenzo del Escorial. 2002.
3. Crespo, V. et al., "Biodiesel: una alternativa real al gasóleo mineral". *Revista Ingeniería Química*. Marzo, 2000. pp. 135-145.
4. Ugolini, J. "Estudio para determinar la factibilidad técnica y económica del desarrollo del biodiesel. Argentina. Abril, 2001.
5. Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Maleque, M.A., Suhaimi, T. y Mokhtar, N. "Performance and Exhaust Emissions

- of Compression Ignition engine Fuelled With Coconut Oil and Palm Olein”, *Proceedings of 1998 PORIM International Biofuel and Lubricant Conference*. PORIM 1998. p. 75.
6. Schäfer, Ansgar. “The Use of Biofuel in Modern Diesel Engines”. *Proceedings of PORIM BIOFUEL '95. PORIM International Biofuel Conference*. 1995. p. 61.
 7. Hernández, C. “Biodiesel: Estado actual y experiencias en España” *Biocarburantes: Una alternativa energética. Curso de verano*. UCM-IDAE. San Lorenzo del Escorial. 2002.
 8. Agudelo, J.R., Peña, D. y Mejía, R. “Aceite de palma transesterificado por metanólisis como biocombustible para motores diesel”. en: *Revista Facultad de Ingeniería*. Universidad de Antioquia. No. 24. Diciembre de 2001, pp. 47-57.
 9. Agudelo, J.R. y Corredor, L. “Biodiesel: Motor de desarrollo para Colombia en el siglo XXI”. *Memorias del congreso: Biocombustibles soluciones ambientales totales*. Universidad del Norte, Barranquilla, marzo de 2002.
 10. Revista Cambio, abril de 2001.
 11. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, Fedepalma. “La Palma de Aceite un Cultivo Promisorio”. Bogotá, 1999. pp. 7-10.
 12. Carrere, R. y otros. WRM Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales. “El amargo Fruto de la Palma Aceitera”. Montevideo. 2001. <http://www.wrm.org.uy>.
 13. Unidad de Planeación Minero Energética, UPME, Ministerio de Minas y Energía. “La cadena del gas natural en Colombia”. Actualización 1999. Santafé de Bogotá, mayo de 1999. p. 15.
 14. Corporación para el Desarrollo Industrial de la Biotecnología y Producción Limpia —CORPODIB—. <http://www.corpodib.com/estudios.htm>.