



SEDE SUBREGIONAL EN MÉXICO



Distr.  
LIMITADA  
LC/MEX/L.1083

14 de noviembre de 2012  
ORIGINAL: ESPAÑOL

---

# ANÁLISIS DE LA REDUCCIÓN DEL AZUFRE EN EL COMBUSTIBLE DIESEL EN EL SALVADOR, GUATEMALA, HONDURAS Y NICARAGUA

Este documento fue elaborado por el consultor Nicolás Rodríguez, en el marco del proyecto “Superando obstáculos en la integración energética en Centroamérica y Sudamérica” (CEPAL-GIZ), *Climate Change: Old and New Opportunities for Sustainable Energy Integration in Central America and South America. Topic 1–3 Overcoming Barriers to Energy Integration in Central America and South America (GER/10/003)*.

## ÍNDICE

|   | <u>Página</u> |
|---|---------------|
| RESUMEN .....   | 7             |
| PRESENTACIÓN.....   | 9             |
| INTRODUCCIÓN .....  | 11            |
| I. TENDENCIAS MUNDIALES DE LA CALIDAD DEL DIESEL DE USO AUTOMOTRIZ.....   | 13            |
| 1. Introducción .....   | 13            |
| 2. Evolución y tendencias mundiales de la calidad del diesel .....  | 14            |
| II. EFECTOS DEL CONTENIDO DE AZUFRE EN EL DIESEL .....  | 36            |
| 1. Contenido de azufre y su efecto en las partes del motor.....   | 36            |
| 2. Contenido de azufre y su efecto en los sistemas de control de emisiones .....  | 37            |
| 3. El azufre y su efecto en la salud.....   | 38            |
| III. PRODUCCIÓN DE DIESEL EN LAS REFINERÍAS .....   | 40            |
| Procesos de refinación en la producción de diesel.....  | 40            |
| IV. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES PARA REDUCIR EL AZUFRE DE DIESEL EN EL SALVADOR, GUATEMALA, HONDURAS Y NICARAGUA .....                  | 44            |
| 1. El Salvador.....   | 44            |
| 2. Guatemala .....  | 49            |
| 3. Honduras.....  | 52            |
| 4. Nicaragua.....   | 56            |
| V. RECOMENDACIONES A NIVEL REGIONAL PARA EL CAMBIO DE ESPECIFICACIONES DEL DIESEL EN EL SALVADOR, GUATEMALA, HONDURAS Y NICARAGUA ..... | 61            |
| 1. Entidades gubernamentales.....   | 61            |
| 2. Viabilidad de la producción de diesel de 500 ppm en las instalaciones existentes.....  | 62            |
| 3. Recomendaciones para el proceso de cambio de la calidad del diesel y la logística de las importaciones.....                          | 64            |
| 4. Implicaciones económicas del cambio de calidad del diesel.....   | 64            |
| 5. Posición de los importadores y distribuidores de vehículos.....  | 66            |
| BIBLIOGRAFÍA .....  | 67            |

|                        |    |
|------------------------|----|
| ANEXO: BIODIESEL ..... | 69 |
|------------------------|----|

### ÍNDICE DE CUADROS

|   |    |
|---|----|
| 1 Evolución de los estándares de emisión para vehículos de servicio pesado<br>USEPA-estándares federales de emisiones de motores a diesel ..... | 15 |
| 2 Unión Europea: Estándares de emisiones para vehículos diesel de pasajeros .....   | 19 |
| 3 Unión Europea: Estándares de emisiones para servicio diesel ligero .....  | 20 |
| 4 Unión Europea: Estándares de emisiones para vehículos diesel de servicio pesado.....  | 21 |
| 5 Japón: Evolución de los estándares de emisiones para vehículos diesel de pasajeros ..   | 22 |
| 6 Japón: evolución de los estándares de emisiones para vehículos diesel de servicio .....   | 23 |
| ligero .....  | 23 |
| 7 Japón: Evolución de los estándares de emisiones para vehículos diesel de servicio<br>pesado .....   | 23 |
| 8 Especificaciones del diesel automotriz de la WWFC. Calidad: categoría 1 .....   | 26 |
| 9 Especificaciones del diesel automotriz de la WWFC. Calidad: categoría 2 .....   | 27 |
| 10 Especificaciones del diesel automotriz de la WWFC. Calidad: categoría 3 .....  | 29 |
| 11 Especificaciones del diesel automotriz de la WWFC. Calidad: categoría 4 .....  | 31 |
| 12 Especificaciones del ASTM-D-975-11. Requerimientos detallados para los aceites<br>combustibles diesel .....                                  | 33 |
| 13 Calidad del diesel en América Latina .....   | 35 |
| 14 Condiciones típicas de operación de las hidrotratadoras.....   | 43 |
| 15 Características de unidad hidrodesulfuradora .....   | 47 |
| 16 Países seleccionados: Reducción de emisiones anuales de bióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )<br>por el cambio de calidad del diesel .....    | 61 |
| 17 Estimación de costos variables de producción de diesel de 500 ppm .....  | 65 |
| 18 Estimación de costos de capital de producción de diesel de 500 ppm .....   | 65 |

### ÍNDICE DE GRÁFICOS

|  |    |
|--|----|
| 1 Evolución de los estándares de emisión de óxidos de nitrógeno para motores diesel<br>de servicio pesado, 1988-2006 .....         | 16 |
| 2 Evolución de los estándares de emisión de material particulado (PM) para motores<br>diesel de servicio pesado, 1988-2006.....    | 16 |
| 3 Evolución del contenido de azufre del combustible diesel para uso automotriz,<br>1970-2006 .....                                 | 17 |
| 4 Evolución del contenido de azufre en el diesel de uso no automotriz, 1980-2010 .....   | 17 |
| 5 Unión Europea: Evolución de la calidad del diesel, 1996-2009 .....   | 21 |
| 6 Japón: Evolución del contenido de azufre del diesel automotriz, 1996-2009 .....  | 24 |
| 7 Estados Unidos y Unión Europea: Comparación de la evolución de los estándares de<br>emisión de NO <sub>x</sub> , 1996-2013 ..... | 24 |
| 8 Estados Unidos y Unión Europea: Comparación de la evolución de los estándares de<br>emisión de PM, 1996-2013 .....               | 25 |
| 9 Efecto del azufre en la vida útil del motor .....  | 37 |
| 10 Montos de inversión en planta de hidrotratamiento (ISBL).....   | 43 |



|   | <u>Página</u> |
|---|---------------|
| 11 El Salvador: Evolución de la producción e importación de diesel, 2000-2010.....                      | 44            |
| 12 Márgenes de refinación de diferentes tipos de crudo y configuraciones, 1992-2009 ....                | 46            |
| 13 Guatemala: Evolución de la producción, demanda e importación de diesel,<br>2000-2010 .....           | 50            |
| 14 Distribución del consumo de diesel por sectores, 2000-2010 .....                                     | 50            |
| 15 Honduras: Evolución de la oferta y las importaciones de diesel, 2000-2010.....                       | 53            |
| 16 Nicaragua: Evolución de la producción, importación y demanda de diesel,<br>2000-2010 .....           | 57            |
| 17 Márgenes de refinación del crudo Brent en Rotterdam en esquemas HSK y FCC,<br>1992-2002 .....        | 63            |
| 18 Márgenes de refinación de los esquemas HSK y FCC en la Costa del Golfo de<br>México, 1992-2002 ..... | 63            |

### ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| 1 Diagrama típico de producción de diesel .....                                      | 40 |
| 2 Diagrama simplificado de una planta hidrosulfuradora de destilados intermedios ... | 41 |
| 3 Reacciones producidas en la hidrosulfuradora .....                                 | 42 |
| 4 Restricciones de plantas hidrosulfuradoras de destilados intermedios.....          | 42 |

## RESUMEN

En los países centroamericanos existe preocupación por la creciente contaminación de la atmósfera y sus efectos negativos en la salud, la productividad y la calidad de vida de los habitantes, sobre todo en las grandes zonas urbanas. El transporte y los combustibles asociados son una de las principales fuentes de emisión de contaminantes. El uso de combustibles más limpios y las normas y programas para vehículos más eficientes son dos de las acciones más efectivas para reducir las emisiones y empezar a revertir los problemas de calidad del aire urbano.

El Comité de Cooperación de Hidrocarburos de América Central (CCHAC) aprobó una propuesta de especificaciones armonizadas de hidrocarburos (gasolinas, diesel y *fuel oil*) sobre la base de metas ambientales razonables, posibilidades de utilización de sistemas de control de emisiones y requisitos del parque vehicular. A partir de dicha propuesta han sido aprobados 17 reglamentos técnicos que incluyen a los productos derivados del petróleo para el transporte (diesel y gasolinas) en el marco de la Unión Aduanera Centroamericana entre los años 2001 y 2007.

En Centroamérica también existe la preocupación de que la calidad de los combustibles en uso impide aprovechar los beneficios de las nuevas tecnologías automotrices. Costa Rica y Panamá han actualizado las especificaciones del diesel, en particular el contenido de azufre, pero el resto de los países no ha adoptado la medida, en parte por evitar su impacto en el precio final del combustible. Considerando la logística del abastecimiento y el tamaño del mercado regional de hidrocarburos, tal impacto podría reducirse mediante una decisión coordinada.

Lo anterior motivó a las autoridades del ramo de El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua a solicitar a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) un estudio y una propuesta de estrategia para reducir el azufre del diesel automotriz de 5.000 partes por millón en peso a 500 partes por millón en peso (ppm).

Los avances de diseño de los motores diesel para servicio pesado han permitido importantes reducciones de emisiones de materia particulada (PM) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), pero requieren estándares de calidad del combustible más estrictos. El contenido de azufre dl diesel es una de las fuentes principales de emisión de PM por su transformación en partículas de sulfatos, las cuales son emitidas por el tubo de escape de los vehículos.

Considerando que los cuatro países del estudio son importadores netos de combustible, la reducción del azufre en la proporción referida no representa ningún problema de compra, importación y abastecimiento en el mercado internacional. Por el tamaño del mercado y la logística de abastecimiento es deseable que el programa de reducción de azufre sea adoptado en forma coordinada por los cuatro países.

En los casos de El Salvador y Nicaragua, las refinerías existentes tienen limitaciones para mejorar la calidad del diesel. Algunos importadores también podrían tener limitaciones por restricciones de producción en su casa matriz.

El diesel que se consume en Guatemala y Honduras es totalmente importado. Por ello se estima que el período de homologación de sus estándares con los del mercado del Golfo de México sería de un año como máximo. Las negociaciones de los contratos de importación podrían empezar de inmediato y, una vez concluidas, se podría llevar a cabo la logística para la comercialización del nuevo diesel (la limpieza de los sistemas de almacenamiento, distribución y estaciones de servicio). Los agentes de la

industria están a favor del cambio, pero consideran que debe implementarse a nivel regional porque el transporte del combustible importado es hecho por un solo tanquero que lo entrega por partes en cada país. Por lo tanto, lo más económico es adoptar un estándar regional.

Para los cuatro países analizados, se estima que la introducción del diesel de bajo contenido de azufre tendría una incidencia en el costo de 2,1 centavos de dólar por galón, impacto que es muy inferior a los beneficios que se obtendrían en la salud de los habitantes.

El tiempo necesario para sustituir la calidad del diesel por los estándares de la costa del Golfo de México es de un año como máximo a partir de la publicación del Reglamento Técnico Centroamericano (RTC). Lo cual no impediría establecer salvaguardas de tiempos adicionales según las condiciones de cada país.

Para la refinería de Nicaragua resultaría oneroso producir diesel de 500 ppm porque los cambios necesarios de la unidad de hidrotreatmento demandan inversiones que compiten con las de construir una unidad nueva, sin considerar las inversiones fuera del límite de la planta (servicios de purificación de hidrógeno, agua de enfriamiento, tratamiento de agua para la generación de vapor, suministro de vapor, energía eléctrica e instalaciones de recuperación del azufre). Para alcanzar un contenido de azufre de 500 ppm en el diesel producido localmente, la forma más simple es modificar la canasta de crudos procesados por las refinerías. Para ello será necesario realizar una simulación computarizada que defina el tipo o los tipos de crudos óptimos a partir de las características del gasóleo primario obtenido. En suma, con la infraestructura de refinación actual resultaría muy costoso producir diesel de 500 ppm, comparada con el precio de importación. Además, considerando el ritmo de crecimiento de la demanda, la capacidad productiva local sería rebasada en el corto plazo, de modo que el abasto del combustible importado seguiría predominando.

Para elaborar el RTC de la calidad del diesel se recomienda reanudar las actividades del Subgrupo Técnico de Hidrocarburos, dependiente del Grupo Técnico de Registros de la Unión Aduanera Centroamericana mediante la convocatoria del Consejo de Ministros de Integración Económica (COMIECO).

Considerando que la importación de hidrocarburos generalmente se lleva a cabo por un solo buque-tanque que entrega el combustible por partes en cada país centroamericano, será necesario que las nuevas especificaciones tengan alcance regional. Manejar calidades diferentes sería inviable para el tanquero y las terminales.

Estimaciones realizadas en los Estados Unidos arrojan que el incremento de precio del diesel en las estaciones de servicio es de tres a cuatro centavos de dólar por galón respecto del precio del combustible para calefacción (*heating oil*). Esto significa que el costo incremental no tendría un impacto relevante en el consumidor final. Hay que considerar que en la mayoría de los países el precio de venta del diesel está vinculado al precio *spot* de la costa del Golfo de México, donde el precio de los productos con alto contenido de azufre es menor que el del combustible de azufre ultra bajo (Ultra Low Sulfur Diesel). Este último es el de mayor comercialización en esa región y su contenido de azufre es de 15 ppm. El proceso de reducción de azufre deberá ir acompañado de una campaña publicitaria sobre sus beneficios ambientales y de salud a fin de lograr su aceptación.

## PRESENTACIÓN

La cooperación de la CEPAL con los países centroamericanos en los temas de integración energética tiene larga trayectoria. Durante el período 1998-2004 cooperó en diversas actividades promotoras de la armonización e integración del mercado de hidrocarburos en la región. Sus estudios incluyen una propuesta de especificaciones armonizadas de combustibles líquidos (gasolinas, diesel y *fuel oil*), la cual tomó en consideración metas ambientales razonables, posibilidades de utilización de sistemas de control de emisiones y requerimientos del parque vehicular. La propuesta fue aprobada por el CCHAC y remitida a la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA) para la elaboración de los reglamentos técnicos correspondientes.

En el marco de la Iniciativa de la Unión Aduanera, la SIECA creó el Subgrupo de Hidrocarburos, el cual tuvo una participación muy activa entre los años 2001 y 2007, logrando la aprobación de 17 reglamentos técnicos que incluyen a los productos derivados del petróleo para el transporte (diesel y gasolinas). Dichos reglamentos deben ser revisados y actualizados cada dos años.

La revisión y armonización del contenido de azufre del diesel es una de las tareas pendientes. Las instancias regionales de los ministerios de ambiente han manifestado su preocupación por los daños a la salud humana causados por el alto contenido de azufre del diesel comercializado en la región, cuya baja calidad también es un obstáculo para aprovechar los beneficios de las nuevas tecnologías automotrices.

Costa Rica y Panamá han avanzado en la revisión y actualización de las especificaciones del diesel. El resto de los países no ha tomado esa medida, en parte por evitar su impacto en el precio final del combustible. El impacto podría ser reducido mediante una decisión coordinada, considerando los aspectos de logística del abastecimiento de los combustibles y el tamaño de los mercados. Tal es el objetivo del presente documento, el cual obedece a una petición de los directores de energía e hidrocarburos de los países de la región en mayo de 2011.

El informe final fue presentado a los directores de energía y de hidrocarburos y a los ministros de energía y ambiente de los países miembros del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA) en la reunión interministerial <sup>1</sup> de noviembre de 2011, donde fue aprobado. Los ministros solicitaron al Consejo de Ministros de Integración Económica (COMIECO) reactivar el Subgrupo de Hidrocarburos del Grupo de Registros de la Unión Aduanera para revisar el RTC del diesel a fin de mejorar su calidad.

El presente documento contiene el estudio y la propuesta de referencia. Fue elaborado por el consultor Nicolás Rodríguez bajo la dirección de Víctor Hugo Ventura, Jefe de la Unidad de Energía y Recursos Naturales (UERN) de la CEPAL, con el apoyo de Manuel Eugenio Rojas, Eugenio Torijano y Ana María Larrauri.

Se agradece la colaboración de las Direcciones de Hidrocarburos de los países del estudio, así como los comentarios de los Ministerios del Ambiente y de Salud, de las empresas importadoras y refinadoras de productos petroleros y de las asociaciones de importadores de automóviles.

---

<sup>1</sup> La Reunión de Directores de Energía e Hidrocarburos y la IV Reunión de Ministros de Energía y Ambiente de los países miembros del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA) se llevaron a cabo en San Salvador, El Salvador, el 22 y 23 de noviembre de 2011. Ambas reuniones fueron coorganizadas por CEPAL y el SICA, contando con el apoyo del proyecto “Superando obstáculos en la integración energética en Centroamérica y Sudamérica” (CEPAL-GIZ).



## INTRODUCCIÓN

En los países centroamericanos existe preocupación por la creciente contaminación atmosférica debido a sus efectos negativos en la salud, la productividad y la calidad de vida, sobre todo en las zonas urbanas. El combustible para el transporte es una de las principales fuentes de emisión de contaminantes. La introducción de combustibles más limpios y la adopción de normas y programas para el uso de vehículos más eficientes son dos de las acciones más efectivas para enfrentar tales problemas.

Los ministros de ambiente en sus instancias regionales (Foro de los Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe <sup>2</sup> y la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) <sup>3</sup> han manifestado su preocupación por los graves daños a la salud humana causados por el alto contenido del azufre del diesel comercializado en la región. Otra preocupación es el obstáculo de los combustibles actuales para aprovechar los beneficios de las nuevas tecnologías automotrices. Tales preocupaciones motivaron a los Gobiernos de Costa Rica y Panamá a revisar y actualizar las especificaciones del diesel, en particular su contenido de azufre. El resto de los países no ha adoptado la medida en parte para evitar su impacto en el precio final del combustible. Una decisión coordinada podría reducirlo, considerando la logística del abastecimiento de combustibles y el tamaño del mercado.

Además de los daños oficialmente reconocidos, la Federación de Asociaciones de Distribuidores y Concesionarios de Vehículos de Centroamérica y El Caribe (FEDICAR) ha alertado a las autoridades sobre el daño causado por el azufre del diesel a los motores de los vehículos equipados con nuevas y viejas tecnologías. Por ello han solicitado llevar a cabo acciones para mejorar la calidad del combustible.

La CEPAL, a través de la Unidad de Energía y Recursos Naturales, brinda asesoría en materia de energía y desarrollo sustentable a los países centroamericanos y forma parte del Grupo Interinstitucional de apoyo al proceso de integración y desarrollo energético de Centroamérica. Este documento da cumplimiento a la solicitud de los Ministros de Energía de los países centroamericanos, cuyos objetivos fueron:

1) Elaborar una propuesta de programa para reducir el azufre del diesel en los países centroamericanos, con recomendaciones específicas para cada país. La propuesta será presentada a las instancias correspondientes para su discusión y aprobación.

---

<sup>2</sup> Los ministros de ambiente han señalado el peso de las emisiones de contaminantes en el sector transporte frente a las emisiones atmosféricas totales. Han subrayado también la necesidad de reducir el contenido de azufre en los combustibles vehiculares y aprovechar los desarrollos tecnológicos en vehículos y tecnologías asociadas. En 2008 los ministros decidieron promover la reducción del contenido de azufre en los combustibles, aspirando a una meta de 50 partes por millón de azufre, con énfasis en los problemas de calidad del aire en las áreas metropolitanas. Advirtieron que para alcanzar la meta se deberían considerar las realidades nacionales, el fomento de recursos financieros y la transferencia de tecnología. Los ministros también decidieron incluir la mejora de los combustibles y de los vehículos en las prioridades del Foro de Ministros en materias de Salud y Medioambiente (XVI Reunión del Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe, Santo Domingo, República Dominicana, 27 de enero al 1 de febrero de 2008).

<sup>3</sup> Dentro del tema "Calidad del Aire", la CCAD ha venido impulsando el mejoramiento de la calidad de los combustibles y ha realizado acciones con apoyo multilateral (véase el acta de la XLII Reunión Ordinaria del Consejo de Ministros de la CCAD, San Salvador, El Salvador, 25 de enero de 2008).

2) Prestar asesoría a los países en el proceso de revisión de la norma técnica del diesel y la implementación del programa correspondiente, aclarando las dudas técnicas que surjan a fin de garantizar la viabilidad del programa.

## I. TENDENCIAS MUNDIALES DE LA CALIDAD DEL DIESEL DE USO AUTOMOTRIZ

### 1. Introducción

Desde la invención del motor por compresión-ignición (*Compression-Ignition Engine, CIE*) por Rudolf Christian Karl Diesel en 1893 han pasado más de 100 años. Sus principios siguen siendo los mismos, pero su eficiencia ha mejorado por avances tecnológicos que han reducido el impacto ambiental de las emisiones.

