

# Producción en Colombia de los derivados del aceite de palma como carburante para motores de ciclo diesel

## Technical and Economic Pre-feasibility Study of the Production in Colombia of Crude Palm Oil Derivatives as Fuel for Diesel Engines

**Arturo Infante Villareal**<sup>1</sup>  
**Eduardo Del Hierro**<sup>2</sup>  
**Juan Carlos Del Hierro**<sup>3</sup>



### Palabras Clave

Aceite de palma, Biodiesel, Metil ester, Combustible diesel.

### Resumen

Las posibilidades de emplear aceites vegetales, en especial el de palma de aceite, para combustibles con motores diesel es explorada en esta intervención. Las diferentes vías para lograrlo se explican en detalle, así como el proceso de obtención del metil ester. Posteriormente se aborda el tema del combustible vegetal hecho a partir del aceite de palma en las temáticas relacionadas con las finanzas, la economía, la demanda, la oferta de las materias primas para poder producir estos combustibles y dimensionar las posibilidades que se tienen en Colombia, al igual que la estrategia que se debe adoptar para aprovechar esta ventaja competitiva.

### Summary

This presentation explores the possibility of using vegetable oils, particularly palm oil, as fuel for diesel engines. The different ways to achieve this are explained in detail, as well as the process to obtain methyl-ester. The paper also addresses the subject of vegetable fuel made from palm oil in relation to financing, economy, supply and demand of raw materials to produce these fuels and the possibilities for Colombia. It also describes the strategy that must be adopted to make full use of this competitive advantage.

1 Profesor de las universidades Andes y Valle; ex-rector de la Universidad de los Andes, ex-embajador de Colombia ante el gobierno de Malasia, ex-director y colaborador de Fonade, de la unidad de Proyectos Específicos y Crédito Externo del DNP, de Desarrollo Integral de la Agroindustria de la Palma de Aceite en Colombia. Actualmente consultor para el PNUD y consultor honorario de Malasia en Bogotá.

2 Ingeniero químico de la Universidad Nacional de Colombia, ex-ministro de Minas y palmeras, profesor MIT en la Universidad Nacional de Colombia, consultor para empresas Energía, senador de la república y cónsul honorario de la República de Sudáfrica en Bogotá.

3 Administrador de empresas de la Universidad de los Andes, especialista en economía de desarrollo en Cambridge, especialista en financiamiento de pequeñas empresas y Máster en Business Administration en Londres.

Esta presentación versa sobre la utilización de aceites vegetales, en especial, del de la palma de aceite como combustibles para motores diesel, que son de combustión interna, es decir, la combustión ocurre dentro del espacio confinado por el cilindro, el pistón y la culata.

El ciclo primero se llena de aire en el caso del motor diesel y de mezcla de gasolina y aire en el motor otto, luego de llenarse se comprime y al llegar a un punto de la compresión salta la chispa y al hacerlo la carga entra en ignición y empuja el pistón el cual a través de un mecanismo de biela cigüeñal empieza a convertir ese movimiento lineal en movimiento circular.

Los motores diesel y los de gasolina, que son de combustión interna son esenciales en la vida moderna, especialmente para el sector automotor. El motor diesel tiene unas características diferentes al de gasolina, en primer lugar, la relación de compresión es diferente, es decir, en el de gasolina se comprimen sobre todo los viejos, mucho menos la carga que en el motor diesel, por tanto, normalmente los motores diesel eran sumamente robustos porque llegaban a presiones y a temperaturas muy altas dentro del cilindro. Entonces el motor convierte esa energía del combustible en potencia.

Las condiciones del motor diesel son más favorables para convertir en potencia esa energía química del combustible que los motores de gasolina, de ahí que han venido desplazando a los de gasolina y ahora con los avances se dispone de motores diesel livianos y más eficientes para el sector automotor.

El motor diesel fue desarrollado por un ingeniero alemán que se llamaba Rudolf Diesel y su primer combustible fue aceite de maní, es decir, que fue diseñado para aceites vegetales por su inventor. Luego a lo largo del siglo XX

primero se usaron algunos combustibles derivados de alquitranes de hulla y luego vino el auge enorme de la industria petrolera y todos los motores se pasaron a destilados petroleros.

Entonces quedó la memoria de que ese motor había sido inventado para aceites vegetales y los combustibles que se usan hoy en día son casi todos destilados, así sea destilación directa o por craqueo catalítico del petróleo y también son hidrocarburos, es decir, sólo contienen carbono e hidrógeno. Esos combustibles tienen la propiedad de que si se los enfría por debajo de cero grados centígrados siguen siendo líquidos, lo que es muy importante en un motor como el diesel porque el combustible que usa es líquido. Entonces cuando se piense en utilizar otros combustibles en motores diesel se debe considerar que éstos también tienen que entrar al motor en forma de líquido.

### **Combustibles de aceite de palma**

En el 2000 con el apoyo de Palmeras de la Costa se hizo un análisis sobre la posibilidad de ensayar combustibles de aceite de palma. La primera consideración era muy clara pues se tenía que tener un combustible líquido, entonces el primer paso fue ensayar mezclas de ACPM con aceite de palma crudo, obviamente es un experimento muy preliminar pero se hizo en varios motores y funcionaron bien. Al mismo tiempo con las universidades del Norte y Antioquia, y también con el apoyo de Palmeras de la Costa, se empezó a hacer metil éster como combustible para motores diesel.

Después se volvió a ensayar ponerle aceite de híbrido interespecífico y aceite de ténera a un motor en los llanos orientales, lo que funcionó asimismo bien.

Aquí se trabaja con un aceite distinto, el aceite de palma, y por ello

se debe tener en cuenta la naturaleza química del aceite de palma en comparación con la del aceite de soya. Entonces el aceite de soya es un aceite lleno de lo que en química se llama moléculas no saturadas, entre oleico y linoléico tiene 90%, mientras que el aceite de palma tiene más o menos de 45 a 50% de oleico y de 40 a 45% de palmítico y éste es muy distinto a los otros porque el palmítico es una cadena carbonada saturada.

¿Qué importancia tiene esto? Que como se trata de un proceso químico que es la combustión, la naturaleza de las moléculas intervienen, entonces se observaron las experiencias de lo que se había hecho en el exterior respecto a los aceites, se compararon los análisis químicos tanto de los aceites del exterior y por razones químicas se analizaron las diferencias.

Las condiciones de combustión de los aceites vegetales porque son oxigenados, son distintas a las de los aceites de petróleo, eso hace que se tenga una combustión en unas condiciones diferentes. El primer resultado será: si se usan combustibles petróleos, las cantidades de óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y CO son más altas a las que produce el combustible de palma y más aún el combustible petrolero en el motor diesel da una enorme cantidad de hollín. La única gran desventaja del motor diesel sobre el motor otto es la cantidad de hollín, pero si se le mete combustible que obtenga oxígeno baja claramente esta cantidad entonces hay un impacto en el medio ambiente que es muy importante de tener en consideración.

En el hemisferio norte se encontró que los aceites de soya por decir algo y de colza en invierno cuando bajaban las temperaturas de cero grados centígrados se volvían sólidos, entonces al volverse sólidos no se podían usar como combustible porque no se

podía bombear. De ahí que se optó por una ruta química, es decir, hacer reaccionar el aceite con metanol, hacer un metil éster que tiene un punto de fusión más bajo que el correspondiente triglicérido, por ejemplo, el de ácido palmítico con glicerina tiene un punto de fusión más alto que el triglicérido con metanol, entonces en esa forma se bajó el punto de fusión, para poder usar metil éster en la época de invierno.

El metil éster bajó muchísimo el punto de fusión pero el oleico que es el principal componente del aceite de soya tiene un punto de fusión de 13 grados centígrados, el palmítico de 63, el éster de palmítico de 28 y el aceite de palma normalmente entre 27 y 40, dependiendo de la pureza y de otros factores. El éster de aceite de palma tiene un punto de fusión de 16 grados centígrados.

En Colombia no se aplica el sistema para lograr un combustible apto para motores diesel siguiendo la ruta adecuada en el hemisferio norte para hacer combustible para motores diesel a partir del aceite de soya o aceite de colza.

#### Proceso de obtención del metil éster

Se tiene el metanol que es el alcohol metílico, la potasa cáustica que es el catalizador, y aquí entra el aceite vegetal. En Europa usan aceite vegetal refinado, se puede hacer con aceite vegetal no refinado o de todas maneras eliminar la acidez del aceite antes de que entre a este paso. Porque si se tiene potasa cáustica CKOH y aceite vegetal, lo que se va a tener es una formación muy grande de jabones y no se quiere perder aceite y rendimiento haciendo jabones.

Entonces la trans-esterificación es la reacción entre el metanol y el aceite, sale metanol sobrante porque eso es un exceso, la glicerina producto también de la trans-esterificación

La única gran desventaja del motor diesel sobre el motor otto es la cantidad de hollín, pero si se le mete combustible que obtenga oxígeno baja claramente esta cantidad entonces hay un impacto en el medio ambiente que es muy importante de tener en consideración.

El problema de Bogotá es el humo de los motores diesel y al introducirle un motor y un combustible en ACPM y aceite de palma, es decir, que se adelgaza el aceite de palma con ACPM para que fluya y se pueda usar, habrá un efecto ambiental muy grande.

como es más pesada se asienta y sale por abajo y luego se puede llevarla, purificarla y pasar por todos los puntos de purificación. El éster crudo que sale, es decir, el metil éster se pasa a un segundo reactor donde el exceso que haya habido de potasa se neutraliza con ácido fosfórico o también puede ser con otro ácido, por ejemplo, con ácido cítrico, se vuelve a separar, se filtra y ya se tiene un metil éster, salen fosfatos y aguas de lavado. Es un proceso químicamente muy sencillo, pero ya cuando se tiene una instalación grande, con automatización es mucho más complicado, por ejemplo, se tiene aquí trans-esterificación en un solo reactor, normalmente se usan dos o tres pero este es el proceso que se utiliza para hacer el metil éster.

Entonces surgen dos líneas de pensamiento o de productos, una hacer metil éster y otra simplemente tomar el aceite de palma y licuarlo con ACPM, el proceso industrial siempre tiene que estar vinculado con los datos de mercado. Colombia hoy en día está quemando 700 mil barriles diarios de ACPM petrolero, todas las exportaciones de aceite que hace el país equivalen a 2.800 barriles diarios, es decir, apenas 4% en volumen del ACPM que se queman, ello conduce a considerar la posibilidad de mezclar y obviamente optimizar la parte técnica, para buscar el nicho de mayor beneficio económico.

Hay otro nicho de interés que se debe analizar con mucho más detenimiento, que es la zona del altiplano cundiboyacense, región geográfica *sui generis*, está en el trópico y tiene un clima muy parecido al del otoño en los climas templados del planeta. Además tiene una presión barométrica de 560 milímetros de mercurio y no de 760 milímetros de mercurio que hay sobre el nivel del mar, es mucho más que el oxígeno del altiplano cundiboyacense, y como los procesos de

combustión son procesos de oxidación, eso influye tanto en los combustibles como en sus rendimientos.

Un ejemplo tomado al azar: si se toma un motor de 100 caballos de gasolina sobre el nivel del mar y se convierte a gas natural vehicular, pierde 30% de la potencia, si lo hace en Bogotá ha perdido 50% de la potencia, entonces se está jugando en un escenario muy especial que es el del altiplano, con la ventaja que esa región es gran consumidora de combustibles, se convierte en un mercado objetivo muy interesante, porque allí se pueden buscar las condiciones para agregar si fuese necesario aceite de palma pero como contribución al medio ambiente.

El problema de Bogotá es el humo de los motores diesel y al introducirle un motor y un combustible en ACPM y aceite de palma, es decir, que se adelgaza el aceite de palma con ACPM para que fluya y se pueda usar, habrá un efecto ambiental muy grande.

Si se mira el mercado bogotano que consume aproximadamente esa zona, 17% del ACPM del país, se puede pensar en hacer una contribución al medio ambiente, con un aditivo ambiental, es decir, que la contribución del aceite de palma va a ser principalmente en ese sentido, pero si se ahonda más en la química del aceite de palma encontrará que tiene otros elementos que son importantes en comparación con el aceite de soya.

Estudios de la Universidad de Western Australia muestran que las polimerizaciones obstruyen a los motores diesel, que cuando se usa metil éster de colza o de soya tienen íntima relación con el índice de yodo y que si éste es bajo como lo es en el aceite palma, las obstrucciones son mucho menores.

El aceite de palma no sólo contiene los triglicéridos de ácido palmítico, de

ácido oleico, de esteárico, linoléico, etc., sino hay unos componentes menores en el aceite de palma pero vitales como la vitamina E, que es un poderoso antioxidante, entonces en los procesos de combustión, de bombeo y de calentamiento la vitamina E interviene y según estudios de Malasia de 2003 estabiliza los combustibles derivados de palma, pero por el contrario los aceites de soya y de colza no tienen vitamina E, por tanto es inestable el combustible de esos aceites, por eso hay que añadirles antioxidantes a los metil ésteres, a los biodiesel hechos en ese país para evitar que tengan una corta vida en tanques, no así con el aceite de palma.

Hay muchas posibilidades técnicas sobre el combustible para motores diesel de origen vegetal, y se debe continuar también con el estudio del uso del aceite crudo, como por ejemplo en Canadá y Estados Unidos es comercial un calentador para motores diesel para usar aceites crudos, y en ese sentido hay toda una gama de aspectos para estudiar.

De lo anterior se puede concluir que:

- El aceite de palma crudo se puede utilizar como combustible diesel si la temperatura ambiente es alta o si se instalan calentadores.
- El uso de metil ésteres de aceite vegetal no requiere de modificaciones en los motores diesel excepto en los crudos inviernos del hemisferio norte.
- En todos estos ensayos siempre se tuvo en cuenta que la tecnología de biodiesel, es decir, de metil éster utilizadas en Europa y otros países del hemisferio norte son para la transformación de aceites como colza, soya y girasol.
- Colombia cuenta sólo con producción de aceite de palma, mientras debe importarse el metanol necesario para la fabricación de metil ésteres.
- Es necesario continuar con las pruebas que validen el comportamiento del biodiesel en las condiciones particulares del país usando aceite crudo de palma mezclado con ACPM, metil ésteres y metil ésteres de palma mezclados con ACPM.

### **El universo del diesel**

A continuación se aborda el tema del combustible vegetal hecho a partir del aceite de palma en las temáticas relacionadas con las finanzas, la economía, la demanda, la oferta de las materias primas para poder producir estos combustibles y dimensionar las posibilidades que se tienen en Colombia y la estrategia que se debe seguir en el país para poder aprovechar esta oportunidad.

En la Tabla 1 se resume la manera cómo se estructura el precio del combustible diesel que llega al consumidor final en Colombia. En la primera columna donde está el diesel 2, aparecen los diferentes elementos que integran el precio, el que finalmente llega al consumidor final en dólares por galón. En el caso del diesel 2 el precio que llega es de 2,09 dólares.

Se parte de un precio del combustible diesel 2 en el Golfo de México, a partir de julio de 2003 superó el consumo de 67.000 mil barriles diarios de combustible diesel que es la capacidad de producción de Colombia, de ahí en adelante se han tenido que usar reservas y enfrentar la posibilidad para el consumo adicional de tener que importar, y lo que tienen que importar es combustible diesel del Golfo de México.

Este combustible que se compra allí tiene que ser obviamente traído a

**Tabla 1** Precio al público del combustible para motores diesel  
(US\$ 40 por barril de crudo de petróleo y US\$ 500 por tonelada de aceite crudo de palma)

Tasa cambio \$2700	Us\$ por galón	Diesel 2	Con Exención Biodiesel	Sin Exención Biodiesel
	<b>Precio Diesel 2 Golfo de Méjico</b>	\$ 1,0103		
	Flete, Inspección y Seguro	\$ 0,0476		
	<b>Subtotal</b>	\$ 1,0579		
	Arancel (15% sobre subtotal)	\$ 0,1587		
	Timbre (15% sobre subtotal)	\$ 0,0159		
	<b>Diesel 2 en Pozos Colorados</b>	\$ 1,2324	\$ 1,7494	\$ 1,7494
	Transporte interno	\$ 0,1037	\$ 0,0412	\$ 0,0412
	Impuesto global (23.26% Pozos Colorados)	\$ 0,2867	-	\$ 0,4069
	Impuesto ventas (16% Pozos Colorados)	\$ 0,1972	-	\$ 0,2799
	<b>Precio venta mayorista</b>	\$ 1,8200	\$ 1,7907	\$ 2,4775
	Margen mayorista	\$ 0,0566	\$ 0,0566	\$ 0,0566
	Precio planta de abastos	\$ 1,8765	\$ 1,8472	\$ 2,5341
	<b>Margen minorista</b>	\$ 0,0971	\$ 0,0971	\$ 0,0971
	Transporte a estación de servicio	\$ 0,0049	\$ 0,0049	\$ 0,0049
	Sobretasa (6% Precio planta abastos)	\$ 0,1126	\$ 0,1108	\$ 0,1520
	<b>Precio al Público</b>	\$ 2,0911	\$ 2,0600	\$ 2,7880

Fuente: Tablas 3.1,3.2,3.3

Colombia, lo cual origina unos costos de flete, inspección y seguro para llegar a tener unos impuestos, un arancel timbre para poderlo poner en Pozos Colorados en Santa Marta a un precio de 1,23 dólares, también hay unos costos de transporte, impuestos, precio de venta al mayorista, margen al mayorista, precio en la planta de abastos, transporte a la estación de servicio y sobretasa (que es otro impuesto de tipo municipal) para llegar al precio final de 2,09 dólares.