El motor de diesel es ampliamente usado para satisfacer necesidades de transporte y otras actividades antropogénicas. Su eficiencia y versatilidad lo han convertido en el motor adecuado para equipos usados en la industria de la construcción, la producción de energía eléctrica, el transporte de carga y pasajeros por ferrocarril, camión y autobús, la industria agrícola, las embarcaciones de pesca pequeñas, los grandes buques para el transporte de carga y la propulsión de submarinos, por citar algunos de los usos más generalizados.

Con el incremento de la población y de los vehículos de transporte han surgido problemas de deterioro de la calidad del aire, cuyos efectos son más evidentes en las regiones densamente pobladas.

A fin de contrarrestar estos efectos, los gobiernos han ido tomando decisiones como el establecimiento de estándares de emisión, programas de verificación vehicular y empleo de combustibles menos contaminantes.

Estas mejoras han traído consigo la exigencia de diesel de mayor calidad a fin de reducir el impacto ambiental de los gases por combustión del hidrocarburo.

Las acciones se han enfocado a reducir las emisiones de óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y material particulado (PM). Para ello, se ha mejorado la calidad del combustible y se han incorporado inyectores electrónicos en los motores, cuyo diseño permite una mayor atomización del combustible en la cámara de combustión, lo que se traduce en una mezcla más homogénea de los contaminantes con el aire. También se han incorporado sistemas de control de emisiones (filtros de partículas y convertidores catalíticos, entre otros) y sistemas de control electrónico (como *Electronic Control Module, ECM*, y *Electronic Control Unit, ECU*).

Este conjunto de mejoras tecnológicas se ha traducido en estándares de emisiones y sistemas de control más estrictos, reforzados por sistemas de monitoreo y normas de calidad del aire más estrictos también.

La reducción de las emisiones de  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$  y PM disminuye la lluvia ácida y la emisión de compuestos precursores de la formación del ozono atmosférico. Los procesos contaminantes ocurren a través de las reacciones de  $\text{NO}_x$ , hidrocarburos no metánicos y material particulado, específicamente las partículas de tamaño menor a 2,5 micras, las cuales se introducen en el tracto respiratorio y se depositan en los alvéolos pulmonares, ocasionando una diversidad de padecimientos respiratorios.

En el siguiente punto se presentan la evolución, las tendencias mundiales y los estándares de la calidad del diesel en los Estados Unidos, los países de la Unión Europea y Japón, por ser los que llevan el liderazgo en este tema.



Es importante considerar la Carta Mundial de Combustibles (World Wide Fuel Charter, WWFC, cuarta edición, 2006), la cual establece la posición de los fabricantes de vehículos con motor de gasolina y diesel en relación con la calidad de ambos combustibles.

La WWFC reúne las posiciones de la European Automobile Manufacturers Association (ACEA), la Alliance of Automobile Manufacturers y (Engine Manufacturers Association (EMA) de los Estados Unidos y la Japan Automobile Manufacturers Association (JAMA) de Japón (ACEA, 2006).

## 2. Evolución y tendencias mundiales de la calidad del diesel

### a) Evolución de la calidad del diesel

Estados Unidos. Las acciones para reducir el impacto ambiental de los vehículos a gasolina y diesel en los Estados Unidos se iniciaron en 1963 con la promulgación del Acta del Aire Limpio (Clean Air Act, CAA), que ordenó adoptar estándares de control de la calidad del aire a nivel nacional.

Como consecuencia de esta ley, la Agencia de Protección Ambiental (EPA), desarrolló y estableció normas para proteger la salud de la población expuesta a los contaminantes presentes en el aire atmosférico.

La CAA fue enmendada en 1970 por la Clean Air Act Amendment (CAAA), la cual estableció la meta de reducción del 90% de las emisiones de los automóviles de gasolina nuevos a partir de 1975.

Con este objetivo se incorporaron sistemas de control de evaporaciones en el tanque de combustible y el dispositivo de recirculación de gases de escape (Exhaust Gas Recirculation, EGR) para reducir las emisiones de  $\text{NO}_x$ . En 1974 se adoptó el criterio Promedio Empresarial de Ahorro de Combustible (Corporate Average Fuel Economy, CAFE) y en 1975 se incorporó la primera generación de convertidores catalíticos (Two Way Catalytic Converter, TWC) para reducir las emisiones de hidrocarburos no quemados (HC) y de monóxido de carbono (CO), lo que requirió emplear gasolina sin plomo.

La CAAA fue enmendada de nuevo en 1990 para establecer un límite máximo al contenido de azufre del diesel para los autobuses escolares y camiones de carga y pasajeros modelos 1985 en adelante.

Con estas medidas el contenido de azufre del diesel automotriz (On-Highway) fue limitado a un máximo de 500 partes por millón en peso (ppm peso) a partir de 1993, lo que permitió cumplir los estándares de emisión establecidos para los vehículos de servicio pesado (Heavy-Duty Highway Diesel Emission Standard). Esta evolución se ilustra en el cuadro 1 (EPA, 2000).

Los gráficos 1 y 2 muestran la evolución de los estándares de emisión de  $\text{NO}_x$  y PM de los motores de camiones diesel de servicio pesado (Heavy —Duty Truck Engine Standards— GVW > 3,5 t-, Gross Vehicle Weight > 3,5 toneladas) del año 1998 a la fecha (Automotive Service Excellence, 2007).

**CUADRO 1**  
**EVOLUCIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE EMISIÓN PARA VEHÍCULOS DE SERVICIO PESADO**  
**USEPA-ESTÁNDARES FEDERALES DE EMISIONES DE MOTORES A DIESEL**  
**(USEPA-DIESEL ENGINE EMISSION STANDARD)**

| Tipo de vehículo   | Año/modelo | Datos en g/bhp.h |      |                 |                   |
|--|------------|------------------|------|-----------------|-------------------|
|  |            | HC               | CO   | NO <sub>x</sub> | PM                |
| Camiones de servicio pesado a diesel (diesel heavy duty truck) | 1991-1993  | 1,3              | 15,5 | 5,0             | 0,25              |
|  | 1994-1997  | 1,3              | 15,5 | 5,0             | 0,1               |
|  | 1998-2003  | 1,3              | 15,5 | 4,0             | 0,10              |
|  | 1991-1992  | 1,3              | 15,5 | 5,0             | 0,25              |
|  | 1993       | 1,3              | 15,5 | 5,0             | 0,1               |
| Autobuses urbanos (urban buses)                                | 1994-1995  | 1,3              | 15,5 | 5,0             | 0,07              |
|  | 1996-1997  | 1,3              | 15,5 | 5,0             | 0,05 <sup>a</sup> |
|  | 1998-2003  | 1,3              | 15,5 | 4,0             | 0,05 <sup>a</sup> |

AÑO-MODELO 2004 Y POSTERIORES SE APLICA A MOTORES PARA AUTOBUSES URBANOS Y CAMIONES

| Criterio | Datos en g/bhp.h  |                        |      |     |
|----------|-------------------|------------------------|------|-----|
|          | NMHC <sup>b</sup> | NO <sub>x</sub> + NMHC | CO   | PM  |
| Opción 1 | NO APLICA         | 2,4                    | 15,5 | 0,1 |
| Opción 2 | 0,05              | 2,5                    | 15,5 | 0,1 |

Fuente: US Environmental Protection Agency, *Emission Standards Reference Guide for Heavy Duty and Non Road Engines*, septiembre de 1997 (www.epa.gov).

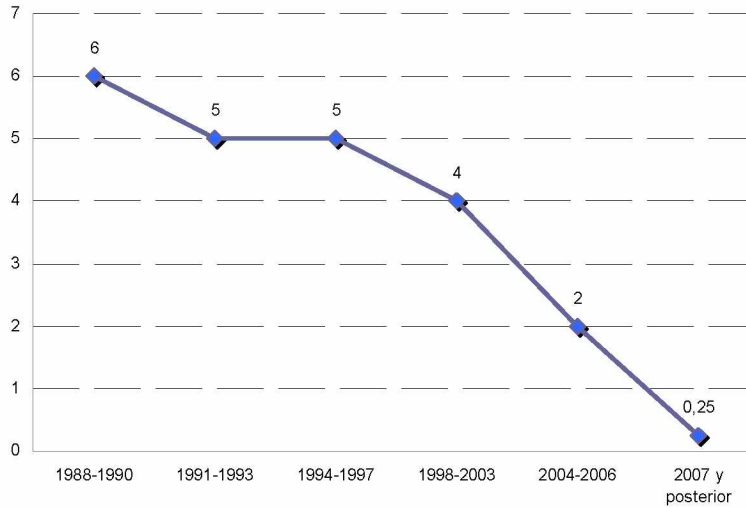
<sup>a</sup> Para autobuses urbanos se aplica 0,07 g/bhp.h (en uso) de 1996 y posteriores.

<sup>b</sup> NMHC = Non Methane Hydrocarbon (Hidrocarburos no metánicos).

Estos límites se aplican a todos los vehículos de servicio pesado, cuyo peso vehicular bruto (Gross vehicular weight (GVW) mayor o igual a 8.500 libras (equivalente a 3 856).

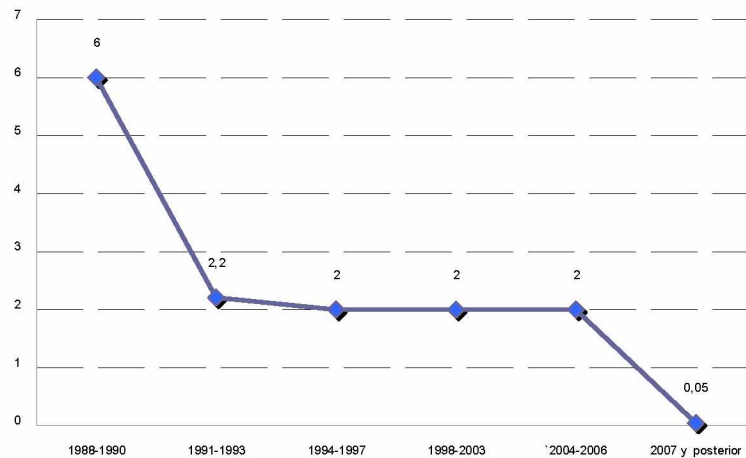
Para cumplir los estándares de emisiones de 2007 en adelante se limitó el contenido de azufre del diesel a 15 partes por millón en peso (ppm peso) con el fin de garantizar la funcionalidad de los dispositivos instalados en los motores: convertidor de oxidación (*Oxidation Catalytic Converter*), filtros de partículas (*Diesel Particulate Filters, DPF*), convertidores de almacenamiento catalítico de NO<sub>x</sub> (*NO<sub>x</sub> Storage Catalytic Converter, SCC*) y sistema de reducción catalítica (*Selective Catalytic Reduction, SCR System*).

**GRÁFICO 1**  
**EVOLUCIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE EMISIÓN DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO**  
**PARA MOTORES DIESEL DE SERVICIO PESADO, 1988-2006**  
*Óxidos de Nitrógeno (g/bhp-hr)<sup>a</sup>*



Fuente: Automotive Service Excellence Changes in Diesel Fuel, 2007.  
<sup>a</sup> g/bhp-hr = gram per brake horse power-hour significa la cantidad de un contaminante emitido por cada caballo de fuerza del motor en una hora.

**GRÁFICO 2**  
**EVOLUCIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE EMISIÓN DE MATERIAL PARTICULADO (PM)**  
**PARA MOTORES DIESEL DE SERVICIO PESADO, 1988-2006**  
*PM (g/bhp-hr)<sup>a</sup>*

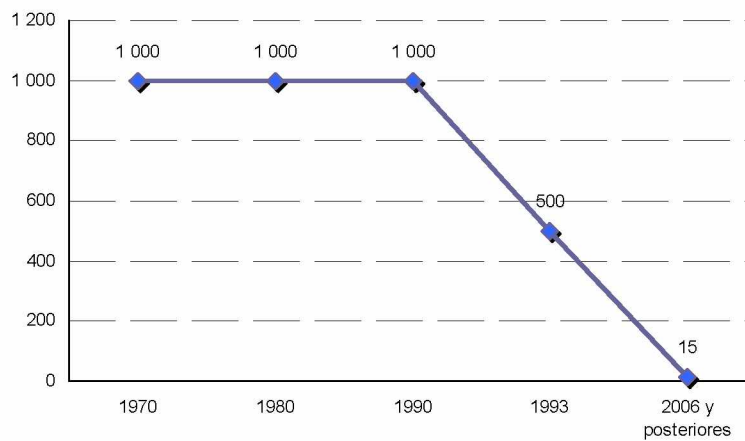


Fuente: Automotive Service Excellence. Changes in Diesel Fuel, 2007.  
<sup>a</sup> g/bhp-hr = gram per brake horse power-hour significa la cantidad de un contaminante emitido por cada caballo de fuerza del motor en una hora.

Estos requisitos han sido reforzados con cambios importantes de la calidad del diesel. El gráfico 3 ilustra la evolución.

**GRÁFICO 3**  
**EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO DE AZUFRE DEL COMBUSTIBLE DIESEL**  
**PARA USO AUTOMOTRIZ, 1970-2006**

*Azufre (ppm peso)*



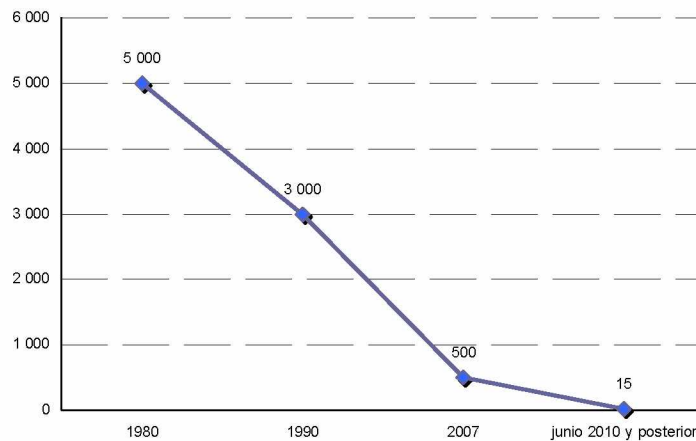
Fuente: US Environmental Protection Agency, Emission Standard for Heavy Duty Engine.

Además de estas medidas, la EPA estableció un programa para motores diesel no automotrices (*Non-Road or Off-Highway Engines*) como maquinaria de construcción, generadores de energía eléctrica, motores de embarcaciones deportivas y de pesca y motores agrícolas.

En el gráfico 4 se muestra la evolución de la calidad del combustible para estos motores.

**GRÁFICO 4**  
**EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO DE AZUFRE EN EL DIESEL**  
**DE USO NO AUTOMOTRIZ, 1980-2010**

*(Azufre ppm peso)*



Fuente: Delphi, Worldwide Emission Standards Heavy Duty & Off Road Vehicles, 2009.

## b) Unión Europea (UE)

En la Comunidad Económica Europea, la Agencia Europea del Medio Ambiente ha seguido las tendencias de los Estados Unidos, aunque con desfase en la aplicación de normas de emisión, las cuales, no obstante, han ido acompañadas de mayores exigencias de calidad del diesel.

El consumo de diesel de uso automotriz representa la mayor demanda de productos derivados del petróleo para el transporte de personas, bienes y servicios en Europa. Las normas de emisión de vehículos diesel inician con el establecimiento de niveles máximos permisibles a los automóviles según la directriz 91/441/EEC. Ésta da origen a la norma Euro I para el período 1992–1995; posteriormente se emite la Directriz 94/12/EEC, que promulga la norma Euro II, vigente para los vehículos de inyección indirecta desde 1996 y para los de inyección directa desde 1997, con horizonte de aplicación obligatoria al año 2000.

La Directriz 98/69/EEC, vigente a partir del año 2000, define la norma Euro III. La directriz vigente, denominada 98/69/EEC, establece la norma Euro IV a partir de 2005.

La norma Euro I reguló por primera vez las emisiones de CO, HC, NO<sub>x</sub> y PM mediante la incorporación de convertidores catalíticos oxidantes en la mayoría de los vehículos. Posteriormente, la norma Euro II fijó como meta la reducción de las emisiones de CO, HC+NO<sub>x</sub> y PM en 68%, 38% y 55%, respectivamente.

Con la introducción de la norma Euro III se fijaron disminuciones de emisiones adicionales de CO, (HC + NO<sub>x</sub>) y PM en 40%, 60% y 37,5%, respectivamente, respecto del Euro II. Se incorporaron sistemas de recirculación de gases de escape para la reducción de NO<sub>x</sub>, se optimizaron los sistemas de inyección de combustible y se incorporaron los sistemas de inyección de conducto común (*Common-Rail Direct Injection, CRDC*) para disminuir PM.

Los incentivos nacionales y la competencia entre fabricantes favorecieron la incorporación de filtros de partículas en algunos modelos, los cuales disminuyeron las emisiones de PM. Esto se tradujo en reducción del contenido de azufre del diesel.

La norma Euro IV estableció la reducción de emisiones de CO y HC+NO<sub>x</sub>+PM en 22% y 50% respecto de la norma Euro III. Esta medida fue acompañada de la reducción del contenido de azufre del diesel mediante la incorporación de tecnología avanzada en los motores y en los sistemas de control de emisiones tales como la recirculación enfriada de gases de escape y de dispositivos para la reducción de NO<sub>x</sub> y PM.

Recientemente se adoptaron las normas Euro V y Euro VI para reducir las emisiones de NO<sub>x</sub> en 28% y 68% respecto de la norma Euro IV, pero el objetivo más importante es la disminución de PM en 88% respecto de la norma Euro IV. Para ello se fijó el límite de emisión de PM en  $5 \times 10^{11} \text{ km}^{-1}$ , lo que hace obligatorio la instalación de PF.

Para los vehículos con motores diesel con peso bruto mayor a 3,5 toneladas, la primera norma fue establecida por la Directriz 91/542/EEC, la cual se aplicó en dos etapas, la primera de 1992 a 1995 y la segunda de 1996 a 2000.

Posteriormente se emitió la Directriz 1999/96/EEC, cuya primera etapa se identificó como Euro III, la cual impuso una reducción del 30% de todos los contaminantes (CO, HC, NO<sub>x</sub> y PM) con respecto

al Euro II a partir del año 2000. La segunda etapa, Euro IV, rigió en un período intermedio hasta el año 2005; la fase final, vigente a partir de 2008, es conocida como Euro IV.

Los estándares de emisiones Euro V son muy estrictos, ya que exigen reducir las emisiones de  $\text{NO}_x$  y PM en más de un 70% y un 85% respecto del Euro II. Estas metas son factibles a través de mejoras tecnológicas para reducir PM, así como de sistemas de reducción catalítica selectiva para el control de  $\text{NO}_x$ .

La norma Euro VI, cuya fecha de aplicación es el año 2014, está en proceso de discusión. La Comisión Europea propone reducir PM y  $\text{NO}_x$  en un 50% y un 80% respecto del Euro V. Para ello será necesario instalar dispositivos PF y EGR y sistemas de tratamiento de gases de escape.

En los cuadros 2, 3 y 4 se presenta la evolución de los estándares de emisiones para vehículos diesel de pasajeros, de servicio y pesados, en la Unión Europea (Delphi, 2009).

**CUADRO 2**  
**UNIÓN EUROPEA: ESTÁNDARES DE EMISIONES PARA VEHÍCULOS DIESEL**  
**DE PASAJEROS**

| Legislación | Fecha de aplicación | Datos en g/km |                   |      |       |
|-------------|---------------------|---------------|-------------------|------|-------|
|             |                     | $\text{NO}_x$ | HC+ $\text{NO}_x$ | CO   | PM    |
| Euro I      | 07/1992             |               | 0,97              | 2,72 | 0,140 |
| Euro II     | 01/1996             |               | 0,70              | 1,0  | 0,08  |
| Euro III    | 01/2000             | 0,50          | 0,56              | 0,64 | 0,05  |
| Euro IV     | 10/2005             | 0,25          | 0,30              | 0,5  | 0,025 |
| Euro V      | 09/2009             | 0,18          | 0,23              | 0,5  | 0,005 |
| Euro VI     | 09/2014             | 0,08          | 0,17              | 0,5  | 0,005 |

Fuente: Delphi, Worldwide Emission Standards: Heavy Duty & Off Road, 2009.