Una de las columnas de la Tabla 1 se refiere a la posibilidad de fabricar biodiesel y a cuál sería el precio que le llegaría al consumidor final, que parte del aceite crudo de palma, para ello como punto de referencia se utiliza el CIF Rotterdam, y se parte de un precio de 1,74 dólares prácticamente del galón del combustible del aceite crudo de palma en la planta extractora, con sus respectivos costos de transporte, y también se hace el estimativo con impuestos y sin impuestos.

Esas cifras lógicamente consideran el hecho de que Colombia enfrenta la realidad de tener que empezar a importar combustible diesel y en vista de que el precio del crudo de petróleo subió el precio del combustible diesel está pagado muy directamente y ese combustible diesel en el Golfo de México que aumentó, por eso se tiene en este momento un espacio de sustitución desde el punto de vista financiero entre las dos alternativas.

La última columna muestra que si se ponen los impuestos sale más costoso el combustible que tiene que pagar el consumidor final, por ello se analizarán los diferentes elementos que se deben considerar en términos de demanda-oferta para ver cuál es la realidad de la sustitución posible en Colombia.

#### **Demanda por el combustible diesel**

En primer término se analiza cuál es la demanda por el combustible diesel

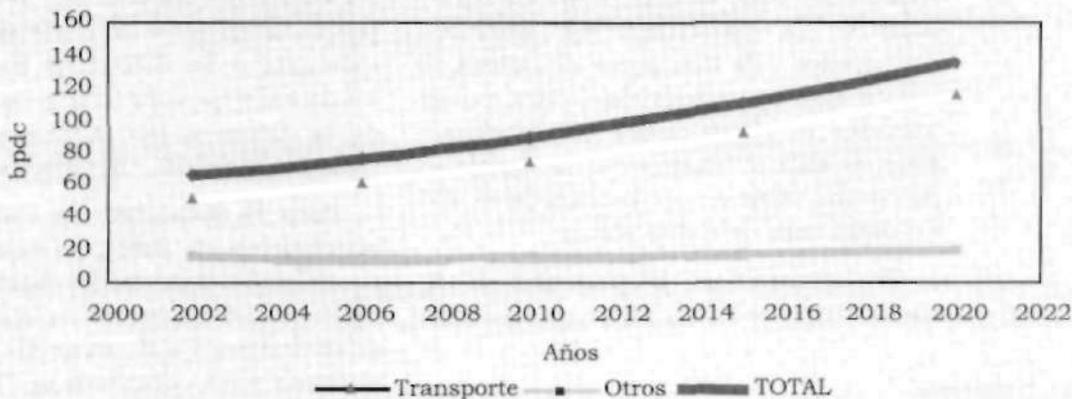


Figura 1 Proyección de la demanda diesel en Colombia 2002-2020

en Colombia (Figura 1) para ello se analizan las proyecciones hechas por el mismo gobierno, con las variables de consumo total y el sector transporte que está desglosado entre el consumo del sector transporte y el consumo industrial. Lo que jalona la mayor demanda de este combustible es precisamente el sector transporte para uso los vehículos.

También se observa que hay una expansión y una expectativa de un aumento en el consumo de combustible diesel, y se observa el aumento en el consumo del combustible diesel respecto a la gasolina, en las tablas achuradas está el diesel y la gasolina en el sólido (Figura 2).

Se puede observar cómo en el 2002 había un consumo más grande de gasolina que de combustible diesel y cómo esa proporción va cambiando a lo largo del tiempo hasta que hacia el 2016 se igualarían las proyecciones y en el 2020 habría un consumo mayor de combustible diesel que de gasolina. Pero lo más interesante es la línea que muestra las necesidades de importaciones de combustible sumado diesel y gasolina, su crecimiento a lo largo de los años y hacia el 2020 Colombia tendría que importar unos 80.000 barriles diarios superior al consumo

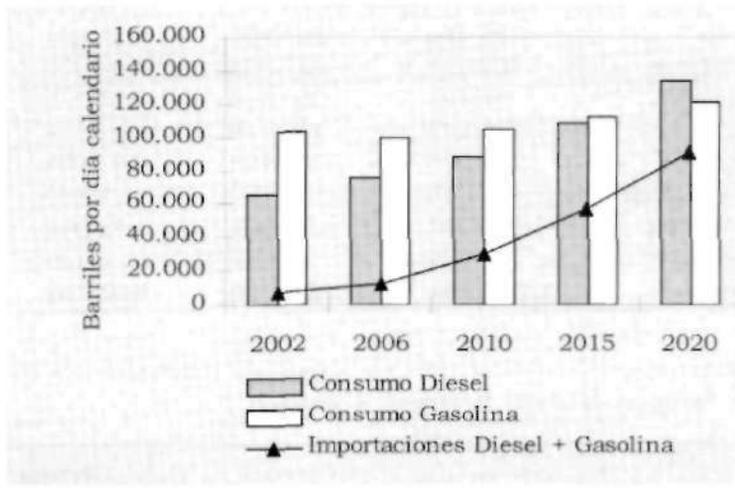


Figura 2 Consumo de diesel y gasolina (BPDC)

actual de combustible diesel de 70.000 barriles diarios. Para esa época los barriles que se estarían importando tendrían un costo anual estimado en precios de hoy cercano a los 1.600 millones de dólares.

**Alternativas de sustitución**

En segundo término se hace referencia al terreno de la producción actual del aceite de palma y a cuáles son los órdenes de magnitud de sustitución.

La Tabla 2 muestra el comportamiento del consumo de octubre de 2003 y de sustitución para varias regiones del país -Costa, Occidente,

Antioquia, Sur, Bogotá, viejo Caldas y llanos- la cantidad de barriles mensuales y de hectáreas de palma de aceite que se requerirían para poder atender la producción del biodiesel para sustituir totalmente la cantidad de combustible de petrodiesel de ACPM en cada una de estas zonas.

Por ejemplo, en Bogotá que es un nicho interesante, se consumieron

299.699 barriles a esa fecha, para poder atender ese consumo se requerirían de 320.198 barriles de biodiesel y para producir esos barriles de biodiesel se necesitaría la producción de 141.000 hectáreas.

Para la totalidad de Colombia se requerirían de 180.000 hectáreas en producción para poder sustituir 20% de lo que se consume en la actualidad si se dedicara todo el aceite de palma del país para combustible (Tabla 3).

Si se tuviera en cuenta cuál sería la cantidad que se podría sustituir atendiendo las necesidades internas de aceite de palma, es decir, lo que hoy en día se está destinando para la exportación, entonces se podría atender en este momento algo así como 5% lo que equivale a 180.000 toneladas.

Por ello se debe tener claridad sobre las cantidades y los volúmenes que se requieren y las posibilidades que tiene el sector palmero para resolver el

Tabla 2 Consumo y sustitución.

Octubre 2003 Zona	Petrodiesel	Biodiesel	Hectáreas
	Barriles por mes		
Costa	331.266	353.925	155.961
Occidente	306.395	327.352	144.252
Antioquia	238.195	254.488	112.143
Sur	183.843	196.418	86.554
Bogotá	299.699	320.198	141.099
Viejo Caldas	122.406	130.779	57.629
Santander	210.241	224.621	98.982
Llanos	13.039	13.931	6.139
<b>Total</b>	<b>1.705.084</b>	<b>1.821.712</b>	<b>802.759</b>

Tabla 3 Porcentajes de adición de biodiésel al petrodiesel.

Consumo en Colombia (2003)	Porcentaje de biodiésel en la mezcla (cifras anuales)					
	5%	10%	15%	20%	50%	100%
Consumo total de petrodiesel (millones de litros)	3.799.03	3.799.03	3.799.03	3.799.03	3.799.03	3.799.03
Consumo petrodiesel en bpdc	65.461	65.461	65.461	65.461	65.461	65.461
biodiésel requerido (millones de litros)	202.94	405.89	608.83	811.78	2.029.44	4.058.88
Biodiésel requerido (toneladas)	173.657	347.314	520.971	694.628	1.736.569	3.473.138
<b>Requerimientos para producir cada porcentaje de Biodiésel</b>						
Aceite de crudo en palma (toneladas)	182.797	365.593	548.390	731.187	1.827.967	3.655.935
Hectáreas plantadas en palma de aceite*	46.871	93.742	140.613	187.484	468.710	937.419
Alcohol metílico (toneladas)	25.213	50.427	75.640	100.853	252.133	504.267
Cotizador (toneladas) KOH/H2SO4	2.101	4.202	6.303	8.404	21.011	42.022
<b>Subproductos**</b>						
Alcohol (toneladas)	8.077	16.154	24.231	32.308	80.771	161.541
Fertilizantes (toneladas)	2.019	4.039	6.058	8.077	20.193	40.385
Glicerina (toneladas)	18.173	36.347	54.520	72.694	181.734	363.468

\* Con un promedio anual de 3,9 toneladas de aceite por hectárea

\*\*Existen otros, como los carotenos.

Fuentes: Factores de Conversión LMC. Factores para los Requerimientos ICP. Consumo Ecopetrol. Ver Anexo 1

problema de combustibles, que es un campo de enormes dimensiones.

### Y los precios

El tercer aspecto es el los precios. En la Figura 3 se ilustra, por una parte, la fluctuación de los precios del aceite crudo de palma, el CIF Rotterdam y, por otra, la variación en los precios del combustible diesel, con las variaciones del aceite de palma crudo y del diesel 2, desde enero de 1992 a diciembre de 2003.

A simple vista en el mundo petrolero se quejan de la enorme fluctuación de los precios pero, sin embargo, la variación en el mundo del aceite de palma es muchísimo más grande que en el campo petrolero.

Y la segunda observación es que el valor del precio del aceite de palma está por encima en toda esta serie histórica desde 1992, con excepción de tres meses en los cuales tuvo un precio inferior al combustible diesel, en consecuencia, no hay ninguna razón para esperar que se vaya a colocar por debajo del precio del combustible diesel respecto al precio del aceite de palma crudo.

### Disponibilidad de aceite para exportar

En cuarto término se reflexiona sobre cuál es la proyección que hay de la disponibilidad de aceite crudo de palma para las exportaciones suponiendo que se tendría como prioridad atender de antemano las necesidades internas de palma y lo que iría para las exportaciones para poder destinarlo a la fabricación de combustibles vegetales, es decir, se equiparan exportaciones con cantidad disponible para fabricar combustibles ya sea el aceite crudo o biodiesel. La Figura 4 muestra de acuerdo con la Visión 20-20 del informe de Fedepalma las tres opciones o escenarios contempladas

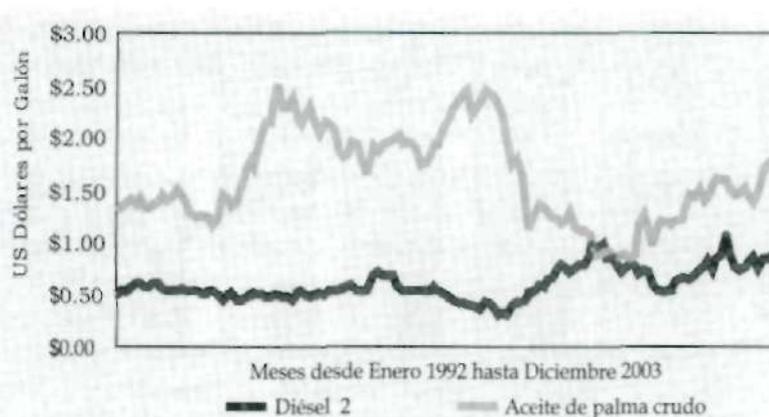


Figura 3 Serie histórica de los precios promedios mensuales (FOB Diesel 2 Gulf Coast, CIF Rotterdam para aceite de palma crudo.

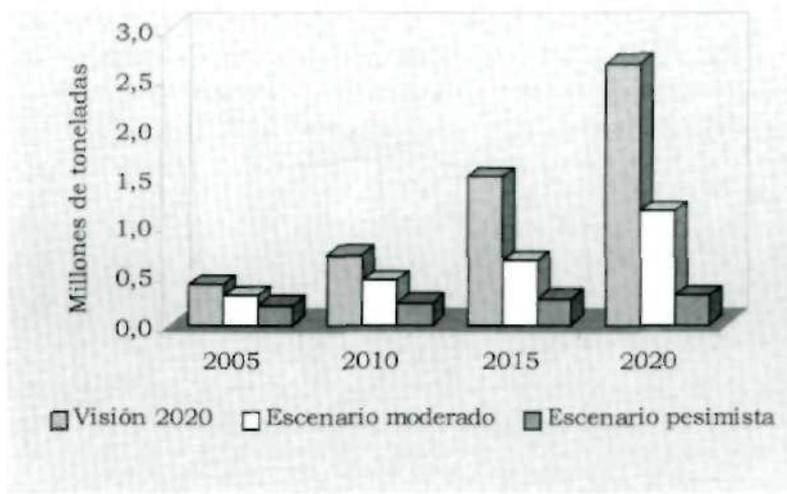
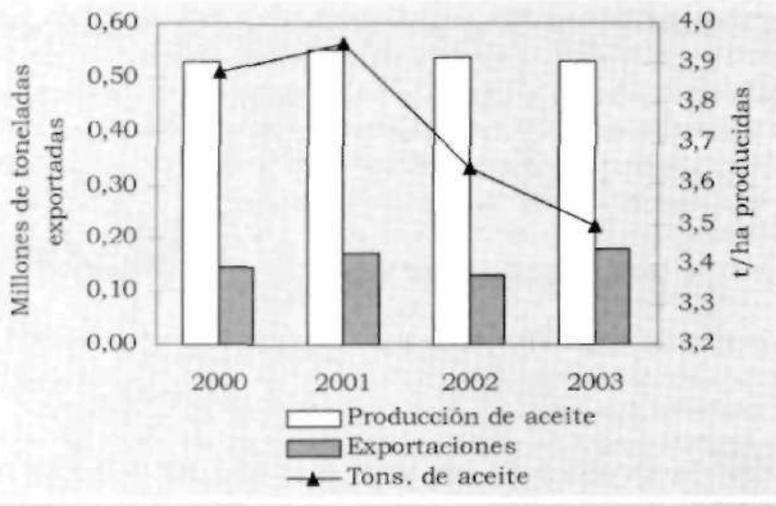


Figura 4 Disponibilidad de aceite de palma crudo para las exportaciones.

en este estudio: Visión 20-20, escenario moderado y escenario pesimista.

El primero es el escenario de la Visión 20-20 cuando todo funciona y se presenta el crecimiento de las cantidades de aceite de palma crudo disponible para las exportaciones de acuerdo con el aumento entre el 2005 y el 2020.

El segundo es el escenario moderado que se refiere a la situación de mejoría en el orden público, pero sin que sea aún bien del todo.



**Figura 5** Producción total, exportaciones y rendimientos reales.

de producción de aceite de 5,5 toneladas por hectárea promedio, lo que es bastante alto.

En la Figura 5 se observa lo que sucedió en el país entre el momento en que se produjo el informe de la Visión 20-20 y el 2003. De una parte la producción de aceite se mantuvo estable y no subió, aumentó un poco en el 2001, bajó en el 2002 y quedó casi parecido el 2002 al 2003. Por su parte las exportaciones fluctuaron y se elevaron en el 2001, bajaron en el 2002 y subieron en el 2003, pero no en cantidades significativas.