**CUADRO 3**  
**UNIÓN EUROPEA: ESTÁNDARES DE EMISIONES PARA SERVICIO**  
**DE DIESEL LIGERO**

| Legislación | Fecha de aplicación | Categoría del vehículo/tamaño | Datos en g/km   |                    |      |       |
|-------------|---------------------|-------------------------------|-----------------|--------------------|------|-------|
|             |                     |                               | NO <sub>x</sub> | HC+NO <sub>x</sub> | CO   | PM    |
| Euro I      | 07/92               | N1, <= 1305 kg                |                 | 0,97               | 2,72 | 0,14  |
|             |                     | N1, 1305 - 1760 kg            |                 | 1,40               | 5,17 | 0,19  |
|             |                     | N1, > 1760 kg                 |                 | 1,70               | 6,90 | 0,25  |
| Euro II     | 01/96               | N1, <= 1305 kg                |                 | 0,70               | 1,00 | 0,08  |
|             |                     | N1, 1305 - 1760 kg            |                 | 1,00               | 1,25 | 0,12  |
|             |                     | N1, > 1760 kg                 |                 | 1,20               | 1,50 | 0,17  |
| Euro III    | 01/2000             | N1, <= 1305 kg                | 0,50            | 0,56               | 0,64 | 0,05  |
|             |                     | N1, 1305 - 1760 kg            | 0,65            | 0,72               | 0,80 | 0,07  |
|             |                     | N1, > 1760 kg                 | 0,78            | 0,86               | 0,95 | 0,10  |
| Euro IV     | 10/2005             | N1, <= 1305 kg                | 0,25            | 0,30               | 0,50 | 0,025 |
|             |                     | N1, 1305 - 1760 kg            | 0,33            | 0,39               | 0,63 | 0,040 |
|             |                     | N1, > 1760 kg                 | 0,39            | 0,46               | 0,74 | 0,060 |
| Euro V      | 09/2009             | N1, <= 1305 kg                | 0,18            | 0,23               | 0,50 | 0,005 |
|             |                     | N1, 1305 - 1760 kg            | 0,235           | 0,295              | 0,63 | 0,005 |
|             |                     | N1, > 1760 kg                 | 0,28            | 0,35               | 0,74 | 0,005 |
| Euro VI     | 09/2004             | N2, 3500 - 12000 kg           | 0,28            | 0,35               | 0,74 | 0,005 |
|             |                     | N1, <= 1305 kg                | 0,08            | 0,17               | 0,50 | 0,005 |
|             |                     | N1, 1305 - 1760 kg            | 0,105           | 0,195              | 0,63 | 0,005 |
| Euro VI     | 09/2004             | N1, > 1760 kg                 | 0,125           | 0,215              | 0,74 | 0,005 |
|             |                     | N2, 3500 - 12000 kg           | 0,125           | 0,215              | 0,74 | 0,005 |

Fuente: Delphi, Worldwide Emission Standards: Heavy Duty & Off Road, 2009.

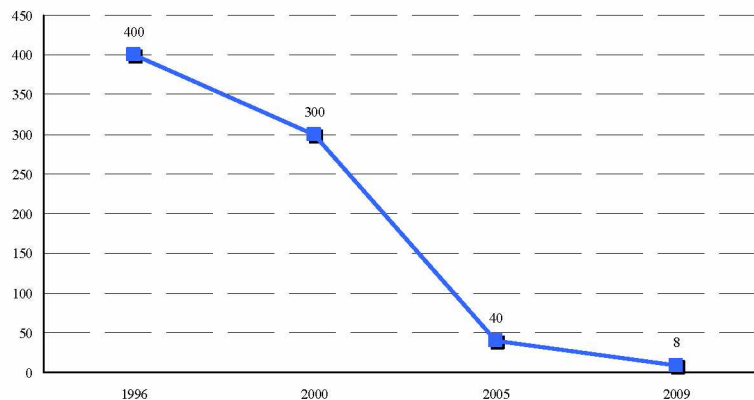
**CUADRO 4**  
**UNIÓN EUROPEA: ESTÁNDARES DE EMISIONES PARA**  
**VEHÍCULOS DIESEL DE SERVICIO PESADO**  
*(Datos en g/kWh)*

| Legislación | Fecha de aplicación | Datos en g/kWh) |      |      |             |
|-------------|---------------------|-----------------|------|------|-------------|
|             |                     | NO <sub>x</sub> | CO   | HC   | PM          |
| Euro I      | 01/92 < 85 kW       | 8,00            | 4,50 | 1,10 | 0,61        |
|             | 01/92 > 85kW        | 8,00            | 4,50 | 1,10 | 20,36       |
| Euro II     | 10/96               | 7,00            | 4,00 | 1,10 | 0,25        |
|             | 10/98               | 7,00            | 4,00 | 1,10 | 0,15        |
| Euro III    | 10/2000             | 5,00            | 2,10 | 0,66 | 0.10 - 0.13 |
| Euro IV     | 10/2005             | 3,50            | 1,50 | 0,46 | 0,02        |
| Euro V      | 10/2008             | 2,00            | 1,50 | 0,46 | 0,02        |
| Euro VI     | 01/2013             | 0,40            | 1,50 | 0,13 | 0,01        |

Fuente: Delphi, Worldwide Emission Standards: Heavy Duty & Off Road, 2009.

En el gráfico 5 se presenta la evolución de la calidad del diesel automotriz, que ha permitido cumplir los estándares de emisiones de vehículos de pasajeros y de servicio pesado.

**GRÁFICO 5**  
**UNIÓN EUROPEA: EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD DEL DIESEL, 1996-2009**  
*(Contenido de azufre en ppm peso)*



Fuente: Delphi, Worldwide Emission Standards Heavy Duty & Off Road Vehicles, 2009.

### c) Japón

Las primeras regulaciones de emisiones de motores diesel automotriz en Japón datan de los años ochenta, pero su aplicación permaneció débil hasta los años noventa. De 2003 a 2005, el Ministerio del Medio Ambiente promulgó normas más estrictas para motores diesel de servicio ligero y pesado.

En 2005 se establecieron los siguientes niveles de emisiones para motores diesel de servicio pesado: NO<sub>x</sub>: 2 g/kWh; PM: 0,027 g/kWh. Estos límites fueron los más estrictos a nivel internacional en



esas fechas. A partir de 2009 fueron reducidos de la siguiente manera: NO<sub>x</sub>: 0,07 g/kWh; PM: 0,01 g/kWh, para quedar entre los límites de la EPA y de Euro V para el año 2010.

En los cuadros 5, 6, 7 y 8 se presentan las normas de emisiones para motores diesel de las diferentes categorías de vehículos en el mercado japonés (Delphi, 2009).

**CUADRO 5**  
**JAPÓN: EVOLUCIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE EMISIONES**  
**PARA VEHÍCULOS DIESEL DE PASAJEROS**

| Peso del vehículo | Fecha de aplicación | Método de prueba  | Datos en g/km |        |                    |        |                 |        |          |        |
|-------------------|---------------------|-------------------|---------------|--------|--------------------|--------|-----------------|--------|----------|--------|
|                   |                     |                   | CO            |        | HC                 |        | NO <sub>x</sub> |        | PM       |        |
|                   |                     |                   | Promedio      | Máximo | Promedio           | Máximo | Promedio        | Máximo | Promedio | Máximo |
| < 1250 kg*        | 1986                | 10-15 Modos       | 2,1           | 2,7    | 0,40               | 0,62   | 0,70            | 0,98   | ---      | ---    |
|                   | 1990                |                   | 2,1           | 2,7    | 0,40               | 0,62   | 0,50            | 0,72   | ---      | ---    |
|                   | 1994                |                   | 2,1           | 2,7    | 0,40               | 0,62   | 0,50            | 0,72   | 0,20     | 0,34   |
|                   | 1997                |                   | 2,1           | 2,7    | 0,40               | 0,62   | 0,40            | 0,55   | 0,08     | 0,14   |
|                   | 2002 <sup>a</sup>   | JC08 <sup>c</sup> | 0,63          | ---    | 0,12               | ---    | 0,28            | ---    | 0,052    | ---    |
|                   | 2005 <sup>b</sup>   |                   | 0,63          | ---    | 0,024 <sup>d</sup> | ---    | 0,14            | ---    | 0,013    | ---    |
|                   | 2009                |                   | 0,63          | ---    | 0,024 <sup>d</sup> | ---    | 0,08            | ---    | 0,005    | ---    |
|                   | 1986                |                   | 2,1           | 2,7    | 0,40               | 0,62   | 0,90            | 1,26   | ---      | ---    |
| ≥ 1250 kg*        | 1992                | 10-15 Modos       | 2,1           | 2,7    | 0,40               | 0,62   | 0,60            | 0,84   | ---      | ---    |
|                   | 1994                |                   | 2,1           | 2,7    | 0,40               | 0,62   | 0,60            | 0,84   | 0,20     | 0,34   |
|                   | 1998                | JC08 <sup>c</sup> | 2,1           | 2,7    | 0,40               | 0,62   | 0,40            | 0,55   | 0,08     | 0,14   |
|                   | 2002 <sup>a</sup>   |                   | 0,63          | ---    | 0,12               | ---    | 0,30            | ---    | 0,056    | ---    |
|                   | 2005 <sup>b</sup>   |                   | 0,63          | ---    | 0,024 <sup>d</sup> | ---    | 0,15            | ---    | 0,014    | ---    |
|                   | 2009 <sup>e</sup>   |                   | 0,63          | ---    | 0,024 <sup>d</sup> | ---    | 0,08            | ---    | 0,005    | ---    |

Fuente: *Delphi, Worldwide Emission Standards: Heavy Duty & Off Road, 2009.*

\* Peso de inercia equivalente; peso del vehículo de 1.265 kg.

<sup>a</sup> A partir de octubre 2002, para vehículos nacionales; a partir de septiembre 2004 para vehículos importados.

<sup>b</sup> Implementación total al finalizar 2005.

<sup>c</sup> Introducción total en 2011.

<sup>d</sup> Hidrocarburos no metánicos.

<sup>e</sup> A partir de octubre de 2009 para modelos nuevos nacionales; a partir de septiembre de 2010 para vehículos en circulación e importados.

**CUADRO 6**  
**JAPÓN: EVOLUCIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE EMISIONES**  
**PARA VEHÍCULOS DIESEL DE SERVICIO LIGERO**  
*Peso vehicular bruto ≤ 3500 kg (≤ 2500 kg después de 2005)*

| Peso del vehículo* | Fecha de aplicación | Método de prueba | Unidades | CO       |                    | HC                |        | NO <sub>x</sub>  |        | PM       |        |
|--------------------|---------------------|------------------|----------|----------|--------------------|-------------------|--------|------------------|--------|----------|--------|
|                    |                     |                  |          | Promedio | Máximo             | Promedio          | Máximo | Promedio         | Máximo | Promedio | Máximo |
| ≤ 1700 kg          | 1988                | 10-15 modos      | g/km     | 2,1      | 2,7                | 0,40              | 0,62   | 0,90             | 1,26   | ---      | ---    |
|                    | 1993                |                  |          | 2,1      | 2,7                | 0,40              | 0,62   | 0,60             | 0,84   | 0,20     | 0,34   |
|                    | 1997                |                  |          | 2,1      | 2,7                | 0,40              | 0,62   | 0,40             | 0,55   | 0,08     | 0,14   |
|                    | 2002                |                  |          | 0,63     | ---                | 0,12              | ---    | 0,28             | ---    | 0,052    | ---    |
|                    | 2005 <sup>b</sup>   | JCS <sup>c</sup> | 0,63     | ---      | 0,024 <sup>d</sup> | ---               | 0,14   | ---              | 0,013  | ---      |        |
|                    | 2009                |                  | 0,63     | ---      | 0,024 <sup>d</sup> | ---               | 0,08   | ---              | 0,005  | ---      |        |
| ≥ 1700 kg          | 1988                | 6 modos          | ppm      | 790      | 980                | 510               | 670    | DI: 380 IDI: 500 | ---    | ---      |        |
|                    | 1993                | 10-15 modos      | g/km     | 2,1      | 2,7                | 0,40              | 0,62   | 1,30             | 1,82   | 0,25     | 0,43   |
|                    | 1997 <sup>a</sup>   |                  |          | 2,1      | 2,7                | 0,40              | 0,62   | 0,70             | 0,97   | 0,09     | 0,18   |
|                    | 2003                |                  |          | 0,63     | ---                | 0,12              | 0,49   | ---              | ---    | 0,06     | ---    |
|                    | 2005 <sup>b</sup>   |                  |          | 0,63     | ---                | 0,24 <sup>d</sup> | ---    | 0,25             | ---    | 0,015    | ---    |
|                    | 2009 <sup>e</sup>   | JCS <sup>c</sup> | 0,63     | ---      | 0,24 <sup>d</sup>  | ---               | 0,15   | ---              | 0,007  | ---      |        |

Fuente: *Delphi, Worldwide Emission Standards: Heavy Duty & Off Road, 2009.*

\* Expresado como peso bruto vehicular (GVW).

<sup>a</sup> a partir de 1997, para vehículos de transmisión manual; a partir de 1998 para vehículos de transmisión automática.

<sup>b</sup> Implementación total al finalizar 2005.

<sup>c</sup> Introducción total en 2011.

<sup>d</sup> Expresados como hidrocarburos no metánicos (NMHC).

<sup>e</sup> A partir de octubre de 2010 para vehículos nacionales; a partir de septiembre de 2009 para vehículos en circulación e importados.

**CUADRO 7**  
**JAPÓN: EVOLUCIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE EMISIONES**  
**PARA VEHÍCULOS DIESEL DE SERVICIO PESADO**  
*Peso Vehicular Bruto ≤ 3500 kg (≤ 2500 kg después de 2005)*

| Fecha de aplicación | Método de prueba | Unidades | CO       |                   | HC       |        | NO <sub>x</sub>    |        | PM       |        |
|---------------------|------------------|----------|----------|-------------------|----------|--------|--------------------|--------|----------|--------|
|                     |                  |          | Promedio | Máximo            | Promedio | Máximo | Promedio           | Máximo | Promedio | Máximo |
| 1988/1989           | 6 modos          | ppm      | 790      | 980               | 510      | 670    | DI: 400 IDI: 260   | 520    | ---      | ---    |
| 1994                | 13 modos         | g/kWh    | 7,40     | 9,20              | 2,90     | 3,80   | DI: 6,00 IDI: 5,00 | 7,80   | 0,7      | 0,96   |
| 1997 <sup>a</sup>   | 7,40             |          | 9,20     | 2,90              | 3,80     | 4,50   | 5,80               | 0,25   | 0,49     |        |
| 2003 <sup>b</sup>   | 2,22             |          | ---      | 0,87              | ---      | 3,38   | ---                | 0,18   | ---      |        |
| 2005 <sup>c</sup>   | 2,22             |          | ---      | 0,17 <sup>d</sup> | ---      | 2,0    | ---                | 0,027  | ---      |        |
| 2009                | JE05             | 2,22     | ---      | 0,17 <sup>d</sup> | ---      | 7,0    | ---                | 0,01   | ---      |        |

Fuente: *Delphi, Worldwide Emission Standards: Heavy Duty & Off Road, 2009.*

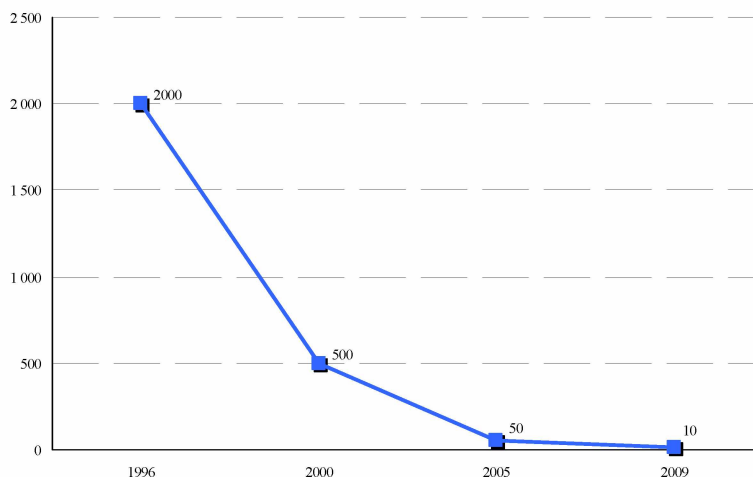
<sup>a</sup> A partir de 1997 se aplica para vehículos con GWV ≥ 3.500 kg; a partir de 1998 para vehículos de 3.500 < GWV ≤ 12000 kg; a partir de 1999 para GWV > 12.000 kg.

<sup>b</sup> A partir de 2003 para GWV ≤ 12.000 kg; a partir de 2004 GWV > 12.000 kg.

<sup>c</sup> Implementación total al final de 2005.

<sup>d</sup> Hidrocarburos no metánicos (NMHC).

**GRAFICO 6**  
**JAPÓN: EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO DE AZUFRE DEL DIESEL AUTOMOTRIZ, 1996-2009**  
*(Azufre en ppm en peso)*

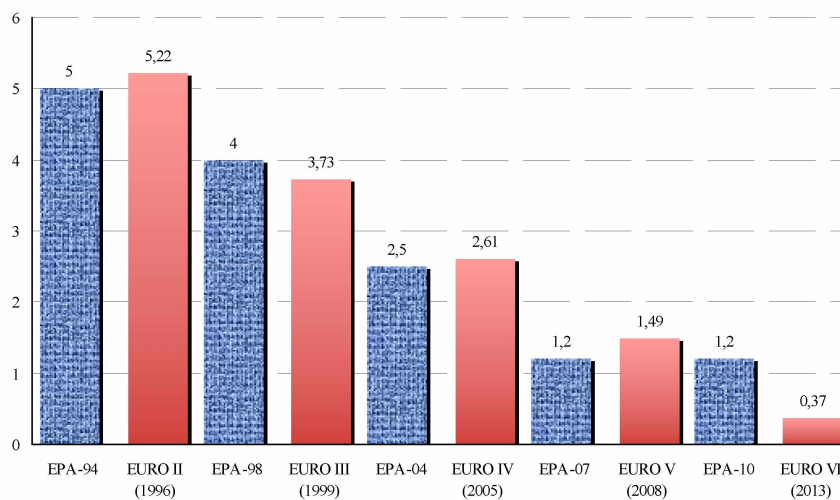


Fuente: *Delphi, Worldwide Emission Standard Heavy Duty & Off Road Vehicles, 2009.*

En los gráficos 7 y 8 se presenta una comparación de la evolución de las normas de emisiones para  $\text{NO}_x$  y PM en los Estados Unidos y la Unión Europea (Randall, 2010).

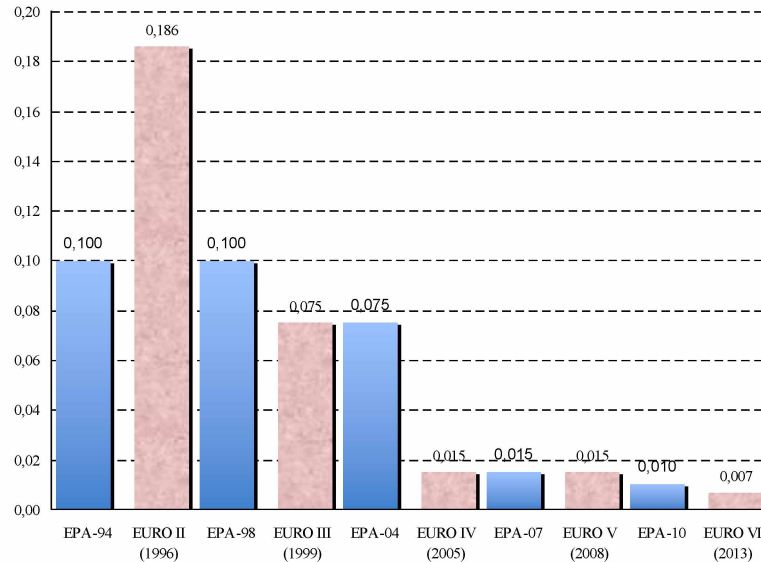
**GRÁFICO 7**  
**ESTADOS UNIDOS Y UNIÓN EUROPEA: COMPARACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE EMISIÓN DE  $\text{NO}_x$ , 1996-2013**

*( $\text{NO}_x$  en g/BHP-hr)*



Fuente: Randall, Ray, Engine Emission, Navistar Engine Group.

**GRÁFICO 8**  
**ESTADOS UNIDOS Y UNIÓN EUROPEA: COMPARACIÓN DE LA EVOLUCIÓN**  
**DE LOS ESTÁNDARES DE EMISIÓN DE PM, 1996-2013**  
*(PM (g/BHP—hr))<sup>a</sup>*



Fuente: Randall, Ray, Engine Emission, Navistar Engine Group.

<sup>a</sup> g/bhp-hr = gram per brake horse power-hour, significa la cantidad de un contaminante emitida por cada caballo de fuerza del motor en una hora.

#### d) Carta Mundial de Combustibles (WWFC)

La primera edición de este documento es de 1998 y la última de 2006. Su contenido es la posición de los fabricantes de vehículos y de motores sobre la calidad de los combustibles y su relación con los estándares de emisiones, teniendo presente el compromiso de reducir el impacto ambiental derivado del transporte automotor (ACEA, Alliance, EMA, JAMA, 2006).

El documento no identifica los estándares de emisiones vinculados a la calidad de los combustibles, pero establece una relación cualitativa con el estado de las regulaciones en la materia.

Respecto del combustible para motores diesel, la WWFC identifica las siguientes cuatro categorías:

**Categoría 1:** Incluye mercados sin normas de emisiones o con normas cuya aplicación se encuentra en las etapas iniciales. Esta categoría incluye básicamente recomendaciones para el cuidado del vehículo/motor y la protección de los sistemas de control de emisiones.

**Categoría 2:** Incluye mercados con normas de emisiones estrictas y atención de otras demandas.

**Categoría 3:** Incluye mercados con normas avanzadas de control de emisiones y aplicaciones particulares de los mismos.

**Categoría 4:** Incluye mercados con los sistemas de control de emisiones más avanzados y sofisticados, particularmente los de tecnologías de post tratamiento para la reducción y control de NO<sub>x</sub> y PM.

En los cuadros 8, 9, 10 y 11 se presentan estas especificaciones.

**CUADRO 8**  
**ESPECIFICACIONES DEL DIESEL AUTOMOTRIZ DE LA WWFC**  
**Calidad: categoría 1**

| Propiedades  | Unidades             | Límites   |                            |
|--|----------------------|---|----------------------------|
|  |                      | Mínimo  | Máximo                     |
| Número de Cetano                                   | - - -                | 48,0  |                            |
| Índice de Cetano <sup>a</sup>                      | - - -                | 48(45) <sup>a</sup>   |                            |
| Densidad @ 15°C                                    | kg/m <sup>3</sup>    | 820 <sup>b</sup>  | 860                        |
| Viscosidad @ 40°C                                  | mm <sup>2</sup> /s   | 2,0 <sup>c</sup>  | 4,5                        |
| Contenido de azufre                                | mg/kg <sup>d</sup>   |   | 2 000 <sup>e</sup>         |
| Temperatura a la que destila el 95 % de la Muestra | °C                   |   | 370                        |
| Temperatura de inflamación                         | °C                   | 55 <sup>f</sup>   |                            |
| Residuo de carbón                                  | % peso               |   | 0,30                       |
| CFPP <sup>g</sup> o LTFT o CP                      | °C                   | El valor máximo deberá ser igual o menor que la temperatura ambiental más baja esperada |                            |
| Contenido de agua                                  | mg/kg                |   | 500                        |
| Estabilidad a la oxidación, método 1               | g/m <sup>3</sup>     |   | 25                         |
| Estabilidad a la oxidación, método 2               | Período de inducción | (h)   |                            |
| Contenido de FAME <sup>i</sup>                     | % volumen            |   | 5 <sup>j</sup>             |
| Corrosión al cobre                                 | - - -                |   | Clase I                    |
| Contenido de metanol/etanol                        | %volumen             |   | No detectable <sup>k</sup> |
| Contenido de cenizas                               | % peso               |   | 0,01                       |
| Contaminación de partículas totales                | mg/kg                | Claro y libre, sin agua libre ni partículas   |                            |
| Lubricidad (HFRR @ 60°C)                           | micrones             |   | 400                        |

Fuente: ACEA, Alliance, EMA, JAMA, Worldwide Fuel Charter, Four Edition, September 2006.

\* Worldwide Fuel Charter.

(I) Los aditivos deben ser compatibles con los lubricantes. Los aditivos que formen cenizas no deben ser permitidos.

(II) Deberán aplicarse las mejores prácticas locales para reducir la contaminación en el manejo de polvos, aguas, otros combustibles, etc.

(III) Se recomienda el marcado apropiado en las bombas de combustible de las estaciones de servicio.

<sup>a</sup> El Índice de Cetano es aceptado en lugar del Número de Cetano si se dispone de un motor estandarizado para determinar el Número de Cetano no se está disponible y no se emplean mejoradores de Cetano. El Número de Cetano deberá ser mayor o igual al especificado y el Índice de Cetano deberá ser mayor o igual el número entre paréntesis.

<sup>b</sup> El límite mínimo puede ser disminuido a 800 kg/m<sup>3</sup> cuando la temperatura ambiente sea menor a -30°C.

<sup>c</sup> El límite mínimo puede ser disminuido a 1,5 mm<sup>2</sup>/s cuando la temperatura ambiente sea menor a -30 °C, y a 1,3 mm<sup>2</sup>/s cuando la temperatura ambiente sea menor a -40 °C.

<sup>d</sup> La unidad mg/kg frecuentemente se expresa como ppm en peso.

<sup>e</sup> Un valor de 3.000 mg/kg es considerado un valor de transición.

<sup>f</sup> El límite mínimo puede ser disminuido a 38 °C cuando la temperatura ambiente sea menor a -38°C.

<sup>g</sup> Si la conformidad se demuestra por el cumplimiento del CFPP, entonces este resultado deberá ser 10 °C menos que la temperatura de nublamiento (cloud point).

<sup>h</sup> Para el FAME (Fatty Acid Methyl Esters —Ester Metílico del Ácido Graso—), ambos el EN14214 y ASTM D6751, o sus estándares equivalentes, deberán ser tomados en cuenta. Cuando se usa FAME es fuertemente recomendable llevar a cabo la identificación en la bomba de despacho en la estación de servicio.

<sup>i</sup> En o por debajo del límite del método analítico usado.

<sup>j</sup> El método de prueba y el límite están en proceso de revisión.

<sup>k</sup> El método de prueba y el límite están en proceso de revisión.

**CUADRO 9**  
**ESPECIFICACIONES DEL DIESEL AUTOMOTRIZ SEGÚN LA WWFC**  
**Calidad: Categoría 2**

| Propiedades  | Límites              |   |                            |
|--|----------------------|---|----------------------------|
|  | Unidades             | Mínimo  | Máximo                     |
| Número de Cetano   | ---                  | 51,0  |                            |
| Índice de Cetano <sup>a</sup>  | ---                  | 51,0(48.0) <sup>a</sup>   |                            |
| Densidad @ 15°C  | kg/m <sup>3</sup>    | 820 <sup>b</sup>  | 850                        |
| Viscosidad @ 40°C  | mm <sup>2</sup> /s   | 2,0 <sup>c</sup>  | 4                          |
| Contenido de azufre  | mg/kg <sup>d</sup>   |   | 300                        |
| Metales (Zn, Cu, Mn, Ca, Na, otros)  | g/l                  | No detectable <sup>e</sup>  |                            |
| Contenido de aromáticos totales  | % peso               |   | 25                         |
| Contenido de aromático polinucleares (PAH -polinuclear aromatic hydrocarbon- di+,tri+) | % peso               |   | 5                          |
| Temperatura a la que destila el 90 % (T90) de la muestra <sup>f</sup>                  | °C                   |   | 340                        |
| Temperatura a la que destila el 95 % (T95) de la muestra <sup>g</sup>                  | °C                   |   | 355                        |
| Temperatura final de ebullición  | °C                   |   | 365                        |
| Temperatura de inflamación   | °C                   | 55  |                            |
| Residuo de carbón  | % peso               |   | 0,30                       |
| CFPP <sup>(7)</sup> o LTFT o CP  | °C                   | El valor máximo deberá ser igual o menor que la temperatura ambiental más baja esperada |                            |
| Contenido de agua  | mg/kg                |   | 200                        |
| Estabilidad a la oxidación, método 1   | g/m <sup>3</sup>     |   | 25                         |
| Estabilidad a la oxidación, método 2   | Período de inducción | (h)   |                            |
| Crecimiento biológico  |                      | Contenido "Zero"  |                            |
| Contenido de FAME  | % volumen            |   | 5 <sup>i</sup>             |
| Corrosión al cobre   | ---                  |   | Clase I                    |
| Corrosión ferrosa  | ---                  |   | Herrumbre ligero           |
| Contenido de metanol/etanol  | %volumen             |   | No detectable <sup>j</sup> |
| Número ácido total   | mg KOH/g             |   | 0,08                       |
| Contenido de cenizas   | % peso               |   | 0,01                       |
| Contaminación de partículas totales  | mg/kg                |   | 10 <sup>k</sup>            |

(continúa)

**CUADRO 9** (conclusión)

| Propiedades  | Límites  |                                |        |
|--|--|--------------------------------|--------|
|  | Unidades                                       | Mínimo                         | Máximo |
| Distribución de tamaño de la contaminación de partículas | Rango de código                                | 18/16/13 de acuerdo a ISO 4406 |        |
| Apariencia   | Claro y brillante, sin agua libre o partículas |                                |        |
| Limpieza de inyectores                                   | % de pérdida de flujo de aire                  | 85                             |        |
| Lubricidad (HFRR @ 60°C)                                 | micrones                                       | 400                            |        |

Fuente: ACEA, Alliance, EMA, JAMA, Worldwide Fuel Charter, Four Edition, September 2006.

\* Worldwide Fuel Charter.

- (I) Los aditivos deben ser compatibles con los lubricantes. Los aditivos que formen cenizas no deben ser permitidos.
- (II) Deberán aplicarse las mejores prácticas locales para reducir la contaminación en el manejo de polvos, aguas, otros combustibles, etc.
- (III) Se recomienda el marcado o etiquetado apropiado en las bombas de combustible de las estaciones de servicio.<sup>a</sup> El Índice de Cetano es aceptado en lugar del Número de Cetano si se dispone de un motor estandarizado para determinar el Número de Cetano que no se está disponible y no se emplean mejoradores de Cetano. El Número de Cetano deberá ser mayor o igual al especificado y el Índice de Cetano deberá ser mayor o igual el número entre paréntesis.

<sup>a</sup> El Índice de Cetano es aceptado en lugar del Número de Cetano si se dispone de un motor estandarizado para determinar el Número de Cetano no se está disponible y no se emplean mejoradores de Cetano. El Número de Cetano deberá ser mayor o igual al especificado y el Índice de Cetano deberá ser mayor o igual el número entre paréntesis.

<sup>b</sup> El límite mínimo puede ser disminuido a 800 kg/m<sup>3</sup> cuando la temperatura ambiente sea menor a -30°C. Para propósitos ambientales es aceptable un valor de 815 kg/m<sup>3</sup>.

<sup>c</sup> El límite mínimo puede ser disminuido a 1,5 mm<sup>2</sup>/s cuando la temperatura ambiente sea menor a -30 °C, y a 1,3 mm<sup>2</sup>/s cuando la temperatura ambiente sea menor a -40 °C.

<sup>d</sup> La unidad mg/kg frecuentemente se expresa como ppm en peso.

<sup>e</sup> En o inferior al límite del método analítico usado. No se permiten aditivos de base metálica.

<sup>f</sup> El cumplimiento de cualquiera de los valores de T90 o T95 es obligatorio.

<sup>g</sup> Si la conformidad se demuestra por el cumplimiento del CFPP, el resultado deberá ser 10 °C menos que el punto de enturbamiento (cloud point).

<sup>h</sup> El valor límite y el procedimiento de análisis están bajo revisión.

<sup>i</sup> Para el FAME (Fatty Acid Methyl Esters—Ester Metílico del Ácido Graso—), ambos el EN14214 y ASTM D6751, o sus estándares equivalentes, deberán ser tomados en cuenta. Cuando se usa FAME se recomienda identificar la bomba de despacho en la estación de servicio.

<sup>j</sup> En o inferior al límite del método analítico usado. El método de prueba y el límite están en proceso de revisión.

<sup>k</sup> El valor límite y el procedimiento de análisis están bajo revisión.

**CUADRO 10**  
**ESPECIFICACIONES DEL DIESEL AUTOMOTRIZ SEGÚN LA WWFC**  
**Calidad: categoría 3**

| Propiedades  | Unidades             | Límites                    |                  |
|--|----------------------|----------------------------|------------------|
|  |                      | Mínimo                     | Máximo           |
| Número de Cetano   | ---                  | 52,0                       |                  |
| Índice de Cetano <sup>a</sup>  | ---                  | 53,0(50,0) <sup>a</sup>    |                  |
| Densidad @ 15°C  | kg/m <sup>3</sup>    | 820 <sup>b</sup>           | 840              |
| Viscosidad @ 40°C  | mm <sup>2</sup> /s   | 2,0 <sup>c</sup>           | 4                |
| Contenido de azufre  | mg/kg <sup>d</sup>   |                            | 50               |
| Metales (Zn, Cu, Mn, Ca, Na, Otros)  | g/l                  | No detectable <sup>e</sup> |                  |
| Contenido de aromáticos totales  | % peso               |                            | 20               |
| Contenido de aromático polinucleares (PAH -polinuclear aromatic hydrocarbon- di+,tri+) | % peso               |                            | 3                |
| Temperatura a la que destila el 90 % (T90) de la muestra <sup>f</sup>                  | °C                   |                            | 320              |
| Temperatura a la que destila el 95 % (T95) de la muestra <sup>f</sup>                  | °C                   |                            | 340              |
| Temperatura final de ebullición  | °C                   |                            | 350              |
| Temperatura de inflamación   | °C                   | 55                         |                  |
| Residuo de carbón  | % peso               |                            | 0,20             |
| Contenido de agua  | mg/kg                |                            | 200              |
| Estabilidad a la oxidación, método 1   | g/m <sup>3</sup>     |                            | 25               |
| Estabilidad a la oxidación, método 2   | Período de inducción | (h)                        |                  |
| Volumen de espuma  | ml                   |                            | 100              |
| Tiempo de eliminación de la espuma   | segundos             |                            | 15               |
| Crecimiento biológico  |                      | Contenido "Zero"           |                  |
| Contenido de FAME  | % volumen            |                            | 5 <sup>i</sup>   |
| Corrosión al cobre   | ---                  |                            | Clase I          |
| Corrosión ferrosa  | ---                  |                            | Herrumbre ligero |

(continúa)



**CUADRO 10** (conclusión)

| Propiedades  | Unidades                      | Límites  |                            |
|--|-------------------------------|--|----------------------------|
|  |                               | Mínimo   | Máximo                     |
| Contenido de metanol/etanol                              | %volumen                      |  | No detectable <sup>j</sup> |
| Número ácido total                                       | mg KOH/g                      |  | 0,08                       |
| Contenido de cenizas                                     | % peso                        |  | 0,01                       |
| Contaminación de partículas totales                      | mg/kg                         |  | 10 <sup>k</sup>            |
| Distribución de tamaño de la contaminación de partículas | Rango de código               | 18/16/13 de acuerdo a ISO 4406                 |                            |
| Apariencia   |                               | Claro y brillante, sin agua libre o partículas |                            |
| Limpieza de inyectores                                   | % de pérdida de flujo de aire |  | 85                         |
| Lubricidad (HFRR @ 60°C)                                 | micrones                      |  | 400                        |

Fuente: ACEA, Alliance, EMA, JAMA, Worldwide Fuel Charter, Four Edition, September 2006.

\* Worldwide Fuel Charter.

- (i) El empleo de aditivos deberá ser compatible con los aceites lubricantes. Los aditivos que formen cenizas no están permitidos.
- (ii) Deberán de aplicarse las mejores prácticas locales para reducir contaminación en el manejo (polvos, aguas, otros combustibles, etc.)
- (iii) Es recomendable la definición y empleo del marcado apropiado en las bombas de surtimiento en la estación de servicio.

<sup>a</sup> El Índice de cetano es aceptado en lugar del número de cetano si se dispone de un motor estandarizado. El número de cetano deberá ser mayor o igual al especificado y el índice de cetano deberá ser mayor o igual al número entre paréntesis.

<sup>b</sup> El límite mínimo puede ser disminuido a 800 kg/m<sup>3</sup> cuando la temperatura ambiente sea menor a -30°C. Para propósitos ambientales un valor de 815 kg/m<sup>3</sup> es aceptable.

<sup>c</sup> El límite mínimo puede ser disminuido a 1,5 mm<sup>2</sup>/s cuando la temperatura ambiente sea menor a -30°C, y a 1,3 mm<sup>2</sup>/s cuando la temperatura ambiente sea menor a -40°C.

<sup>d</sup> La unidad mg/kg frecuentemente se expresa como ppm en peso.

<sup>e</sup> En o por debajo del límite del método analítico usado. No se permite aditivos de base metálica.

<sup>f</sup> El cumplimiento de cualesquiera de los valores de T90 o T95, es requisito.

<sup>g</sup> Si la conformidad se demuestra por el cumplimiento del CFPP, entonces este resultado deberá ser 10 °C menos que el punto de enturbamiento de la temperatura de n (cloud point).

<sup>h</sup> El valor límite y el procedimiento de análisis están bajo revisión.

<sup>i</sup> Para el FAME (Fatty Acid Methyl Esters —Ester Metílico del Ácido Graso—), ambos el EN14214 y ASTM D6751, o sus estándares equivalentes, deberán ser tomados en cuenta. Cuando se usa FAME es fuertemente recomendable llevar a cabo la identificación en la bomba de despacho en la estación de servicio.

<sup>j</sup> En o por debajo del límite del método analítico usado.

<sup>k</sup> El valor límite y el procedimiento de análisis están bajo revisión.

**CUADRO 11**  
**ESPECIFICACIONES DEL DIESEL AUTOMOTRIZ SEGÚN LA WWFC**  
**Calidad: Categoría 4**

| Propiedades  | Unidades             | Límites   |                            |
|--|----------------------|---|----------------------------|
|  |                      | Mínimo  | Máximo                     |
| Número de Cetano   | ---                  | 55,0  |                            |
| Índice de Cetano <sup>a</sup>  | ---                  | 55,0(52,0) <sup>a</sup>   |                            |
| Densidad @ 15°C  | kg/m <sup>3</sup>    | 820 <sup>b</sup>  | 840                        |
| Viscosidad @ 40°C  | mm <sup>2</sup> /s   | 2,0 <sup>c</sup>  | 4                          |
| Contenido de azufre  | mg/kg <sup>d</sup>   |   | 10                         |
| Metales (Zn, Cu, Mn, Ca, Na, otros)  | g/l                  | No detectable <sup>e</sup>  |                            |
| Contenido de aromáticos totales  | % peso               |   | 15                         |
| Contenido de aromático polinucleares (PAH -polinuclear aromatic hydrocarbon- di+,tri+) | % peso               |   | 2,0                        |
| Temperatura a la que destila el 90% (T90) de la muestra <sup>f</sup>                   | °C                   |   | 320                        |
| Temperatura a la que destila el 95% (T95) de la muestra <sup>f</sup>                   | °C                   |   | 340                        |
| Temperatura final de ebullición  | °C                   |   | 350                        |
| Temperatura de inflamación   | °C                   | 55  |                            |
| Residuo de carbón  | % peso               |   | 0,20                       |
| CFPP <sup>g</sup> o LTFT o CP  | °C                   | El valor máximo deberá ser igual o menor que la temperatura ambiental más baja esperada |                            |
| Contenido de agua  | mg/kg                |   | 200                        |
| Estabilidad a la oxidación, método 1   | g/m <sup>3</sup>     |   | 25                         |
| Estabilidad a la oxidación, método 2   | Período de inducción | <sup>(h)</sup>  |                            |
| Volumen de espuma  | ml                   |   | 100                        |
| Tiempo de eliminación de la espuma   | segundos             |   | 10                         |
| Crecimiento biológico  |                      | Contenido "Zero"  |                            |
| Contenido de FAME  | % volumen            | No detectable <sup>i</sup>  |                            |
| Corrosión al cobre   | ---                  |   | Clase I                    |
| Corrosión ferrosa  | ---                  | Herrumbre ligero  |                            |
| Contenido de metanol/etanol  | %volumen             |   | No detectable <sup>i</sup> |
| Número ácido total   | mg KOH/g             |   | 0,08                       |
| Contenido de cenizas   | % peso               |   | 0.01 <sup>j</sup>          |
| Contaminación de partículas totales  | mg/kg                |   | 10 <sup>h</sup>            |

(continúa)

**CUADRO 11 (conclusión)**

| Propiedades  | Unidades                      | Límites  |        |
|--|-------------------------------|--|--------|
|  |                               | Mínimo   | Máximo |
| Distribución de tamaño de la contaminación de partículas | Rango de código               | 18/16/13 de acuerdo a ISO 4406                 |        |
| Apariencia   |                               | Claro y brillante, sin agua libre o partículas |        |
| Limpieza de inyectores                                   | % de pérdida de flujo de aire |  | 85     |
| Lubricidad (HFRR @ 60°C)                                 | micrones                      |  | 400    |

Fuente: ACEA, Alliance, EMA, JAMA, Worldwide Fuel Charter, Four Edition, September 2006.

\* Worldwide Fuel Charter.

(i) El empleo de aditivos deberá ser compatible con los aceites lubricantes. Los aditivos que formen cenizas no están permitidos.

(ii) Deberán de aplicarse las mejores prácticas locales para reducir contaminación en el manejo de polvos, aguas, otros combustibles, etc.

(iii) Es recomendable la definición y empleo del marcado apropiado en las bombas de surtimiento en la estación de servicio.

<sup>a</sup> El Índice de Cetano es aceptado en lugar del Número de Cetano si se dispone de un motor estandarizado. El número de Cetano deberá ser mayor o igual al especificado y el Índice de Cetano deberá ser mayor o igual el número entre paréntesis.

<sup>b</sup> El límite mínimo puede ser disminuido a 800 kg/m<sup>3</sup> cuando la temperatura ambiente sea menor a -30°C. Para propósitos a ambientales un valor de 815 kg/m<sup>3</sup> es aceptable.

<sup>c</sup> El límite mínimo puede ser disminuido a 1,5 mm<sup>2</sup>/s cuando la temperatura ambiente sea menor a -30°C, y a 1,3 mm<sup>2</sup>/s cuando la temperatura ambiente sea menor a -40°C.

<sup>d</sup> La unidad mg/kg frecuentemente se expresa como ppm en peso.

<sup>e</sup> En o inferior al límite del método analítico usado. No se permite aditivos de base metálica.

<sup>f</sup> El cumplimiento de cualesquiera de los valores de T90 o T95, es requisito.

<sup>g</sup> Si la conformidad se demuestra por el cumplimiento del CFPP, entonces este resultado deberá ser 10 °C menor que el punto de enturbamiento de la temperatura d (cloud point).

<sup>h</sup> El valor límite y el procedimiento de análisis están bajo revisión.