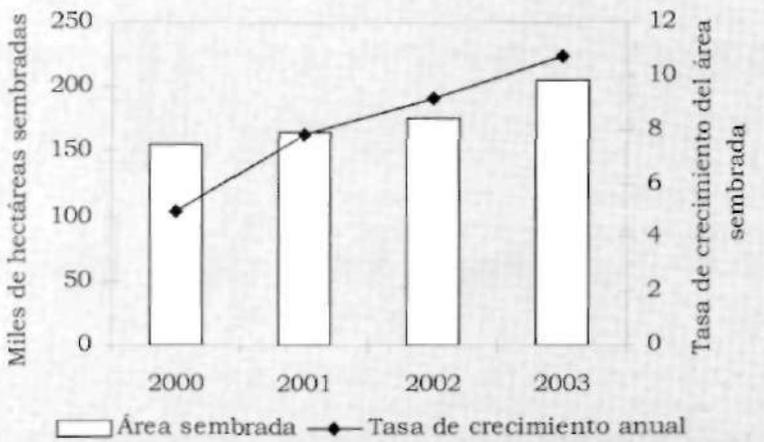
### La productividad

En contraste llama la atención la declinación en la productividad -que corresponde al quinto aspecto analizado- de las toneladas de aceite por hectárea que pasaron de 3,9 a 4, un poco menos de 4 pero declinaron a 3,5, esta situación resulta un poco alarmante y por ello se revisan los estimativos de la Visión 20-20 que son tan optimistas (Figura 6).

Lo anterior se puede explicar en parte debido a que la cantidad de hectáreas cosechadas aumentó mientras ha sido considerable la siembra que ha habido en Colombia en estos últimos años, con una tasa de crecimiento anual de 6,9%.

Con base en ello se hicieron algunos ajustes sobre la Visión 20-20 para crear otros espacios pero se hará referencia a la Visión 20-20 para que en efecto se cumpla, o sea, que se trabaja con un escenario en cierta forma optimista.

En la Figura 7 se observa la cantidad de petrodiesel consumido por el sector transporte que se podría reemplazar con biodiesel de palma de aceite y lo que sucedería si se utiliza ese escenario de producción y se pone frente al de la demanda por el combustible diesel. Se muestra la cantidad



**Figura 6** Crecimiento del área sembrada en palma de aceite

Y la tercera es una visión pesimista de que se hubieran perpetuado las condiciones que existían en ese momento. Ésta opción pareciera que ha desaparecido pues se considera que las condiciones del país son mejores y la perspectiva estaría entre las dos primeras alternativas: la Visión 20-20 y el escenario moderado.

La diferencia que hay entre las dos en esa proyección se relaciona con el estimativo en la Visión 20-20 de la productividad porque se espera en el 2020 en Colombia sea la tasa promedio

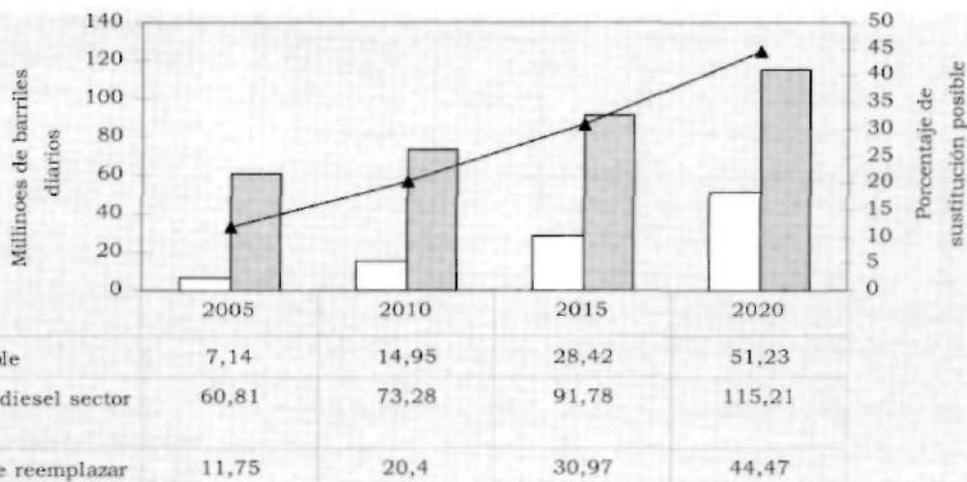


Figura 7 Cantidades de petrodiesel consumido por el sector transporte que se pueden reemplazar con biodiesel de palma.

de biodiesel que se puede fabricar con el aceite de palma crudo sobrante para las exportaciones, si ese aceite se destina a fabricar biodiesel se puede fabricar esta cantidad de biodiesel. En la figura también aparece el consumo en el sector de transporte, el crecimiento del consumo del ACPM, del petrodiesel y en términos porcentuales en el año cinco lo máximo que se podría utilizar es 11,75% y en el 2020 va subiendo hasta poder atender casi 45%. Y entonces con el escenario optimista de la Visión 20-20 se dan una serie de circunstancias para que se continúe con el crecimiento de las plantaciones y con el aumento de la productividad para llegar en ese año a tener 5,5 toneladas de aceite por hectárea.

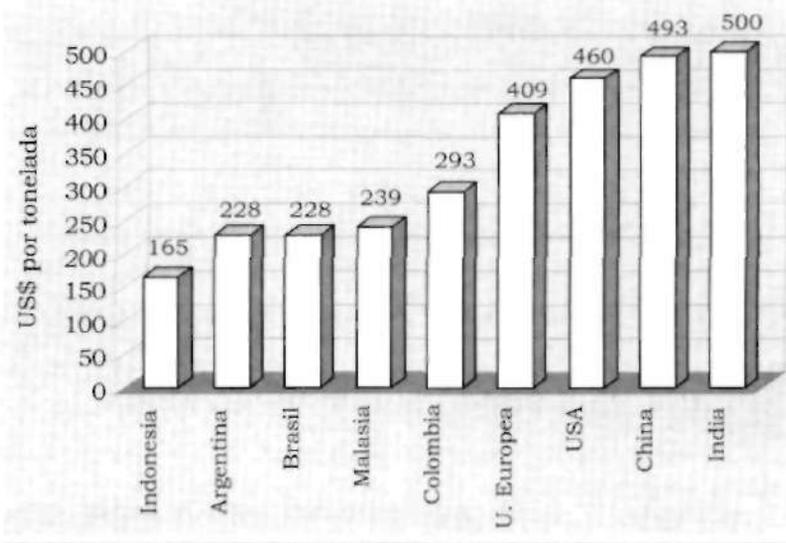


Figura 8 Costo promedio de producir aceite de palma, colza y soja (1999/00)

### Condiciones para sustituir diesel

Desde el punto de vista financiero se deben tener en cuenta cuáles son las condiciones para sustituir diesel por el aceite de palma, que sería el sexto aspecto a tener en cuenta en la utilización de aceite de palma para motores diesel.

En el 2003 Ecopetrol recibió un estudio que encomendó a LMC (Figura 8) en el cual aparecen estimativos de

los costos de producción de diferentes aceites por tonelada, de aceite de palma, soja y colza.

El precio de Colombia es de 293 dólares, el de Malasia de 239 y el de Indonesia de 165. El precio de Colombia no incluye ninguna recuperación de la inversión y sin recuperarla el costo de producción bordea los 300 dólares, el que se toma como un simple punto de referencia. Si se recupera

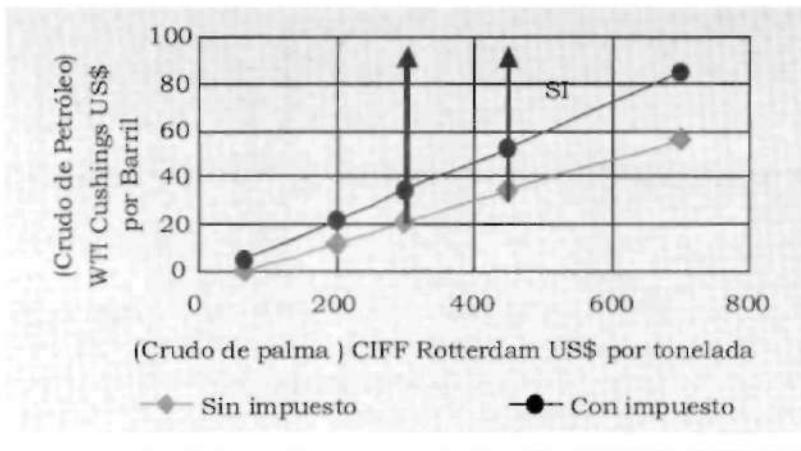


Figura 9 Combinaciones de precio donde es conveniente la sustitución por el biodiesel