<sup>i</sup> En o por debajo del límite de detección del método analítico usado. El valor de FAME está en revisión.

<sup>j</sup> El valor límite y el método de prueba de resistencia DPF están bajo revisión.

En el cuadro 12 se presentan las especificaciones del diesel automotriz en el estándar ASTM-D-975-11.

Los grados del diesel se describen a continuación:

Grado N°1-D S15: combustible destilado intermedio ligero para uso en motores diesel que requieren combustible con 15 ppm en peso de azufre (máximo) y mayor volatilidad que la proporcionada por el combustible Grado N° 2-D S15.

El Grado N°1-D S15: comprende combustibles con muy bajo nivel de azufre, aceites combustibles en el rango de la kerosina y destilados intermedios. Los combustibles con este grado son empleados en: a) motores diesel que operan a alta velocidad con combustibles de azufre ultra bajo; b) las aplicaciones que requieren cambios frecuentes y amplios en variaciones de carga y velocidad; c) aplicaciones de operación a temperaturas bajas anormales.

Grado N°1-D S500: combustible destilado intermedio para motores diesel que requieren combustible con 500 ppm en peso de azufre (máximo) y mayor volatilidad que la proporcionada por el combustible Grado N° 2-D S500.

**CUADRO 12**  
**ESPECIFICACIONES DEL ASTM-D-975-11**  
**REQUERIMIENTOS DETALLADOS PARA LOS ACEITES COMBUSTIBLES DIESEL <sup>a</sup>**

| Propiedad  | Unidades            | Grados          |                   |                    |                         |                         |                         |
|--|---------------------|-----------------|-------------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|  |                     | N° 1-D          |                   |                    | N° 2-D                  |                         |                         |
|  |                     | S15             | S500 <sup>b</sup> | S5000 <sup>c</sup> | S15 <sup>d</sup>        | S500 <sup>b,d</sup>     | S5000 <sup>c,d</sup>    |
| Temperatura de inflamación                                   | °C                  | 38              | 38                | 38                 | 52 <sup>d</sup>         | 52 <sup>d</sup>         | 52 <sup>d</sup>         |
| Temperatura de destilación del 90% de la muestra (mín./máx.) | °C                  | (-/-288)        | (-/-288)          | (-/-288)           | (282 <sup>d</sup> /338) | (282 <sup>d</sup> /338) | (282 <sup>d</sup> /338) |
| Viscosidad cinemática @ 40°C (mín./máx.)                     | mm <sup>2</sup> /s  | (1,3/2,4)       | (1,3/2,4)         | (1,3/2,4)          | (1,9 <sup>d</sup> /4,1) | (1,9 <sup>d</sup> /4,1) | (1,9 <sup>d</sup> /4,1) |
| Cenizas, máximo  | % peso              | 0,01            | 0,01              | 0,01               | 0,01                    | 0,01                    | 0,01                    |
| Azufre, máximo   | (µg/g) <sup>e</sup> | 15              | 500               | 5 000              | 15                      | 500                     | 5 000                   |
| Corrosión a la lámina de cobre, 3 h máximo a 50 °C, máximo   | Estándar            | N° 3            | N° 3              | N° 3               | N° 3                    | N° 3                    | N° 3                    |
| Número de cetano, mínimo <sup>f</sup>                        | - - -               | 40 <sup>g</sup> | 40 <sup>g</sup>   | 40 <sup>g</sup>    | 40 <sup>g</sup>         | 40 <sup>g</sup>         | 40 <sup>g</sup>         |
| Una de las siguientes propiedades deberá de cumplirse:       |                     |                 |                   |                    |                         |                         |                         |
| (1) Índice de cetano, mínimo                                 | - - -               | 40              | 40                | - - -              | 40                      | 40                      | - - -                   |
| (2) Aromáticos, máximo                                       | % Volumen           | 35              | 35                | - - -              | 35                      | 35                      | - - -                   |
| Temperatura de nublamiento o LTFT/CFPP, máx.                 | °C                  | h               | h                 | h                  | h                       | h                       | h                       |
| Carbón ramsbotton en 10 % del residuo, máximo                | % Peso              | 0,15            | 0,15              | 0,15               | 0,35                    | 0,35                    | 0,35                    |
| Lubricidad HFRR @ 60°C, máx.                                 | micrones            | 520             | 520               | 520                | 520                     | 520                     | 520                     |
| Conductividad o  | pS/m                | 25 <sup>i</sup> | 25 <sup>i</sup>   | 25 <sup>i</sup>    | 25 <sup>i</sup>         | 25 <sup>i</sup>         | 25 <sup>i</sup>         |
| Conductividad (unidad de conductividad), mín.                |                     |                 |                   |                    |                         |                         |                         |

Fuente: American Society for Testing and Material, Standard Specification for Diesel Fuel Oil, 2011.

<sup>a</sup> Para cumplir todas las condiciones de operación, la modificación de los límites de cada propiedad se acordaran entre comprador, vendedor y fabricante.

<sup>b</sup> Bajo las regulaciones de los Estados Unidos, si los Grados No. 1-D S500, 2-D S500 se venden para propósitos de exención de impuestos entonces, en o después de los tanques de almacenamiento de la terminal, existe el requisito de acuerdo con el 26 CFR Part 48 que se le adicione un colorante identificado como Solvent Red 164 en una concentración equivalente a 3,9 libras por 1.000 barriles del colorante sólido identificado como Solvent Red 26, o los impuestos deberán ser cobrado.

<sup>c</sup> Bajo las regulaciones de los Estados Unidos, los Grados No. 1-D S5000, 2-D S5000 son requeridos por el 40 CFR Part 80 que contengan suficiente colorante Solvent Red 164 para que su presencia sea detectada visualmente. En o después de los tanques de almacenamiento de la terminal, es requisito del 26 CFR Part 48 que contengan colorante Solvent Red 164 a una concentración equivalente a 3,9 libras por cada 1.000 barriles del colorante sólido Solvent Red 26.

<sup>d</sup> Cuando se especifica una temperatura de nublamiento es menor a -12 °C, la cual puede ocurrir durante los meses fríos, se permite y es una práctica normal de mezclado combinar los Grados N°1 y N°2, para cumplir las especificaciones de baja temperatura. En el caso que la temperatura de inflamación sea 38 °C, la viscosidad mínima deberá ser 1,7 mm<sup>2</sup>/s, la temperatura a la que destila el 90% de la muestra tendrá que ser dispensada. Otros valores límites en el contenido de azufre pueden aplicarse en áreas seleccionadas de los Estados Unidos y otros países.

<sup>e</sup> Cuando el método del número de cetano (ASTM D613) no esté disponible, el método ASTM D4737 puede emplearse como una aproximación. También el Biodiesel está excluido del alcance del método ASTM D4737, los resultados de este procedimiento pueden usarse para el cumplimiento de la especificación del número de cetano de la mezcla B5 (5% Biodiesel/95% Diesel del petróleo), en razón de que este método predice menor número de cetano para esta mezcla.

<sup>g</sup> Temperaturas ambientales bajas, así como la operación de motores a elevadas altitudes, pueden requerir combustibles con mayor número de cetano.

<sup>h</sup> No es realista establecer especificación de propiedades de desempeño a baja temperatura que aseguren la operación bajo cualquier condición climática ambiental. En general, la temperatura de nublamiento (o la temperatura a la cual aparecen las parafinas), la Prueba de Flujo a Baja Temperatura (Low Temperature Flow Test -LTFT-) y la Prueba de la Temperatura a la cual se Tapona el Filtro (Cold Filter Plugging Point 00000 —CFPP—) pueden ser usadas como las temperaturas límites para combustibles diesel Grados N° 1-D S500; N°2-D S500; y N° 1-D S5000 y No. 2-D S5000. Sin embargo, una operación satisfactoria por debajo de la temperatura de nublamiento (o la temperatura a la cual aparecen las parafinas), puede ser alcanzada dependiendo del diseño del equipo, sus condiciones de operación, y el empleo de mejoradores de flujo como se describe en X5.1.2. Las propiedades de operatividad a baja temperaturas correctas deberán ser acordadas entre el comprador y el vendedor del combustible con base en las temperaturas ambientes estimadas y esperadas. Los procedimientos analíticos ASTM D4539 y D6371 pueden ser usados específicamente para los límites de operatividad del vehículo a bajas temperaturas cuando se emplean mejoradores de flujos. Debido a los sistemas de alimentación de combustible, el diseño del motor, y las diferencias de los métodos de prueba, las pruebas de operatividad a baja temperatura pueden no proporcionar el mismo grado de protección a diferentes vehículos. Las temperaturas décimo percentiles del aire para los lugares de los Estados Unidos se presentan en el Apéndice X5 como la forma de estimar las temperaturas regionales estimadas. Las temperaturas décimo percentiles del aire pueden usarse para estimar las temperaturas objetivo—regionales aplicando los procedimientos ASTM D2500, D4539 y D6371. Refiérase a X.5.1.3 para más detalles de la aplicación del procedimiento de prueba

<sup>i</sup> La conductividad eléctrica de los combustibles diesel es medida en el momento y a la temperatura que se entrega el combustible. El requerimiento de un valor mínimo de 25 pS/s (pico siemens/segundo) es aplicable en cualquier momento que se opere a altas velocidades de transferencia (7 m/s) pero en algunas ocasiones a bajas velocidades, para transporte en movimiento (por ejemplo, autotanques, carros tanques de ferrocarril, y barcas).

El Grado N°1-D S500: comprende la clase de azufre bajo, aceites combustibles en el rango de la kerosina y destilados intermedios. Los combustibles con este grado se emplean en: a) motores diesel que operan a alta velocidad y que requieren combustibles de azufre bajo; b) los motores que requieren de cambios frecuentes y amplios en variaciones de carga y velocidad; c) motores de operación a temperaturas bajas anormales.

Grado N°1-D S5000: combustible destilado intermedio para motores diesel que requieren combustible con 500 ppm en peso de azufre (máximo) y con mayor volatilidad que la del combustible Grado N° 2-D S5000. Comprende los aceites combustibles cuya volatilidad se ubica entre la kerosina y los destilados intermedios. Los combustibles con este grado son aptos para motores diesel que operan a alta velocidad, necesitan variaciones amplias y frecuentes de carga y velocidad u operan en temperaturas bajas anormales.

Grado N° 2-D S15: combustible destilado intermedio para motores diesel que requieren combustible con 15 ppm en peso (máximo). Es apropiado para condiciones de velocidad y carga variables. Incluye las categorías de azufre muy bajo y destilados intermedios del tipo gasóleo con menor volatilidad que el Grado N°1 S15. Estos combustibles son apropiados para: a) motores diesel que operan a alta velocidad y los que requieren combustibles de azufre ultra bajo; b) motores diesel que operan con altas cargas y velocidades uniformes, c) motores diesel que no requieren combustibles con alta volatilidad y otras propiedades del Grado N°1-DS15.

Grado N° 2-D S500: combustible destilado intermedio para motores diesel que requieren un combustible con 500 ppm en peso (máximo). Es apropiado para condiciones de velocidad y carga variables. Incluye las categorías de azufre bajo y destilados intermedios del tipo gasóleo con menor volatilidad que el Grado N° S500. Estos combustibles son aplicables en: a) motores diesel que operan a alta velocidad; b) motores diesel que operan a altas cargas y velocidades uniformes; c) motores diesel que no requieren combustibles de alta volatilidad u otras propiedades especificadas en el Grado N°1-D S500.

Grado N° 2-D S5000: combustible destilado intermedio para motores diesel que requieren un combustible con 5.000 ppm en peso (máximo). Es especialmente apropiado para condiciones de velocidad y carga variables. Incluye las categorías de azufre bajo y destilados intermedios del tipo gasóleo con menor volatilidad que el Grado N°1 S5000. Estos combustibles son apropiados para: a) motores diesel que operan a alta velocidad y carga uniforme y b) motores diesel que no requieren combustibles con alta volatilidad u otras propiedades especificadas en el Grado N°1- DS5000.

En el cuadro 13 se presentan los grados de diesel usados en varios países de América Latina, además de los usados en los Estados Unidos (Hart Energy, 2011).

**CUADRO 13**  
**CALIDAD DEL DIESEL EN AMÉRICA LATINA**

| País  | Grado            | Número de Cetano,<br>mínimo | Índice de Cetano,<br>mínimo | Azufre, ppm en<br>peso máximo |
|---|------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Argentina   | Grado 2          | 49                          | 46                          | 2 000/1 500 <sup>a</sup>      |
| Argentina   | Grado 3 (ultra)  | 51                          | 48                          | 10                            |
| Bolivia   | Diesel Oil       | 45                          | 45                          | 5 000                         |
| Brasil  | Diesel B S-1800  | 42                          | 45                          | 1 800                         |
| Brasil  | Diesel B S-500   | 42                          | 45                          | 500                           |
| Brasil  | Diesel B S-50    | 46                          | 46                          | 50                            |
| Chile   | Diesel A         | 50                          | 50                          | 50                            |
| Chile   | Diesel B         | 50                          | 50                          | 50                            |
| República de<br>Colombia  | Corriente        | 43                          | 45                          | 500                           |
| República de<br>Colombia  | Extra            | 45                          | 45                          | 500/50 <sup>b</sup>           |
| Ecuador   | Diesel 2         | -                           | 45                          | 7 000                         |
| Ecuador   | Premium          | -                           | 45                          | 500                           |
| Paraguay  | Tipo I           | 45                          | 45                          | 4 000                         |
| Paraguay  | Tipo II          | 48                          | 48                          | 2 000                         |
| Paraguay  | Tipo III         | 50                          | 50                          | 500                           |
| Perú  | Diesel 2         | 45                          | 40                          | 5 000                         |
| Perú  | B5 S-50          | 40                          | 40                          | 50                            |
| Uruguay   | Gas oil          | 45                          | -                           | 7 000                         |
| Uruguay   | Gas oil especial | 48                          | 48                          | 500                           |
| República<br>Bolivariana de<br>República<br>Bolivariana de<br>Venezuela | Medium           | 43                          | -                           | 5 000                         |

Fuente: Hart Energy, Special Report Latin America: Regional Fuel Quality Overview (focus on South America), July 25, 2011.

<sup>a</sup> En zonas de alta densidad, el valor límite de azufre es de 1.500 ppm en peso.

<sup>b</sup> En las regiones metropolitanas de Bogotá y Medellín el límite de azufre es de 50 ppm en peso para autobuses de transporte público.

## II. EFECTOS DEL CONTENIDO DE AZUFRE EN EL DIESEL

En este apartado se exponen las razones de la reducción del contenido de azufre en el diesel: proteger las partes del motor, garantizar la funcionalidad de los sistemas de control de emisiones y disminuir sus efectos en la salud humana.

Como ya se mencionó, los avances de diseño de los motores diesel para servicio pesado han permitido importantes reducciones de emisiones de PM y NO<sub>x</sub>. Se espera que con los avances tecnológicos más recientes las emisiones disminuyan aun más hasta minimizar su impacto.

### 1. Contenido de azufre y su efecto en las partes del motor

El contenido de azufre en el diesel es una de las fuentes principales de las emisiones de PM porque al quemarse se transforma en partículas de sulfatos que se emiten por el tubo de escape.

La fracción de azufre que se convierte en PM varía en función del diseño del motor, pero los estudios indican que sus emisiones decrecen linealmente con la reducción del contenido de azufre casi en todos los motores (hasta un punto en que el azufre deja de ser la única fuente de generación de PM).

Los depósitos de azufre dañan los inyectores y corroen anillos, pistones y cilindros hasta dejarlos inservibles según la cantidad de azufre acumulada.

Los depósitos de azufre en los inyectores provocan deficiencias de inyección del diesel en la cámara de combustión, provocando pérdidas de combustible de hasta un 15% en recorridos urbanos y de un 5% en carretera, según estudios de la EPA.

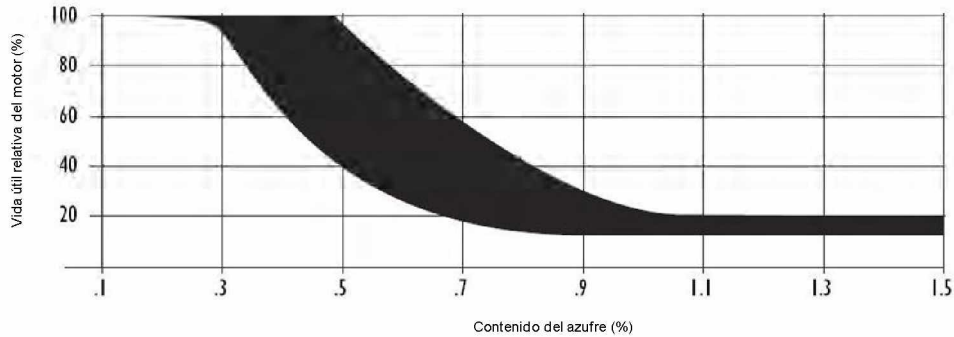
Otro efecto estudiado del depósito de azufre en los inyectores es la pérdida de cerca del 30% de la restricción del flujo del diesel en comparación con un inyector limpio. Se ha determinado que la combustión incompleta del diesel aumenta la emisión de hidrocarburos no quemados en más de 700% y disminuye la potencia del motor en cerca del 22%.

La acumulación de azufre en los inyectores también impone la necesidad de efectuar cambios frecuentes del aceite lubricante del motor para reducir el impacto del dióxido y el trióxido de azufre, SO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub>. En presencia de vapor de agua en los gases de escape, estos óxidos forman ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), el cual corroe las partes lubricadas por el aceite.

Estos efectos del azufre en los motores se traducen en mayores costos de mantenimiento y menor tiempo de vida útil de las unidades.

En el gráfico 8 se ilustra el efecto del azufre en la vida del motor. Se puede observar que su reducción de 5.000 ppm a menos de 1.000 ppm aumenta la vida útil del motor casi en un 60% (PNUMA, 2005).

**GRÁFICO 9  
EFECTO DEL AZUFRE EN LA VIDA ÚTIL DEL MOTOR**



Fuente: PNUMA (2005), "Opening the Door to Cleaner Vehicles in Developing and Transition Countries: The Role of Lower Sulphur Fuels", diciembre.

## 2. Contenido de azufre y su efecto en los sistemas de control de emisiones

La promulgación de estándares de emisiones más estrictos para los vehículos diesel livianos y pesados de carga y pasajeros obligó a la industria de la refinación a producir combustibles con menor contenido de azufre.

El primer paso fue reducirlo de un 0,3% (3.000 partes por millón) a un límite máximo de 0,05% (500 parte por millón). La razón del cambio fue la incorporación de sistemas de control para reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).

La tecnología aplicada a nivel mundial es la Recirculación de los Gases de Escape (EGR), cuya función es recircular los gases al sistema de admisión del motor, lo que reduce la temperatura de combustión y, por tanto, la formación de NO<sub>x</sub>.

La válvula de control del sistema *EGR* es corroída por el combustible de alto contenido de azufre. Por eso no se puede instalar en motores de modelo antiguo.

Esta tecnología se aplicó inicialmente a los vehículos diesel que cumplen los estándares EPA04 y Euro III, y se ha seguido utilizando.

Los filtros de partículas, cuya función es reducir las emisiones de material particulado (PM), capturan los gases de combustión del motor en un dispositivo de cerámica, de modo que el azufre puede oxidarse y formar sulfatos que son medidos como PM.

Los filtros de partículas están diseñados para operar con diesel con contenido máximo de azufre de 15 ppm. Con diesel de 350 ppm como valor máximo, el resultado es un aumento de las emisiones de PM en un 29%.

Existen dos tipos de filtros de partículas: filtros de partículas de regeneración continua y filtros de partículas catalizadas. Ambas tecnologías permiten reducir el PM en más de un 95%. Para lograr esta disminución se requiere un contenido de azufre menor a 15 ppm. Un contenido de azufre de 30 ppm



disminuiría la eficiencia del filtro en un 73%; con 150 ppm, la eficiencia del filtro es cercana a cero, y con 350 ppm las emisiones se incrementan en un 100% (Thijssen, 2004).

Otra tecnología empleada para la reducción de  $\text{NO}_x$  son los catalizadores de oxidación, especialmente en motores con combustible pobre pero en condiciones ambientales muy oxigenadas. En tales condiciones, un contenido de azufre de 15 a 350 ppm ocasiona que los sulfatos formados en la combustión sean absorbidos por los sitios activos del catalizador. Este proceso bloquea la absorción de los  $\text{NO}_x$  e HC y deteriora el dispositivo, lo cual reduce su capacidad de eliminación en un 20%.

### 3. El azufre y su efecto en la salud

La combustión de los motores diesel genera los siguientes contaminantes:

- a) Monóxido de carbono (CO)
- b) Material particulado (PM por sus siglas en inglés)
- c) Óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ )
- d) Óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ )
- e) Hidrocarburos no quemados (HC)

Un litro de diesel consumido en un motor produce 30 gramos de CO, 35 gramos de HC, 1,7 gramos de PM y ocho gramos de  $\text{NO}_x$ .

Cada uno de estos contaminantes tiene efectos propios en la salud humana según su grado de concentración en el aire atmosférico y el tiempo de exposición a ellos.

Los contaminantes de los motores diesel más nocivos para la salud humana son los PM y los  $\text{NO}_x$ .

Con relación a las partículas, los primeros estudios evaluaban las concentraciones totales emitidas. Con el paso del tiempo se determinó que también es muy importante cuantificar su tamaño. Así se decidió determinar primero las menores a 10 micrones y posteriormente las menores a 2,5 micrones.

Estos cambios obedecieron a que las partículas de menor tamaño se introducen por el tracto respiratorio y se depositan en los alvéolos pulmonares, lo que ocasiona una diversidad de afecciones respiratorias.

Entre los efectos conocidos de las partículas de tamaño menor a 2,5 micrones se pueden citar:

- a) Incremento de la mortalidad por problemas cardiacos y pulmonares.
- b) Aumento de los caso de bronquitis crónica.
- c) Incremento de los ataques de asma.
- d) Incremento de los casos de cáncer.
- e) Se ha estimado que el costo de salud derivado de la contaminación ocasionada por los vehículos puede ser cercano al 2% del PIB mundial (VBD Automotive Technologies, 2010).

Las emisiones de partículas de los motores diesel son muy pequeñas; se ha determinado que más del 90% de ellas presentan un tamaño menor a una micra, lo que las hace fácilmente respirables.

Estas partículas contienen cientos de agentes químicos adheridos a su superficie. Algunos de ellos son conocidos carcinogénicos y otros son considerados mutagénicos potenciales. Además, la fase gaseosa de los contaminantes emitidos contiene muchos irritantes y productos tóxicos.

Los  $\text{NO}_x$  son precursores del ozono atmosférico, el cual se forma como resultado de reacciones químicas con otros agentes de la fase gaseosa de la combustión, los cuales son catalizados por la luz ultravioleta del sol.

En términos generales, los estudios epidemiológicos de muchos países indican que el riesgo de contraer cáncer pulmonar es de 1,2 a 1,5 veces mayor en las personas expuestas a las emisiones de los motores diesel (Zhang, 2010).

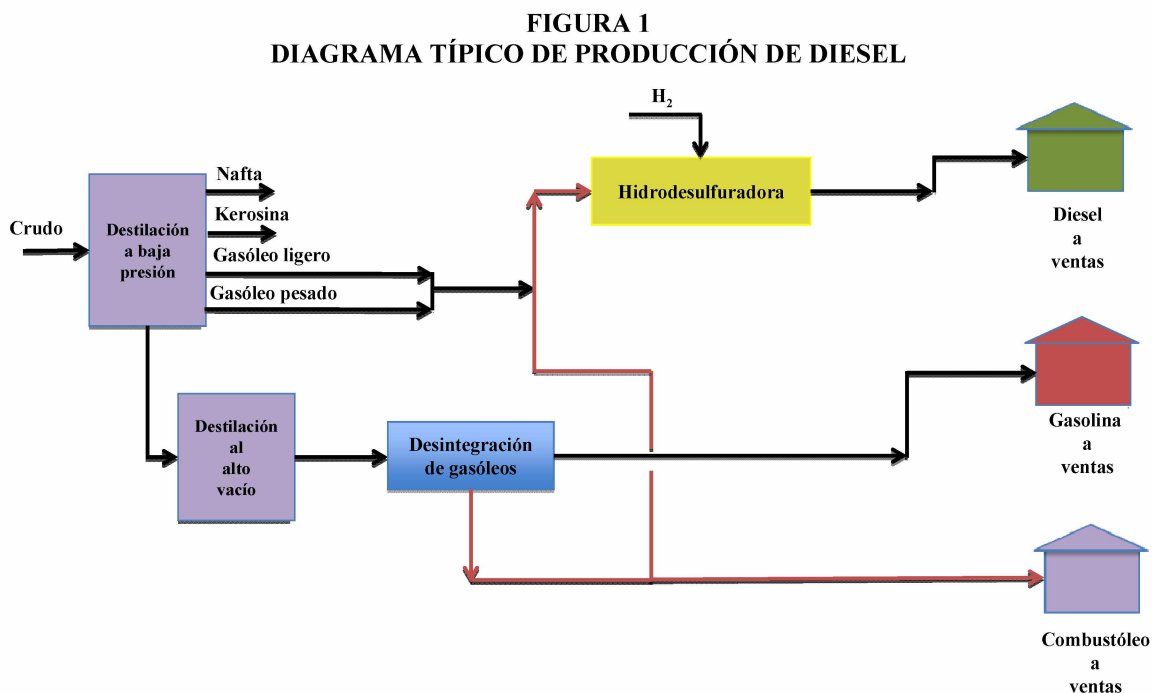
### III. PRODUCCIÓN DE DIESEL EN LAS REFINERÍAS

En este apartado se presentan las rutas tecnológicas de las refinerías para reducir el azufre del diesel. Se incluyen las magnitudes de las inversiones requeridas para alcanzar los niveles de azufre deseados.

#### Procesos de refinación en la producción de diesel

La calidad del diesel producido en refinerías está en función de dos factores: la calidad del crudo procesado y las características de diseño de la planta que eliminan el azufre contenido en el flujo de la materia prima.

En la figura 1 se presenta un diagrama típico de la producción y mezclado de diesel en una refinería (Rodríguez Otal, 2006).

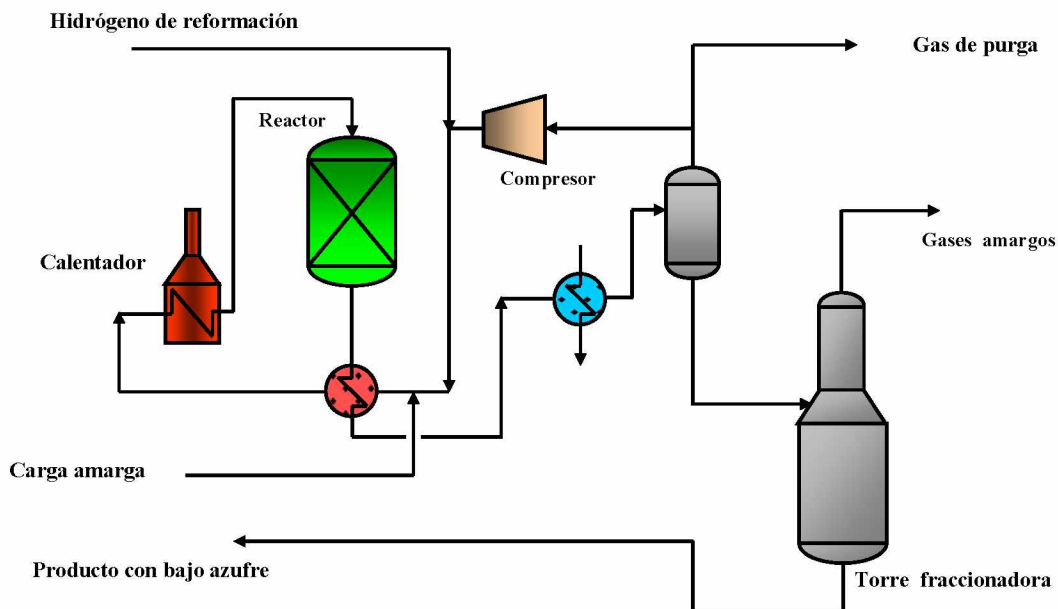


Fuente: Rodríguez Otal, Luis M., *Día del Diesel*, Asociación Mexicana de la Industria Automotriz, mayo de 2006.

Al referirse a las unidades hidrodesulfuradoras de destilados intermedios (aquellas dedicadas a la eliminación de compuestos de azufre, nitrógeno y de algunos metales en el *jet fuel* y el diesel), sus características de diseño determinan la calidad del diesel deseada, entre mayor es el contenido de azufre, las condiciones de operación serán menos severas, así como las exigencias de desempeño del catalizador.

En la figura 2 se muestra el diagrama simplificado de una planta hidrodesulfuradora de destilados intermedios (Rodríguez Otal, 2006).

**FIGURA 2**  
**DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE UNA PLANTA HIDRODESULFURADORA**  
**DE DESTILADOS INTERMEDIOS**



Fuente: Rodríguez Otal, Luis M., *Día del Diesel*, Asociación Mexicana de la Industria Automotriz, 2006.

La función de una unidad hidrodesulfuradora es eliminar contaminantes presentes en la carga, los cuales producen contaminación cuando el diesel se quema en los motores. A continuación se describen estos compuestos indeseados:

- a) Azufre, nitrógeno y aromáticos. Cuando éstos se queman en el motor producen  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ , material particulado (PM) e hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAH o PNA por sus siglas en inglés).
- b) Los hidrocarburos indeseables en la carga de alimentación (aromáticos y olefinas) afectan la calidad del diesel. Los primeros disminuyen el cetano y el punto de humo (*smoke point*), y las segundas deterioran la estabilidad en la oxidación.

La eliminación de estos contaminantes se lleva a cabo en presencia de un catalizador, hidrógeno y temperatura. En la figura 3 se ilustran en forma simplificada las reacciones que suceden (Criterion Catalysts & Technologies, 2009):

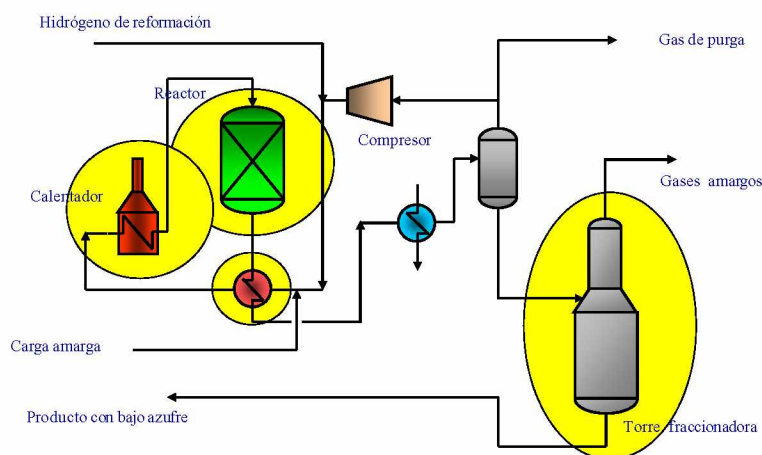
**FIGURA 3**  
**REACCIONES PRODUCIDAS EN LA HIDRODESULFURADORA**

|                           |   |  |
|---------------------------|---|--|
| ✓Eliminación de azufre    | → | H <sub>2</sub> S   |
| ✓Eliminación de nitrógeno | → | NH <sub>3</sub>  |
| ✓Saturación de aromáticos | → | Naftenos   |
| ✓Saturación de olefinas   | → | Parafinas  |
| ✓Reducción de carbón      | → | Carbón en el catalizador, reacciones de craqueo y saturación |
| ✓Eliminación de metales   | → | Depósito en el catalizador                                   |

Fuente: Criterion Catalysts & Technologies L.P. (2009), Distillate Hydroprocessing Seminar, junio.

Las restricciones más comunes para modificar las unidades de producción de diesel de 500 o 15 ppm se ilustran en la figura 4, encerradas en círculos de color amarillo (Rodríguez Otal, 2005).

**FIGURA 4**  
**RESTRICCIONES DE PLANTAS HIDRODESULFURADORAS DE DESTILADOS INTERMEDIOS**



Fuente: Rodríguez Otal, Luis Miguel (2005), "XLV Convención Nacional de Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos", Mérida, Yucatán, octubre.

Es necesario disponer de un sistema de tratamiento del hidrógeno para mantener su pureza; la corriente descendente deberá contar con un sistema de tratamiento de los gases amargos. Éstos contienen ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) y son absorbidos primero por un sistema basado en aminas y posteriormente son enviados a una unidad recuperadora de azufre, donde se obtiene azufre sólido o líquido como subproducto.

Las condiciones típicas de operación de estas unidades se ilustran en el cuadro 14 (Robinson, 1007).

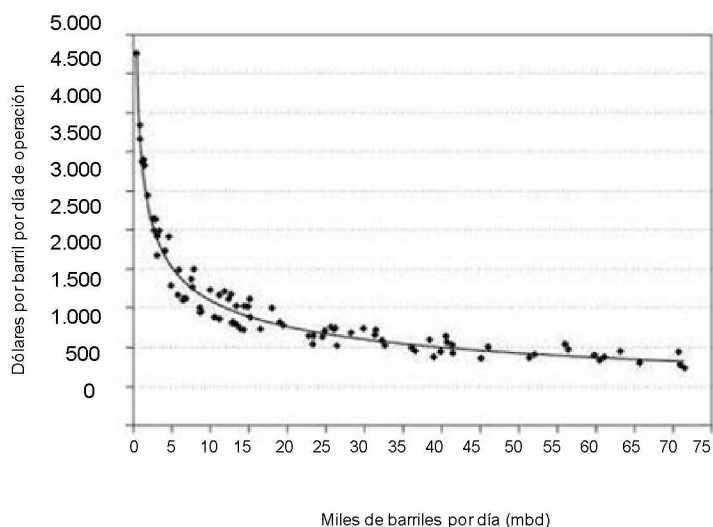
**CUADRO 14**  
**CONDICIONES TÍPICAS DE OPERACIÓN DE LAS HIDROTRATADORAS**

| Proceso                        | Temperatura de reacción<br>(°C) | Presión de operación<br>(barg) | Relación de $H_2$ /aceite<br>( $M^3/m^3$ ) |
|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--|
| Hidrotratamiento de destilados | 260 a 400                       | 14 a 56                        | 80 a 140                                   |
| Hidrotratamiento de gasóleos   | 345 a 425                       | 70 a 175                       | 210  |
| Hidrotratamiento de residuos   | 345 a 425                       | 140 a 210                      | ➤ 525                                      |

Fuente: Robinson R. Paul y Dolbear E. Geoffrey (2007), "Hydrotreating and Hydrocracking Fundamentals".

En el gráfico 8 se presentan los montos de inversión estimados para plantas de diferentes capacidades (sólo se consideran las inversiones en el límite de suministro, Inside Batery Limits, ISBL), según los estudios de la EPA para la reducción del contenido de azufre de 500 a 15 ppm. A estos montos se deberá sumar el costo de las instalaciones externas como son los servicios de agua, vapor y energía eléctrica, los de la capacidad adicional para producir hidrógeno y las inversiones de la planta recuperadora de azufre (EIA, 2001).

**GRÁFICO 10**  
**MONTO DE INVERSIÓN EN PLANTA DE HIDROTRATAMIENTO (ISBL)**



Fuente: Tomado de la Energy Information Administration (EIA) 2001, *The Transition to Ultra Low Sulphur Diesel Fuels Effects on Prices and Supply*, mayo.

#### IV. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES PARA REDUCIR EL AZUFRE DE DIESEL EN EL SALVADOR, GUATEMALA, HONDURAS Y NICARAGUA

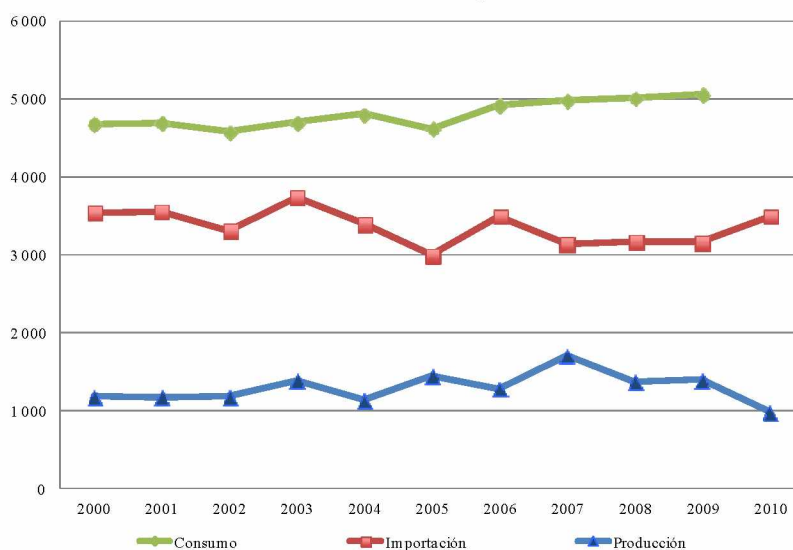
En este capítulo se describe la problemática de la reducción del contenido de azufre del diesel automotriz en términos del proceso productivo, marco regulatorio de emisiones vehiculares y de contaminación atmosférica, situación de la oferta y la demanda y efectos del combustible en los automotores nuevos. A partir de esta información se emitirán las recomendaciones para llevar a cabo el cambio de la calidad del combustible.

##### 1. El Salvador

###### a) Evolución de la producción, oferta y demanda de diesel <sup>4</sup>

En el gráfico 11 se muestran los volúmenes de producción y las importaciones de diesel automotriz en El Salvador en el período 2000–2010.

**GRÁFICO 11**  
**EL SALVADOR: EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN E IMPORTACIÓN DE DIESEL, 2000-2010**  
(En miles de barriles por año)



Fuente: CEPAL, sobre la base de cifras oficiales.

En el período 2000-2010, el consumo promedio diario de diesel del país fue del rango de 12.900 a 13.900 barriles por día (MBDC). De este total, entre el 62% y el 74% fue destinado a uso automotriz; entre el 22,5% y el 40,8% fue destinado a generación de energía eléctrica e industria, mientras que los otros servicios consumieron entre 2,4% y 3,3%.

<sup>4</sup> Véase Rodríguez N., 2011.

Desde el punto de vista del balance de oferta y demanda del combustible, las importaciones contabilizaron entre el 64,8% y el 75,2% del total. La diferencia fue suministrada por la refinería existente en el país.

Como se puede observar, la mayor proporción del diesel consumido en el país es importada. Al ritmo de crecimiento de la demanda nacional, la producción de la refinería local es cada vez menos significativa.

La composición de la procedencia de las importaciones es la siguiente: el 68,6% de los Estados Unidos, el 23,4% de República Bolivariana de Venezuela y el 8% de República de Colombia, Corea y Nicaragua.

Ya que el mayor porcentaje proviene de los Estados Unidos, la disminución del contenido de azufre en la proporción indicada no sería obstáculo, pues el principal país proveedor ya concluyó el proceso de sustitución. Más aun, ahora está en el proceso de reducir el contenido de azufre del diesel no automotriz de 500 a 15 ppm, meta programada para fines de 2012. El único combustible con 500 ppm de azufre permitido es el de calefacción (*heating oil*), el cual se sigue empleando en hogares y calderas de hoteles, hospitales, restaurantes y clubes deportivos.

#### **b) Suministro del combustible importado**

El suministro de diesel en El Salvador es atendido por las siguientes empresas: Puma (36%), ALBA Petróleo (19%), Chevron (27%) y Unopetrol (18%).

ALBA y RASA (Refinería Petrolera Acajutla) tienen limitaciones para cambiar la calidad del diesel de 5.000 a 500 ppm, lo que afectaría sus balances en las siguientes magnitudes: cerca de un 40% de reducción de la oferta y una pérdida de valor del orden de 65 millones de dólares, según la Comisión Nacional de Energía.

La Dirección Reguladora de Hidrocarburos y Minas del Ministerio de Economía de El Salvador estima que el cambio tendría un costo incremental del orden de 2,1 centavos de dólar por galón (0,88 dólares por barril a precios de 2009), lo que en términos anualizados representaría alrededor de 4,01 millones de dólares (CNE, 2010).

#### **c) Esquema de producción nacional de diesel**

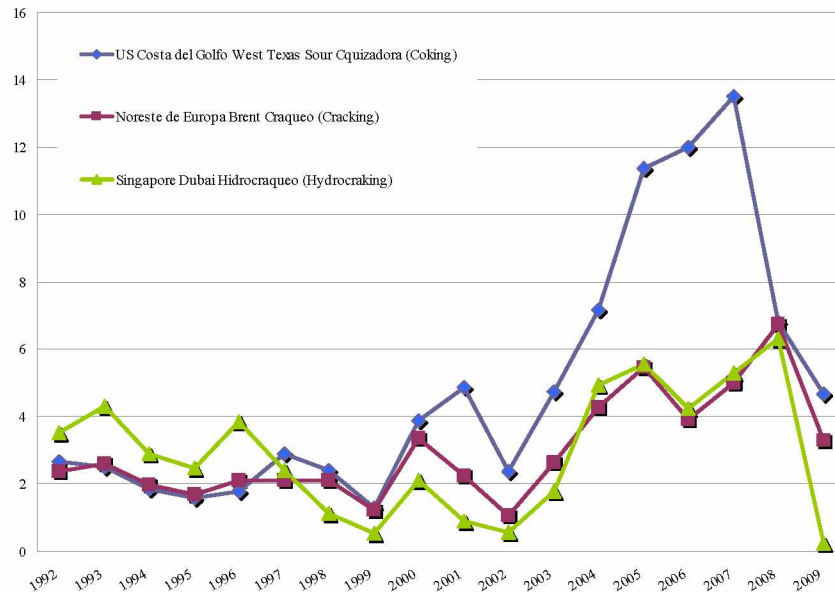
La capacidad promedio de procesamiento de crudo de la Refinería Petrolera Acajutla (RASA) fue de 16.000 bpd en 2010. La composición de los crudos procesados es la siguiente: 11,3% de crudo Olmeca (México, 38–39 °API, 0,73-0,95% de azufre), 12,5% de crudo Istmo (México, 32–33 °API, 1,8% de azufre), 69,6% de crudo Oriente (Ecuador, 24,1 °API, 1,5% de azufre), 0,5% de crudo Roncador (Brasil) y 6,1% de Naftas.