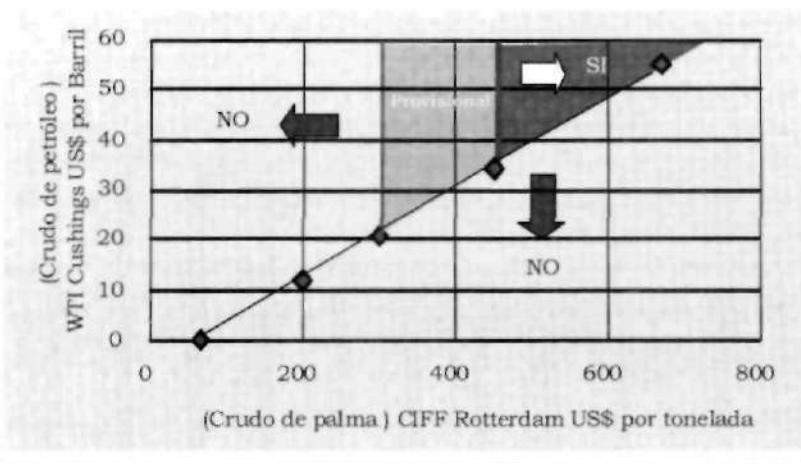


Figura 10 Espacios para la conveniencia de la sustitución por el biodiesel.

la inversión se podría tener una rentabilidad del orden del 18% en el caso del estudio específico que se hizo, el costo por tonelada del aceite sale en 433 dólares, e incluye el costo más la recuperación del 18%.

En cuanto al precio al público del combustible para motores diesel en la Tabla 1 se muestran todas las combinaciones de precios finales al consumidor, por un lado biodiesel y por otro de diesel 2, referido al precio de la materia prima que le llega al consumidor final con base en el precio del crudo por barril para que tenga una referencia más estandarizada que

determina el precio del combustible diesel. El precio del biodiesel que le llega al consumidor colombiano aumenta en la medida en que lo hace el precio del barril de crudo y el que le llega el ACPM. Por ejemplo, si el barril de crudo vale 20 dólares y el CIF Róterdam 300, en esa combinación al consumidor final le llega al mismo precio tanto del ACPM como del biodiesel (Figura 9).

Con base en esos estimativos se establecen las distintas combinaciones de precios que indican que el precio del biodiesel es más alto que el del ACPM, es decir, donde hay un mayor costo del biodiesel, de manera que desde el punto de vista financiero todas estas combinaciones no favorecen la sustitución de ahí que se excluyen.

Pero hay otra consideración, los palmicultores producen aceite de palma y lo venden para biodiesel o para lo que sea sobre todo de una manera sostenible siempre y cuando estén haciendo una utilidad, de lo contrario puede que de manera transitoria asuman unas pérdidas, pero de cierto momento en adelante podría haber quiebra.

En la Figura 10 se observan esos distintos escenarios para la conveniencia de sustitución por el biodiesel y el punto de corte es de 300 dólares, por debajo de ese rango los palmicultores simplemente no pueden continuar vendiendo el aceite y desaparecerían del negocio.

Queda entonces un sector entre los 300 y los 450 dólares y con éstos se obtiene una rentabilidad del 18%, que sería la mínima esperada, con lo cual se podría seguir produciendo palma de aceite en buenas condiciones.

Hay otros dos sectores en la figura que corresponden a un sector no tan estable y a uno provisional, para el cual es conveniente la sustitución desde el punto de vista financiero,

situación que varía si no se produce la exención de impuestos para la fabricación del biodiesel y la posibilidad se torna muy baja.

En las Figura 11 también se considera la eventualidad con exención de impuestos con una simulación un poco compleja del proceso que genera los precios tanto del crudo como del CIF Rotterdam y se llegó a la probabilidad de que no se den las condiciones para la sustitución, que es el rango del 76,25% donde se llega a una situación en la que no es posible hacer la sustitución. El 14,64% de las veces se está en una situación indiferente y únicamente 9,11% en una donde es posible la sustitución.

Si se adopta una actitud optimista ahora con el aumento en el precio del crudo y se considera que ello estabilizaría la situación a un nivel más alto, desde el punto de vista estadístico el precio del barril en promedio estará en adelante en los 10 dólares por encima de lo que estaba antes, entonces cambian las probabilidades. Éstas cambian a que el área de sustitución aumenta la probabilidad a casi 20%, la de transitoriedad a cerca de 31% y la de no baja al 49%. Esto muestra que en realidad el espacio de sustitución desde el punto de vista financiero no es tan amplio y que el conjunto de palmeros, gobierno y otros actores de la cadena deben tener sumo cuidado en cuanto a las condiciones que se den respecto sobre quién asumirá el costo adicional (Figura 12).

Entonces se debe explicar por qué se da ahora en Colombia la sustitución y antes no. ¿Por qué en Malasia que tiene tanto aceite de palma no tiene un uso masivo del biodiesel? ¿Por qué no tienen las plantas que han anunciado construir para fabricar biodiesel de manera masiva y aprovechan ese combustible?

Resulta que Malasia simultáneamente es un gran productor de

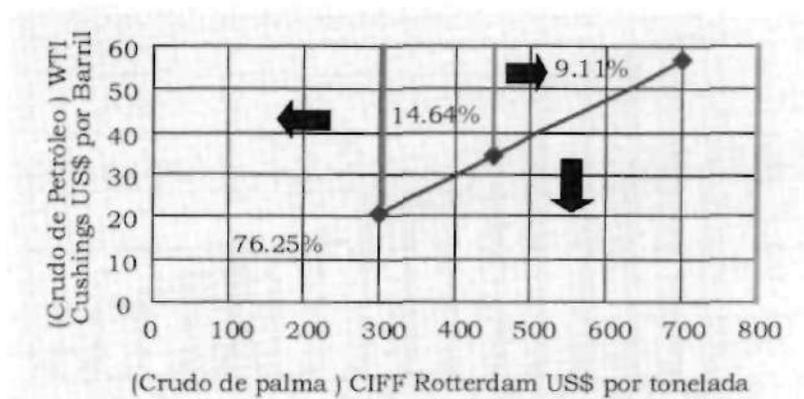


Figura 11 Espacios para la conveniencia de la sustitución por el biodiesel.

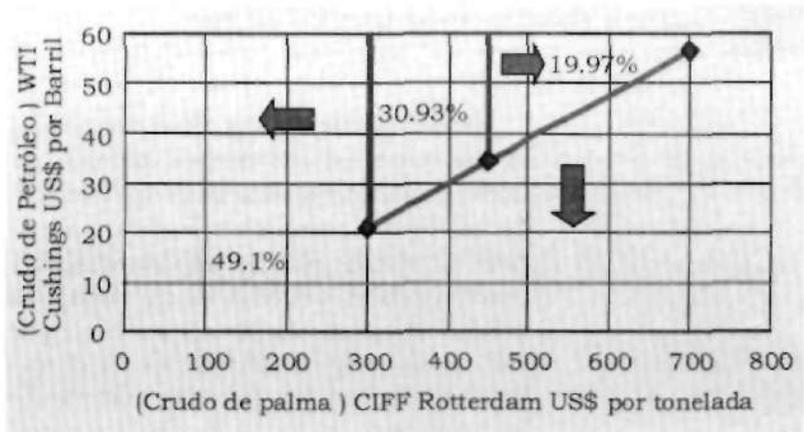


Figura 12 Espacios para la conveniencia de la sustitución por el biodiesel.

hidrocarburos y Petronas, la empresa petrolera de ellos, son empresas productoras de gas natural y tiene la flota de transporte de gas natural licuado más grande del mundo. De ahí que mantiene el costo por galón de gasolina a un nivel tan bajo porque se puede dar el lujo de hacerlo al tener todos los hidrocarburos, lo que le interesa y conviene, de una parte, para controlar la inflación y, de otra, para disminuir los costos de producción de funcionamiento de las industrias y así atraer la inversión externa. Malasia es un país con una inversión extranjera cercana a los 45 millones de dólares.