La configuración o estructura de procesamiento de la refinería es del tipo sencillo o *hydroskimming*. Considerando la canasta de crudos procesada y la calidad de los productos obtenidos, su margen de refinación es cercano al balance, tendiendo a negativo según el nivel del precio del crudo.



En el gráfico 10 se muestra la evolución de los márgenes de refinación de diferentes tipos de crudos en refinerías de configuraciones más complejas en la costa norteamericana del Golfo, el noroeste de Europa y Singapur. A mayor complejidad de la configuración, mayor el margen de refinación (BP, 2010).

**GRÁFICO 12**  
**MÁRGENES DE REFINACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE CRUDO Y CONFIGURACIONES, 1992-2009**  
*(Miles de barriles por año)*



Fuente: CEPAL, sobre la base de cifras oficiales.

La producción promedio de diesel de la Refinería RASA fue de 2.700 bpd en 2010, la cual corresponde a un rendimiento líquido por barril de crudo cercano al 17%.

En suma, para producir diesel con el contenido de azufre deseado, la refinería de Acajutla requeriría inversiones más cuantiosas que las que se requerirían para construir una nueva refinería con mayor capacidad de procesamiento y mayor complejidad.

#### d) Características de la unidad hidrodesulfuradora de diesel <sup>5</sup>

La refinería de Acajutla cuenta con una unidad hidrodesulfuradora de diesel cuya capacidad instalada es de 7,5 MBD. La materia prima que procesa es gasóleo ligero obtenido de la unidad de destilación atmosférica. Sus características se describen en el cuadro 15:

<sup>5</sup> Véase Rodríguez N., 2011.

**CUADRO 15**  
**CARACTERÍSTICAS DE UNIDAD HIDRODESULFURADORA**

| Características, unidades     | Valor         |
|-------------------------------|---------------|
| Rango de destilación, °C      | 200-370       |
| Azufre, % en peso             | 0,87          |
| Aromáticos, % en volumen      | 25            |
| Metales, ppm en peso          | Nulo          |
| Nitrógeno total, % en peso    | 0,2           |
| Nitrógeno básico, % en peso   | 0,1           |
| Nitrógeno orgánico, % en peso | No se reporta |
| Densidad, °API                | 35            |

Fuente: British Petroleum (2010), "Statistical Review of World Energy", junio.

La refinería fue diseñada en los años sesenta y opera a baja presión (14-15 kg/cm<sup>2</sup>g-, temperatura de 315 °C a 340 °C, calidad de hidrógeno del 60% al 70% en volumen y poca velocidad).

Para producir diesel de la calidad deseada, la planta necesita incrementar el volumen del catalizador, la pureza del hidrógeno y la presión de operación en unos 60 kg/cm<sup>2</sup>. Tales cambios son mayores, prácticamente equivalentes a la ingeniería básica y de detalle de una nueva planta. Hay que considerar además que sería necesario instalar unidades de flujo descendente para tratar el gas ácido producido (H<sub>2</sub>S), una planta recuperadora de azufre e instalaciones de agua de enfriamiento, energía eléctrica y de generación de vapor.

#### e) **Marco regulatorio de emisiones vehiculares y contaminación atmosférica**

Respecto de la normatividad de las emisiones, el país cuenta con la Norma NSO 13.11.03:01 (Emisiones Atmosféricas de Fuentes Móviles), la cual establece los niveles de emisiones y ruido para vehículos con motor de gasolina y diesel con dos períodos de aplicación, antes del 1 de enero de 1998 y el segundo posterior a esta fecha (CONACYT, 2007a).

La autoridad responsable del cumplimiento de esta norma es el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARN), con facultad de establecer límites más estrictos, entre ellos la medición de emisiones de NO<sub>x</sub> a fin de determinar sus límites máximos permitidos.

Considerando que la mayor parte de los vehículos importados usados tienen sistemas de control de emisiones obsoletos, es recomendable introducir la obligación de que éstos cumplan la norma de nivel máximo de emisiones, bien sea certificado por la autoridad del país exportador o por la autoridad local.

El Gobierno de El Salvador proyecta promulgar una norma de niveles máximos de emisiones de fuentes fijas, es decir, las emisiones de establecimientos industriales y de otro tipo, la NSO 13.11.02:11 (Emisiones Atmosféricas de Fuentes Fijas), pero aún no se define el inicio de su vigencia ni el calendario de revisión periódica (CONACYT, 2007b).

El Salvador dispone de un sistema de monitoreo de calidad del aire, mediante el cual se ha determinado que la principal fuente de emisiones PM<sub>10</sub> es el transporte público con el 51% del total generado (MARN, 2010).

Con base en estos datos, el MARN ha determinado que la presencia de  $PM_{10}$ , está causando efectos adversos en la salud de la población: mortalidad de adultos, bronquitis aguda en menores de 15 años, bronquitis crónica en adultos, incremento de admisiones hospitalarias por afecciones respiratorias y aumento de accesos de asma, todo lo cual redundando en pérdida de días laborales y escolares también.

La autoridad está revisando y actualizando las estimaciones de costos derivados de la contaminación atmosférica, por lo que no se consideró conveniente citarlos en este documento.

Estudios realizados por organizaciones independientes recomiendan reducir el contenido de azufre del diesel en la proporción aquí propuesta, renovar el parque vehicular, incorporar autobuses del tipo BRT (*Bus Rapid Transit*) para transporte urbano de pasajeros y descongestionar las vías de mayor tránsito.

Todas las acciones anteriormente descritas deberán ser reforzadas por un programa de inspección y mantenimiento permanente para verificar el cumplimiento de las normas de emisiones.

**f) Efectos de la calidad del diesel en los vehículos según la Asociación Salvadoreña de Distribuidores de Vehículos (ASALVE)**

Los representantes de ASALVE afirman que algunas empresas fabricantes de vehículos no permiten la comercialización de sus unidades en el país por la calidad del diesel, en particular por su contenido de azufre.

La mayoría de los distribuidores ha detectado deterioro de inyectores y de bombas de inyección de combustible, así como cambio frecuente del aceite del motor y del tubo de escape. Aun los vehículos nuevos emiten humo negro, cuyo resultado es mayor contaminación atmosférica y deterioro de la salud, además del mal funcionamiento del motor, lo que aumenta los costos de mantenimiento en detrimento de la economía de sus dueños.

ASALVE y la Federación de Asociaciones de Distribuidores y Concesionarios de Vehículos de Centroamérica y el Caribe (FEDICAR) han solicitado a los gobiernos de los países objeto de este estudio reducir el contenido de azufre en el diesel de 5.000 a 500 partes por millón.

Otra solicitud suya es que la nueva norma de calidad del diesel incluya un valor máximo de lubricidad del combustible de 520 micrones y un índice de Cetano mínimo de 40 (Véase Rodríguez N., 2011b).

**g) Situación de la infraestructura de importación y comercialización del diesel**

En El Salvador hay cuatro empresas dedicadas a la importación de hidrocarburos: PUMA, ALBA Petróleo, UNO Petrol y Chevron. Se sostuvieron reuniones con representantes de ellas para conocer las características de la infraestructura de importación del producto.

Al respecto informaron que manejar calidades diferentes de diesel en las terminales no es factible, además de que cada estación de servicio dispone de un solo tanque para despacharlo.

También indicaron que las negociaciones con las empresas abastecedoras de combustible tomarían un año como máximo, pero solicitaron que la especificación del contenido de azufre y cetano en

el diesel se homologue con la de la costa del Golfo de México. La norma vigente no considera esta homologación.

#### **h) Implicaciones del cambio de calidad del diesel**

A continuación se describen las implicaciones y recomendaciones para llevar a cabo el cambio de la calidad del diesel en el país:

i) Reanudación de las actividades del Subgrupo Técnico de Registros de Hidrocarburos (STRH) mediante la convocatoria del Consejo de Ministros de Integración Económica (COMIECO).

ii) Asignar al STRH la tarea prioritaria con fecha límite de revisar, actualizar y homologar las especificaciones del RTC con las vigentes en la costa del Golfo de México.

iii) Se recomienda establecer una fecha para iniciar la introducción del diesel de 500 ppm, reforzada por una campaña publicitaria sobre sus beneficios ambientales y de salud.

iv) El proceso para la limpieza de los sistemas de almacenamiento, distribución y comercialización se puede realizar en seis meses como máximo (en estaciones de servicio tomaría menos tiempo), a partir de la definición de la fecha de introducción del nuevo tipo de diesel.

v) Considerando que la refinería nacional solo abastece cerca del 10% del mercado, su producción será rebasada por el crecimiento demanda. Por ello es necesario hacer los estudios para definir si es rentable invertir en su modernización o cerrar su operación.

vi) Revisar, actualizar, publicar y aplicar la Norma NSO 13.11.03:01 (Emisiones Atmosféricas, Fuentes Móviles) aplicable a motores de gasolina y diesel. En particular, establecer los períodos de verificación obligatorios de los vehículos en circulación. Para las unidades usadas importadas será necesario definir su máximo nivel de emisiones y evitar la introducción de unidades altamente contaminantes al país.

vii) Continuar el monitoreo de la calidad del aire atmosférico e identificar las fuentes emisoras de PM10 y PM2.5 en cada región.

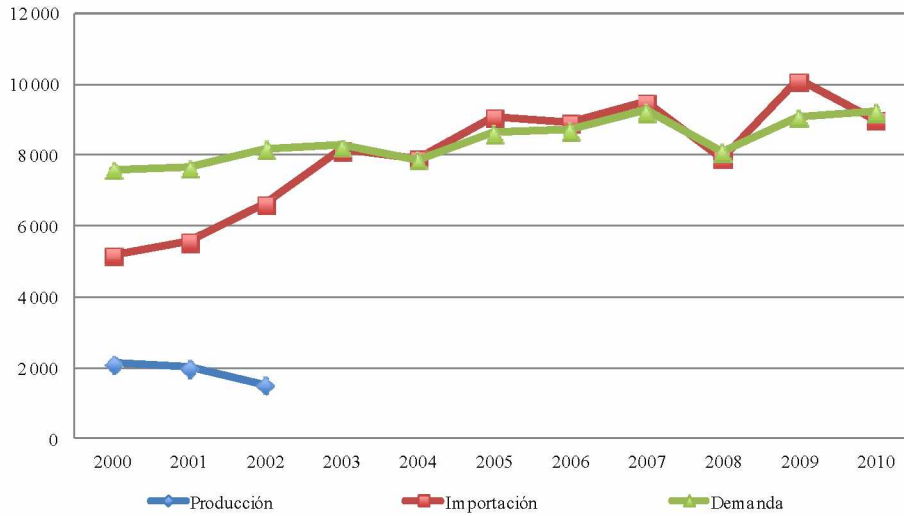
viii) Actualizar y validar la información de los costos de salud causados por la contaminación atmosférica, así como los del incremento del precio final del diesel.

## **2. Guatemala**

#### **a) Evolución de la oferta, la demanda y las importaciones de diesel**

Guatemala carece de capacidad de refinación propia; todo el combustible que consume es importado: el 64% de la costa del Golfo de México y el 36% restante de República Bolivariana de Venezuela y otros. El gráfico 13 muestra la evolución de sus importaciones, producción y demanda de diesel (Véase Rodríguez N., 2011d).

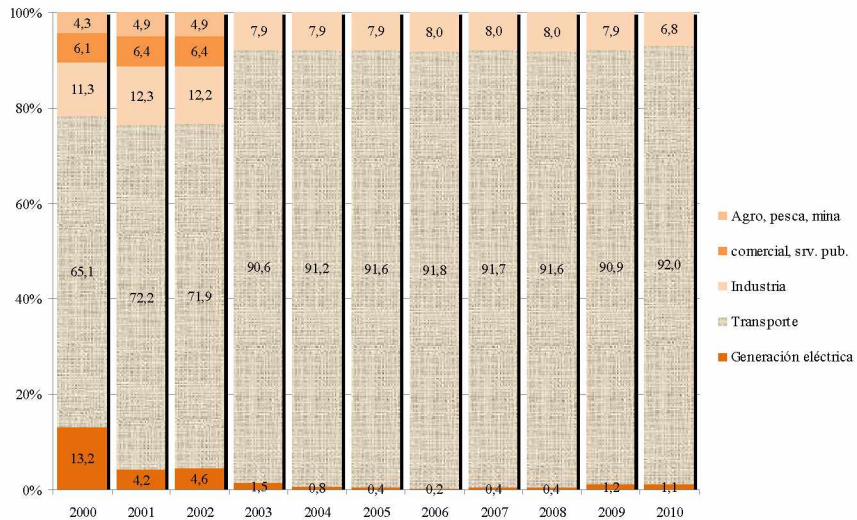
**GRÁFICO 13**  
**GUATEMALA: EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN, DEMANDA E IMPORTACIÓN**  
**DE DIESEL, 2000-2010**  
*(Miles de barriles por año)*



Fuente: CEPAL, sobre la base de cifras oficiales.

La distribución del consumo de diesel por sectores se muestra en el gráfico 14. En el período 2000–2010, la demanda total presentó una tasa media de crecimiento anual del 2%, mientras que el de transporte creció un 3,5%. El diesel para transporte representa la proporción mayor. En el mismo período pasó del 65% al 92%.

**GRÁFICO 14**  
**DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO DE DIESEL POR SECTORES, 2000-2010**



Fuente: Elaboración propia, sobre la base del SIIE de OLADE.

**b) Regulación de emisiones y de calidad del aire <sup>26</sup>**

Guatemala emitió en 1993 un reglamento que establece los límites máximos de emisiones contaminantes de fuentes fijas y móviles. Dicho reglamento fue derogado por múltiples reclamos de partes interesadas.

Se consideraba que la autoridad debe exigir a los propietarios de vehículos un certificado de emisiones contaminantes, al momento de dar de alta los vehículos ante el Sistema de Administración Tributaria (SAT). La autoridad de medio ambiente tiene estimaciones prospectivas de las emisiones de fuentes móviles con horizontes a los años 2025 y 2050, información que se ofreció proporcionar pero al momento de redactar este informe no había sido recibida.

Guatemala cuenta con estaciones fijas y móviles para monitorear la calidad del aire, para lo cual tiene apoyo de las facultades de ingeniería, ciencias químicas y de farmacia de la universidad estatal, así que el inventario de emisiones tiene cierto detalle.

Las autoridades de medio ambiente manifiestan preocupación por las emisiones de PM. Sus estimaciones indican que la reducción del contenido de azufre del diesel disminuiría la contaminación del aire atmosférico.

Las autoridades también han realizado evaluaciones económicas de los efectos de los contaminantes en la salud de la población expuesta. Las partículas PM resultan ser las de mayor impacto. Funcionarios del Ministerio de Salud informan de la existencia de denuncias ante el Ministerio Público por daños a la salud causados por contaminación atmosférica, en particular por PM, por lo que se dispone de elementos para apoyar una política de cambio de calidad del diesel, fuente principal de este contaminante.

La información respectiva no fue entregada al momento de redactar este informe.

**c) Importadores y distribuidores de combustible <sup>6</sup>**

Los importadores y distribuidores de combustible de Guatemala, Shell, Chevron, Esso Standard Oil Ltd., Blue Oil, Puma y UNO Petrol, agrupados en la organización gremial de energía e hidrocarburos, coinciden en la necesidad de disminuir el azufre del diesel y homologar la especificación con la de Platt's en la costa del Golfo de México.

También coinciden en que el cambio debe ser regional porque el combustible es entregado por un solo tanquero en toda Centroamérica. Tener una sola calidad regional resultaría más económico que tener varias especificaciones.

Con relación al tiempo necesario para sustituir la calidad del diesel, las empresas indican que será necesario un año máximo a partir de la publicación de la norma en el RTC.

---

<sup>6</sup> Véase Rodríguez, N. (2011e).

**d) Importadores y distribuidores de vehículos**

La Asociación de Importadores y Distribuidores de Vehículos Automotores (AIDIVA) expresa que los efectos de la calidad del diesel son iguales para todos los vehículos de la región, posición que han manifestado ante la Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas. Fue entregado un documento con sus argumentos para la mejora de la calidad del diesel en el mercado centroamericano (ASTM).

**e) Recomendaciones para el cambio de la calidad del combustible**

Ya que la totalidad del diesel consumido en Guatemala es importado, el proceso de cambio de su calidad sería relativamente sencillo. Algunas de las recomendaciones enlistadas a continuación coinciden con las expresadas en páginas anteriores, es decir, son comunes para la región centroamericana:

i) Reanudación de las actividades del Subgrupo Técnico de Registros de Hidrocarburos (STRH) mediante la convocatoria del Consejo de Ministros de Integración Económica (COMIECO).

ii) Asignar al SRTH la tarea prioritaria con fecha límite de revisar, actualizar y homologar las especificaciones del RTC con las vigentes en la costa del Golfo de México.

iii) Una vez que la nueva norma de calidad del diesel sea publicada, definir la fecha de inicio de su aplicación, concediendo una prórroga máxima de 12 meses para crear las condiciones necesarias.

iv) Publicación y aplicación de los reglamentos de las emisiones de fuentes móviles con horizontes específicos para cada conjunto de contaminantes según el combustible, gasolina o diesel.

v) Determinar y/o actualizar los costos de salud derivados de las emisiones PM de motores diesel como soporte para la toma de decisión del cambio de calidad del combustible.

vi) Actualizar el inventario de emisiones por contaminantes y fuentes y decidir las acciones para reducirlas y minimizar su impacto en la salud de la población.

vii) Antes del cambio de la calidad del diesel, realizar una estrategia de comunicación pública y privada sobre sus beneficios ambientales, de desempeño de los vehículos y de salud para hacer aceptable el aumento del precio, mismo que deberá ser estimado por la Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas.

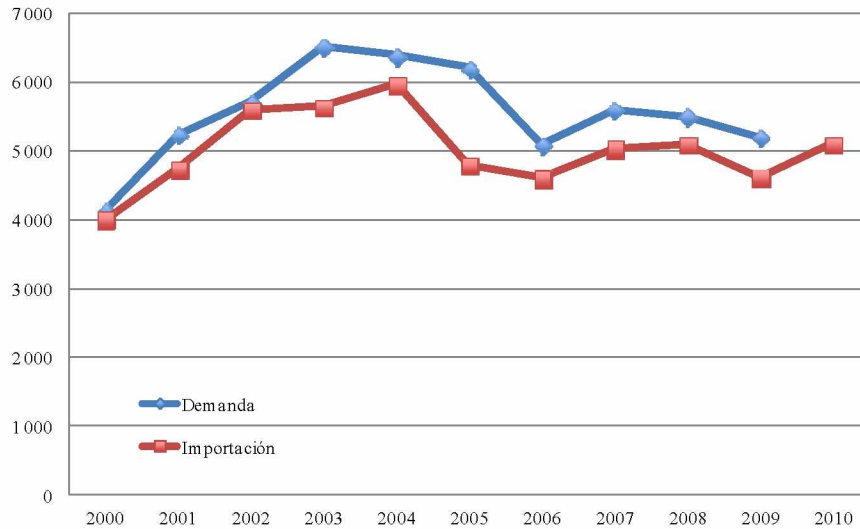
### **3. Honduras**

**a) Evolución de la oferta, la demanda y las importaciones**

Al igual que Guatemala, Honduras carece de infraestructura para producir combustible. La totalidad del diesel consumido en el país es importado y proviene de la costa del Golfo de México.

En el gráfico 15 se muestran los volúmenes de las importaciones y la demanda del combustible diesel.

**GRÁFICO 15**  
**HONDURAS: EVOLUCIÓN DE LA OFERTA Y LAS IMPORTACIONES DE DIESEL, 2000-2010**  
*(Miles de barriles por año)*



Fuente: CEPAL, sobre la base de cifras oficiales.

La tasa media de crecimiento anual de la demanda total de diesel en el período 2000-2009 aumentó en un 2,6%, mientras que la del transporte fue de 3,3%, la mayor tasa en comparación con los sectores de generación de energía eléctrica, construcción y minas, comercio y servicios públicos.

#### b) Marco regulatorio de emisiones vehiculares y calidad del aire

Honduras no tiene aún una norma de emisiones de fuentes móviles y fijas, pero tiene un Plan Nacional para la Gestión de la Calidad del Aire (PNGCA), elaborado por el Centro Mario Molina, el Banco Mundial, la Iniciativa de Aire Limpio (*Clean Air Initiative*), el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) (CMM, 2009).

A través del PNGCA se han realizado varias campañas de monitoreo de la calidad del aire, las cuales han determinado que las emisiones de vehículos de gasolina y diesel son factores decisivos del deterioro de la calidad del aire. Respecto de los vehículos diesel se citan las emisiones de PST,  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ .

Honduras no cuenta con normas de calidad del aire para la protección de la salud, sólo tiene una red de monitoreo cuyas condiciones son inapropiadas, a lo que se suma la deficiencia de personal calificado para su operación. La información aquí utilizada proviene de las campañas de monitoreo de la contaminación atmosférica realizadas entre 1993 y 2004.

Estas mediciones determinaron que las Partículas Suspendidas Totales (PST) exceden de 6,9 a 9,3 veces los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), cuyo valor máximo permisible es 75  $\mu g$  por metro cúbico.