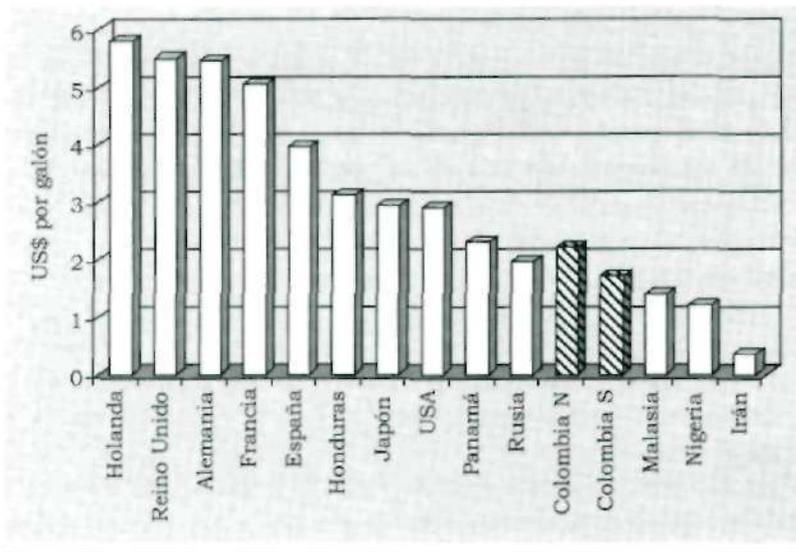


Figura 13 Precio de la gasolina en diversos países. US\$ por galón

Si se consideran los altos precios de la gasolina en diferentes países, se deduce la importancia de la sustitución de biodiesel, como es el caso en algunos europeos que necesitan usar los combustibles vegetales, no sólo por consideraciones ambientales sino por los costos. Por el contrario en Colombia todavía hay un subsidio parcial de la gasolina, pero si no lo hubiera nuestra situación sería similar a la de algunos países centroamericanos (Figura 13).

#### Y sobre las emisiones

Y el séptimo tema a tener en cuenta es el de las emisiones no sólo desde el punto de vista de la preservación del ambiente sino por su misma valoración que tiene en la actualidad, la que se traduce en ingresos potenciales muy concretos con un alto orden de magnitud y que pueden hacer viable la sustitución y también obviar el problema de las bajas probabilidades de las combinaciones de los precios requeridos.

En la Tabla 5 se presenta el resumen de una multiplicidad de estudios sobre el porcentaje de las

emisiones producidas por el biodiesel con respecto al petrodiesel, con los valores de la respectiva mejoría de diferentes gases contaminantes que producen los combustibles petroleros.

Se presenta el porcentaje en que se reducen las emisiones con base en varios estudios como, por ejemplo, se observa que B-100 es cuando se sustituye totalmente y B-20 es cuando se sustituye sólo 20%, es decir, la disminución de los diferentes contaminantes cuando se utiliza biodiesel en lugar de petrodiesel, de ACPM, los que disminuyen en mayor o menor grado. Los óxidos de nitrógeno son los únicos que aumentan en 100%. En estos datos no midieron los de óxidos de nitrógeno, sino los relacionados con biodiesel fabricado con aceite de soya en Estados Unidos, con aceite de colza en Europa y con aceites reciclados en el caso de Australia, pero no aparecen en estos estudios con aceite de palma.

Por el contrario en las universidades del Norte y de Antioquia se hicieron unos informes con aceite de palma colombiano en los cuales las emisiones de óxido de nitrógeno se redujeron en 10%, es decir, el panorama para el biodiesel de aceite de palma es contundente a lo largo y ancho de su mejoría en las emisiones de polución antes de gases.

Las normas sobre los toques de emisión que existen en la Unión Europea, Estados Unidos, Japón y otros países constituyen un punto de referencia y las más preocupantes en este momento son las de CO, y las que tienen efecto invernadero y están siendo sujeto de fuertes restricciones.

Las normas en la Tabla 6 están en gramos de CO<sub>2</sub> por kilómetro, y en Estados Unidos las refieren a millas por galón pero hay una equivalencia entre lo uno y lo otro. En ese país hay una diferenciación con los automóviles comunes y corrientes que son las

**Tabla 5** Porcentaje de las emisiones producidas por el biodiésel respecto al petrodiesel.

Emisiones del B-100 respecto a las emisiones del petrodiesel							
CO	HC	NOx	MP	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	Ozono*	Petrodiesel
%	%	%	%	%	%	%	%
82,0	53,0	106,0	72,0	50,0	2,0		100,0
							Cala, Universidad de Idaho y Mercedes Benz. 1994
62,0		104,0	63,0		25,0		100,0
							Ecotec Research and Consulting Ltd. UK
65,5	136,0	113,4	67,6	21,5	92,0		100,0
							NREL, Dept. de Energia de E.U.
70,0	7,0	113,0	70,0		0,0	50,0	100,0
							José Stratta, Biocombustibles. 2002
89,0	67,0	105,0	73,0	21,5			100,0
							James Fry, LMC. sin catalizador
47,0	19,0	103,0	39,0				100,0
							James Fry LMC. con catalizador*
Emisiones del B-20 respecto a las emisiones del petrodiesel							
CO	HC	NOx	MP	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	Ozono**	Petrodiesel
%	%	%	%	%	%	%	%
96,4	90,6	101,2	85,6	90,0	81,0		100,0
							Cala, Universidad de Idaho y Mercedes Benz. 1994
92,0		101,0	93,0		85,0		100,0
							Ecotec Research and Consulting Ltd. UK
80,0	70,0		85,0			50,0	100,0
							Herrera ICP-ECOPETROL. 2003
93,1	107,2	102,7	93,5	84,3	98,4		100,0
							NREL, Dept. de Energia E.U.
78,0	70,0	102,0	78,0		80,0	90,0	100,0
							José Stratta, Biocombustibles, 2002
97,8	93,4	101,0	94,6				100,0
							James Fry, LMC. Sin catalizador Adaptada
89,4	83,8	100,6	87,8	84,3			100,0
							James Fry, LMC. con catalizador* Adaptada
89,6	71,9	101,6	88,3	87,2	86,1	70,0	100,0
							Promedio sin catalizador

\* El alto contenido de azufre del ACPM que produce Ecopetrol neutraliza al catalizador. Por esto no es aplicable en Colombia si no se mejora la calidad del combustible en este aspecto.

\*\*Potencia de formación de ozono

camionetas 4 x 4, los picks ups y las demás de ese estilo, pues son un desastre desde el punto de vista de contaminación y de ineficiencia en el uso de los combustibles, por eso tienen normas específicas. Ello ha implicado un tránsito costoso para los fabricantes de este tipo de vehículos y plantea el interrogante sobre cuál es la visión hacia el futuro de la industria automotriz de los vehículos para los años 2015 y 2020, en aras de poder cumplir con esas normas, de ahí que se empiezan a desarrollar nuevas tecnologías en términos de combustibles y de motores. Hay diferentes

**Tabla 6** Normas sobre los topes de emisión de CO<sub>2</sub>

	Gramos de CO <sub>2</sub> /Km				
	2003	2007	2008	2010	2012
USA (Café)					
SUV's	275	256			
Automóviles	200				
UE(ACEA)			140		120
Japón				125	
Canada				150	
China				140	

Fuente: SAM & WRI "CHANGING DRIVERS. The Impact of Climate Change on competitiveness and Value Creation in the Automotive Industry" Sustainable Asset Management SAM Suiza y World Resources Institute WRI Washington (2003)

tecnologías que se desarrollan, que son las inmediatas y tienen que ver con los combustibles pero no con el biodiesel, ni con combustibles vegetales, sino con mejoría en las cualidades de la gasolina y del diesel.

Las nuevas tecnologías como se observa en la Figura 14 reducen la contaminación y son bajas en carbono porque son de efecto invernadero y bajan a 68,5% y el diesel avanzado a 54,3%. Otras tecnologías de cambio más hacia el futuro son las de los vehículos híbridos, aquellos que tienen simultáneamente un motor eléctrico y un motor de gasolina diesel. Este motor eléctrico funciona con poca exigencia del carro y el otro motor, el de

gasolina o el diesel, entra a funcionar cuando se le acelera, combinación que reduce a 47% estas emisiones de contaminantes de carbono y cuando es con motor híbrido de diesel hasta 40%. Y para el caso de utilizar el híbrido con un motor con combustible biodiesel de aceite de palma se reduce hasta en 20%, lo que constituirá una gran demanda por este tipo de vehículos y de combustibles.

Para los años 2025 a 2030 para adelante se trata de celdas de combustible que tienen algunas dificultades técnicas en cuanto a su desarrollo y en el caso de estas celdas de hidrógeno a lo que se llegará, sin prácticamente contaminación, el problema consiste

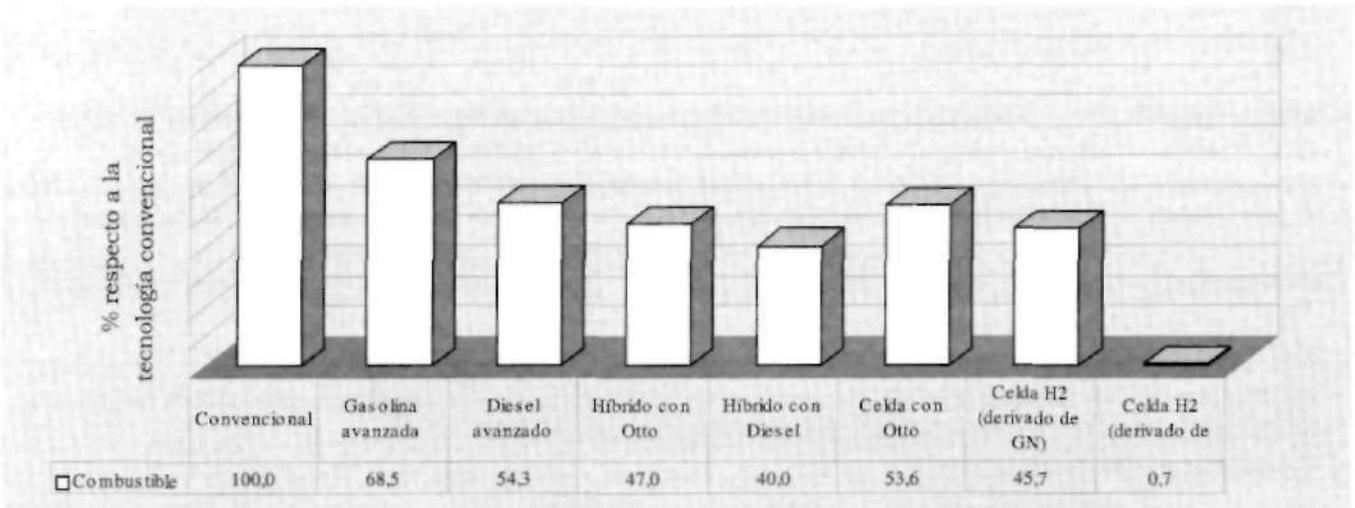


Figura 14 Emisiones de CO<sub>2</sub> durante el ciclo vital de las tecnologías bajas en carbono.

Tabla 7 Precio de mercado de las emisiones en col\$/ton liberada.

	CO	NOx	MP	SOx
Max UE	\$ 1.620.114	\$ 60.844.680	\$ 192.674.820	\$ 50.703.900
Min UE	\$ 54.004	\$ 2.704.208	\$ 4.394.338	\$ 3.380.260
Reino Unido	\$ 837.059	\$ 27.042.080	\$ 50.703.900	\$ 23.661.820

Para las conversiones se utilizó la tasa de cambio del 21 de febrero de 2004 (US\$ a \$ 2,700.19 y Euro a \$ 3,380.26).

Como promedio se tomó un rendimiento de 34 km por galón de petrodiesel en carretera.

Para el CO se tomaron los precios del mercado cobijado por el tratado de Kyoto

Fuente: LMC International, 2003. ECOTEC for BABFO, UK, 2002.

en cómo producir el hidrógeno, porque en la actualidad el hidrógeno se produce con un proceso de electrólisis que requiere de electricidad, la que a su vez necesita de hidrocarburos.

En este proceso de sustitución hay un telón de fondo que lleva a un mercado en desarrollo y que por tanto requiere de una cuantificación sobre su valor, con diferentes tipos de contaminantes del CO<sub>2</sub>, carbono, óxido de nitrógeno, material particulado, hollines y azufre.

En consecuencia en la Tabla 7 se ilustra la situación del mercado mundial, específicamente de la Unión Europea, en términos de pesos colombianos, en cuanto a lo que deja de emitir una tonelada de estos gases con un valor máximo de 1.620.000 pesos y uno mínimo de 54.000 pesos, lo que oscila entre 20 y 600 dólares, en el caso del Reino Unido que hay un solo valor de 837.059 pesos.

En términos de galones significa que con los precios de Europa si se sustituye el petrodiesel ACPM por biodiesel, se podría recibir el pago bajo de 568 pesos por galón y uno máximo de 17.000, lo que vale más que el combustible, que hoy en día vale cerca de 4.800 pesos. A lo anterior se suma la buena noticia del enorme esfuerzo que se ha hecho con las lagunas de oxidación para la disminución en las emisiones contaminantes de CO<sub>2</sub> y ya se están adelantando las negociaciones para vender esa propuesta en cerca de 20 y 25 plantaciones que están en el programa.

Finalmente en cuanto a los niveles de contaminación con material particulado (hollines) en Bogotá se muestra en la Figura 16 que es de 60 nanogramos por metro cúbico, si bien se ha reducido un poco es una situación muy complicada y peligrosa.

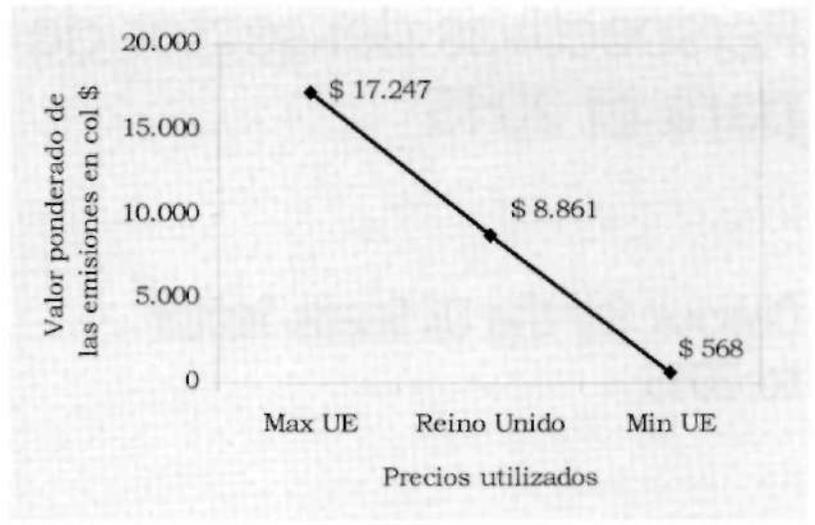


Figura 15 Valoración ponderada de las emisiones ahorradas al sustituir un galón de petrodiesel por biodiesel

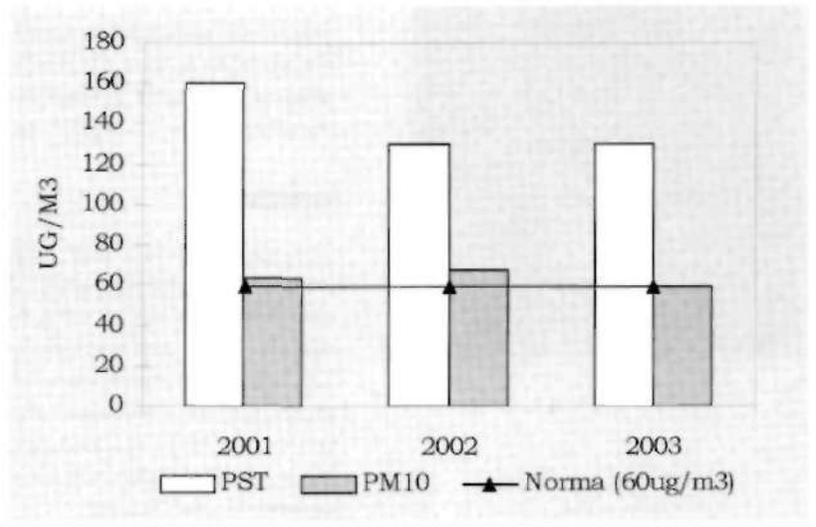


Figura 16 Niveles de contaminación con material particulado en Bogotá

¿Cómo se va a resolver esa situación, quién va a pagar este costo y si se deja aumentar cuáles consecuencias tiene para la salud de los habitantes de la ciudad? Ese es el reto y aún nos queda mucho por trabajar.