Las partículas menores a 10 micras ( $PM_{10}$ ) se sitúan entre 1,2 y 3,8 veces por arriba del límite máximo permisible (50  $\mu\text{g}$  por metro cúbico). Con respecto a la  $PM_{2.5}$  no se dispone de datos, por lo que el PNGCA recomienda determinarlas a la brevedad posible dados sus efectos nocivos en la salud.

Respecto del Bióxido de Nitrógeno ( $NO_2$ ), los datos registrados lo ubican por debajo de la norma (40  $\mu\text{g}$  por metro cúbico). Sobre la presencia de ozono ( $O_3$ ) se registra una situación similar.

Los costos asociados a la contaminación atmosférica equivalen a cerca del 0,6% del PIB. Las estimaciones arrojan cifras del orden de 973 millones de lempiras anuales, equivalentes a 521.621 millones de dólares (tasa de cambio a diciembre de 2007, paridad de 18,89 lempiras por dólar) (Centro Mario Molina, 2009).

Con respecto a las fuentes móviles, el Acuerdo N° 000719, denominado “Regulación de las Emisiones Contaminantes y Humo de los Vehículos Automotores”, emitido el 11 de octubre de 1999 y publicado el 13 de enero de 2000 en la Gaceta del Diario Oficial, establece los límites máximos permisibles de emisiones para vehículos de gasolina y diesel, sin que a la fecha se haya aplicado.

Los objetivos del PNGCA para las fuentes móviles son los siguientes:

- i) Reducir las concentraciones de los contaminantes atmosféricos, principalmente las partículas respirables  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  y ozono.
- ii) Contribuir a reducir la tasa de crecimiento de los gases de efecto invernadero.
- iii) Fortalecer el sistema de gestión de la calidad del aire.
- iv) Incluir las consideraciones de calidad del aire y cambio climático en los procesos de toma de decisiones de los sectores público y privado a nivel local y nacional.

Para lograr estos objetivos se determinaron cinco acciones prioritarias, las cuales se describen a continuación:

- i) Establecer disposiciones de limpieza y eficiencia energéticas para los vehículos importados, de modo que para el año 2020, el 50% del parque vehicular sea de vehículos con tecnología avanzada, limpios y energéticamente eficientes.

- 1) La antigüedad de los vehículos usados importados no deberá ser mayor a cinco años. Éstos deberán aprobar la inspección vehicular del país de origen que garantice la funcionalidad de sus sistemas de control de emisiones.

- ii) Introducción de gasolina y diesel de azufre ultra bajo y establecimiento de especificaciones para el combustible importado.

- 1) El contenido de azufre del diesel deberá ser de 500 ppm a partir de 2010. Para 2012 sólo se aceptará diesel de 50 ppm de acuerdo con el estándar ASTM D-975.

- iii) Evaluación de los impactos ambientales, sociales y económicos de los biocombustibles.

iv) Implementación de un programa de inspección de emisiones contaminantes y de las partes mecánicas y de seguridad de todos los vehículos en circulación.

v) Desarrollo de un programa de mejora del transporte urbano y de calidad del aire.

**c) Importadores y distribuidores de combustibles**

En Honduras operan tres compañías importadoras y distribuidoras de combustibles: UNO Petrol, Shell y PUMA. Se sostuvo reunión con representantes de UNO Petrol, quienes expresaron que cada vez se les dificulta más encontrar diesel importado de la calidad usada en Honduras y que en ocasiones han importado diesel de 15 ppm porque ser el único disponible en el mercado.

El mayor volumen de diesel importado por Honduras proviene de la costa de Golfo (81%), seguido por el 15,2%) de Angola, Arabia Saudita, Argentina, Brasil, Canadá, Chile, Ecuador, México, Nigeria, Noruega e Italia, y el 3,8% de Antillas Holandesas, Puerto Rico, República Dominicana, Bahamas y Trinidad y Tobago.

En opinión de los representantes de UNO Petrol, la calidad del diesel no sólo debe considerar el contenido de azufre, sino que el estándar se debe homologar con el de la Costa del Golfo de acuerdo con las cotizaciones de Platt's.

El tiempo máximo estimado para consumir el cambio de la calidad del diesel sería un año.

**d) Importadores de vehículos**

No se contó con información de la Asociación Hondureña de Distribuidores de Vehículos Automotores y Afines (AHDIVA), sin embargo, la información proporcionada por la asociación correspondiente en Guatemala incluye un documento de AHDIVA en el que expresa su adhesión a la posición de FEDICAR sobre la necesidad de disminuir el contenido de azufre en el diesel para permitir la introducción de vehículos diesel con la tecnología más avanzada y así contribuir a reducir su impacto en la calidad del aire (FEDICAR, 2011).

**e) Recomendaciones para el cambio de la calidad del diesel**

Considerando que el combustible diesel de Honduras es importado en su totalidad, el proceso de homologación del estándar con el vigente en el Golfo de México no llevaría más de un año. Por tanto, se pueden iniciar las negociaciones de los contratos de importación y luego proceder a limpiar los sistemas de almacenamiento y distribución, incluyendo las estaciones de servicio.

Es importante que, además del cambio de calidad del diesel, se aplique la reglamentación de los límites de emisiones permisibles a los vehículos y se inicie la renovación del parque vehicular del transporte público a fin de lograr los mayores beneficios ambientales.

#### 4. Nicaragua

##### a) Infraestructura de producción de combustibles derivados del petróleo

Nicaragua cuenta con una refinería cuya capacidad de procesamiento es de 20.000 barriles por día con una configuración de tipo sencillo o *hydroskimming* (HSK). Durante 2010, esta refinería procesó 17.861 barriles diarios en promedio. El crudo cargado es del tipo Mesa (30 °API, 0,85% en peso de azufre).

La refinería cuenta con una unidad de hidrot ratamiento de diesel que procesa el gasóleo ligero primario y cuyas características son las siguientes:

- i) Capacidad instalada: 5.500 barriles por día.
- ii) Presión de operación: 200-220 libras por pulgada cuadrada (psig), equivalentes a 14-15,4kg/cm<sup>2</sup>g. Presión máxima de operación: 270 psig (18 kg/cm<sup>2</sup>g).
- iii) Su rango de temperatura de operación se ubica entre 600 °F y 645 °F (316 °C-341 °C).
- iv) El gasóleo primario alimentado como carga contiene un 0,9% de azufre (9.000 ppm).
- v) La pureza del hidrógeno de reposición está en el rango del 55% al 60% mol.
- vi) La calidad del diesel producido es de 5.000 ppm (equivalente al 0,5% en peso), con lo que la capacidad de remoción de azufre de la carga es del 56%.

Al igual que la refinería de El Salvador, la de Nicaragua difícilmente podría producir diesel de 500 ppm porque los cambios necesarios de la unidad de hidrot ratamiento demandarían inversiones que compiten con las de una unidad nueva, sin incluir las inversiones fuera del límite de la planta, es decir, los servicios de purificación del hidrógeno, agua de enfriamiento, tratamiento de agua para la generación de vapor, suministro de vapor, energía eléctrica e instalaciones para la recuperación del azufre.

La alternativa de usar un crudo más ligero y dulce elevaría los costos de producción y, por tanto, impactaría al margen de refinación, el cual, en las condiciones actuales, es cercano a cero o negativo.

En esta opción, sería necesario procesar un crudo con los mismos grados API, pero con un contenido de azufre menor a 0,09% (900 ppm). El crudo Minas de Indonesia, cuyo contenido de azufre es del 0,09% con 35,3 °API y el crudo EA de Nigeria, cuyo contenido de azufre es del 0,08% con 35,1 °API, satisfacen estas características, pero tienen el inconveniente de un alto costo del transporte.

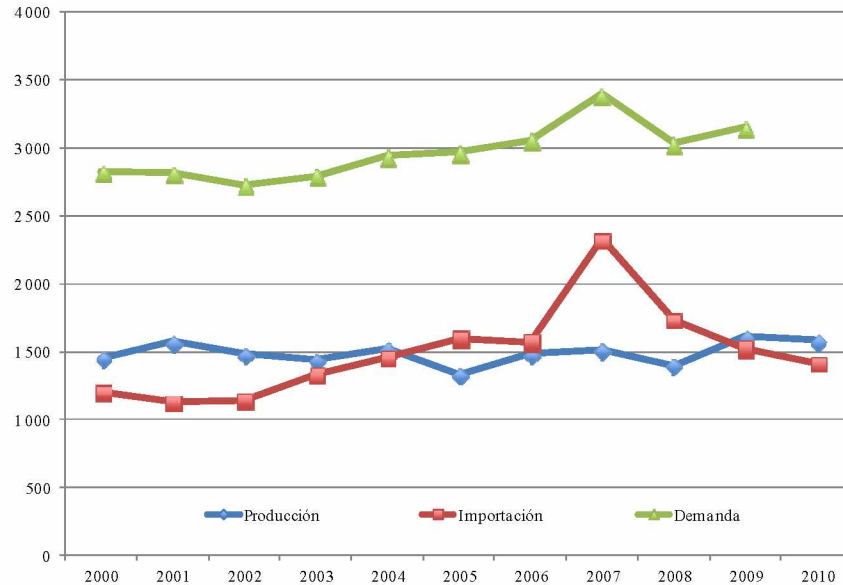
En suma, estas instalaciones diseñadas en los años sesenta y renovadas en su totalidad en 1969 no tienen capacidad de producir diesel de 500 ppm, mucho menos de 50 o 15 ppm.

Por tanto, se tendrían que considerar alternativas para definir si la producción de 500 ppm será viable a futuro, si esto resultara económico en comparación con el precio *spot* del diesel en el Golfo de México y a qué usos podría destinarse la producción actual *fuel oil* (bunker o combustóleo) y diesel para servicio marino, agrícola e industrial) (Véase Rodríguez, N., 2011f).

##### b) Evolución de la producción, la demanda y las importaciones de Nicaragua

Las estadísticas de producción, demanda e importaciones de Nicaragua se ilustran en el gráfico 16.

**GRÁFICO 16**  
**EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN, IMPORTACIÓN Y DEMANDA DE DIESEL, 2000-2010**



Fuente: CEPAL, sobre la base de cifras oficiales.

En el período 2000-2009, la tasa media de crecimiento anual de la demanda fue del 1,23%, mientras que la producción creció a un ritmo del 1,18% y las importaciones al 2,62%, lo que refleja que el soporte principal de la demanda son estas últimas.

El consumo de diesel por sectores en Nicaragua durante el período 2000-2009 presentó las siguientes tasas medias de crecimiento anual:

- i) Consumo global: 1,23%.
- ii) Consumo del transporte: 1,34%.
- iii) Consumo de las centrales eléctricas: 1,62%.
- iv) Consumo de la Industria: 1,28%.
- v) Consumo de los servicios comerciales y públicos: 1,33%.
- vi) Consumo del agro, la pesca y la minería: un 1,49%.
- vii) Consumo de la industria de la construcción: 0,97%.

Como en los demás países de la región, el dinamismo del consumo de diesel en Nicaragua se centra en el transporte, seguido por la industria, los servicios comerciales y públicos, el agro, la pesca y la minería.

La refinería de Nicaragua abastece el 60% de la demanda doméstica de diesel. Además, las instalaciones actuales no podrían ser modificadas para producir diesel de 500 ppm cuando la especificación cambie. Si se decidiera mantener la refinería en operación, se tendría que buscar nuevos destinos para el diesel producido o disminuir la carga alimentada para bajar el nivel de azufre, que siempre seguiría siendo alto (Véase Rodríguez, 2011c).

**c) Marco normativo de emisiones vehiculares y contaminación atmosférica**

En 1994, los presidentes de los países centroamericanos firmaron la Alianza Centroamericana para el Desarrollo Sostenible. Una de las tareas prioritarias de esta alianza fue promulgar un reglamento para el control de las emisiones vehiculares.

Nicaragua cuenta con la Ley General del Medio Ambiente y Recursos Naturales desde 1996, la cual ordena establecer estándares de gases contaminantes.

En respuesta a este mandato se publica el Decreto 32-97, que establece el Reglamento General para el Control de Emisiones de Automotores, promulgado el 2 de junio de 1997, con inicio de aplicación en enero de 1998. De acuerdo con el decreto, los vehículos que no cumplieran la norma serían retirados de la circulación, pero la envergadura y complejidad del programa, así como el corto plazo para su estructuración, motivaron prorrogarlo hasta el 1 de enero de 1999, aplicable a todos los vehículos nuevos y usados que ingresaran al país a partir de esa fecha.

La Constitución Política de Nicaragua establece que los nicaragüenses tienen derecho a un ambiente sano, y el Estado tiene la obligación de preservar, conservar y restaurar el medio ambiente y los recursos naturales.

Nicaragua tiene el documento “Formulación de la Política Nacional, Estrategia y su Plan de Acción sobre la Calidad del Aire”, elaborado por el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA) y publicado el 28 de julio de 2009. Su objetivo general es “Establecer los lineamientos de la política de calidad del aire que definen las estrategias, planes y acciones para reducir la contaminación atmosférica provenientes de diferentes fuentes de emisiones, con el fin de mejorar la calidad de vida de la población y la protección de los ecosistemas”. Uno de sus objetivos específicos es:

1) Definir las estrategias y líneas de acción para reducir las concentraciones de los contaminantes atmosféricos, principalmente partículas respirables ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ) y ozono ( $O_3$ ).

Las líneas estratégicas del sector energía son las siguientes:

i) Reducir las emisiones contaminantes urbanas y de gases de efecto invernadero (GEI) y mejorar la gestión ambiental del sector energía mediante las siguientes acciones:

1) Introducción de gasolina y diesel de azufre ultra bajo y establecimiento de especificaciones para la importación de combustibles:

ii) A partir de 2010 sólo se aceptará diesel con un contenido máximo de azufre de 500 partes por millón.

iii) A partir de 2012 sólo se aceptará diesel con menos de 50 partes por millón de azufre.

iv) A partir de enero de 2011, la gasolina, nacional e importada, mantendrá un contenido de azufre promedio de 30 partes por millón y un máximo de 80 partes por millón.

Además de estas líneas de acción está el Acuerdo 9-97 del Instituto Nicaragüense de Energía, publicado el 16 de octubre de 1997, cuyo artículo tercero dice: “El Instituto Nicaragüense de Energía

continuará estableciendo el programa gradual de disminución del contenido de azufre especificado en el diesel hasta llegar a un contenido máximo de 0,2% en peso (2.000 partes por millón) para el año 2000”.

Como puede observarse, Nicaragua ha decidido acciones muy importantes para reducir el contenido de azufre en el diesel, pero a la fecha no se ha cumplido ninguna de ellas por diversas circunstancias, ni se tiene un plan para cumplirlas.

**d) Importadores y distribuidores de combustibles**

A diferencia de los otros países de la región, la importación de petróleo crudo y derivados de Nicaragua es realizado principalmente por la empresa ALBA de Nicaragua, S.A. mediante contrato de suministro con PVDSA, la cual vende el producto *off-shore* a empresas que lo distribuyen localmente. Hay otras empresas que importan productos terminados: Esso (gasolinas), Uno (Asfaltos), Tropigas y Zetagas (GLP), y otras que los distribuyen y comercializan.

El 100% del petróleo crudo y el 85% de los derivados del petróleo consumidos en Nicaragua provienen de República Bolivariana de Venezuela. Personal de ALBA de Nicaragua nos informó que su proveedor de diesel tomaría un máximo de cinco años para ofrecer diesel de 500 ppm. Este plazo es mayor que el de diseño, construcción y puesta en marcha de una nueva unidad de hidrotreatmento de diesel.

**e) Importadores y distribuidores de vehículos**

La Asociación Nicaragüense de Distribuidores de Vehículos Automotores (ANDIVA) proporcionó un documento que describe la problemática del diesel en el país. En forma resumida refiere lo siguiente:

- i) La alta concentración de azufre, la poca detergencia del diesel disponible en el país y la nueva tecnología automotriz de control de emisiones no compaginan, lo cual provoca serios daños a los sistemas de inyección diesel, de inducción y escape de aire y de lubricación del motor.
- ii) El diesel actualmente consumido contiene partículas difíciles de quemar, lo que aumenta la emisión de humo negro y los depósitos de carbón y hollín.
- iii) Lo anterior repercute directamente en los fabricantes y distribuidores de vehículos de diversas maneras:
  - 1) Dejar de ofrecer el producto por sus altos riesgos para el funcionamiento adecuado de los motores.
  - 2) Comprar el producto sin la garantía de los fabricantes de autos, en cuyo caso los distribuidores tienen dos opciones: vender el producto sin garantía o vender el producto y asumir garantías limitadas bajo su propio riesgo.
  - 3) El usuario resulta claramente afectado ya que el combustible no da el rendimiento por kilometraje adecuado y daña el funcionamiento del motor, lo cual aumenta los gastos de mantenimiento y reparación de partes en un tiempo menor al especificado.
  - 4) Se afecta a la comunidad en general porque los gases emitidos se vuelven más nocivos por las altas concentraciones de óxidos de azufre, las cuales se transforman en lluvia ácida dañina para la salud.

5) Debido a los problemas generados por el combustible, los fabricantes de autos modifican los mecanismos y sistemas de tal manera que puedan funcionar por más tiempo, lo que aumenta el precio de las unidades.

6) Los compradores locales buscan alternativas que van desde la alteración hasta la eliminación de los sistemas de control, lo cual viene a crear más problemas de contaminación ambiental y de costos por reparación y mantenimiento.

7) Daños al sistema de inyección de diesel y a las bombas de combustible por la falta de detergencia.

8) Daños a la vida útil del motor ya que la compresión se ve afectada por el contenido de azufre del combustible, por la formación de ácidos y por el aumento de los depósitos que desgastan los cilindros.

9) Daños en los sistemas de inducción de aire ya que se obstruye el funcionamiento de sus componentes, como las válvulas de aceleración.

#### **f) Recomendaciones para modificar la calidad del diesel**

Las recomendaciones para cambiar la calidad del diesel se describen a continuación:

i) Promover la reanudación de las actividades del Subgrupo Técnico de Registros de Hidrocarburos (STRH) mediante la convocatoria del Consejo de Ministros de Integración económica (COMIECO).

ii) Participar a través del STRH en el desarrollo, homologación y elaboración del RTC de la calidad del diesel.

iii) Realizar las acciones establecidas en el Documento de Política de Calidad del Aire en calidad del diesel. El diesel consumido en la actualidad debería contener 500 ppm, lo cual no ha ocurrido porque el proveedor principal no dispone de él. Es necesario iniciar negociaciones para tenerlo en un plazo máximo de 12 meses.

iv) La reducción del azufre del diesel es factor determinante para reducir las emisiones de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  y  $NO_x$  y, en consecuencia, disminuir la formación del ozono ( $O_3$ ). De acuerdo con datos del Banco Mundial, estos contaminantes causan la muerte prematura de 430 personas y añaden más de 500 nuevos casos de bronquitis crónicas en Managua cada año (“Inventario de Emisiones de la Región Metropolitana de Managua, Nicaragua”).

v) Tomar las acciones necesarias para implementar el proceso de verificación del cumplimiento de los niveles máximos de contaminantes permisibles provenientes de vehículos diesel.

vi) Implementar los niveles máximos de concentraciones de contaminantes atmosféricos mediante estándares de calidad de aire que protejan la salud de la población.

vii) Completar el inventario de emisiones de la ciudad de Managua y del país para iniciar acciones orientadas a reducir el impacto de la contaminación atmosférica en la salud de la población.

## V. RECOMENDACIONES A NIVEL REGIONAL PARA EL CAMBIO DE ESPECIFICACIONES DEL DIESEL EN EL SALVADOR, GUATEMALA, HONDURAS Y NICARAGUA

Sobre la base de las entrevistas con diversos actores involucrados en la toma de decisiones para modificar la calidad del diesel en los países bajo estudio, se recomiendan las siguientes líneas de acción:

### 1. Entidades gubernamentales

Todos los gobiernos de los países del presente estudio tienen documentos oficiales sobre la necesidad de reducir el azufre del diesel de 5.000 a 500 ppm como meta inicial. Su horizonte a largo plazo, a partir del año 2013, es ofrecer un combustible cuyo contenido de azufre sea inferior a 50 ppm.

Las condiciones para llevar a cabo una acción regional en este sentido están dadas. La primera acción identificada por todas las instancias visitadas es reanudar las actividades del Subgrupo Técnico de Registros de Hidrocarburos (STRH) a la brevedad posible mediante convocatoria del Consejo de Ministros de Integración Económica (COMIECO). La primera tarea del STRH sería elaborar, desarrollar y homologar el RTC sobre la calidad del diesel.

En paralelo a este proceso se recomienda que cada país establezca un programa de corto plazo para decidir las normas aplicables a las emisiones generadas por el parque vehicular de diesel.

Estas acciones en conjunto son la forma más efectiva de evaluar los efectos del cambio de la calidad del diesel en términos de emisiones y de sus efectos en la salud de la población.

Sin ignorar las barreras institucionales de algunos países para llevar a cabo estas acciones, es necesario que todas las instancias de gobierno se sumen a ellas para apoyar la toma de decisiones de cada instancia a fin de acelerar el proceso de modificación de la calidad del diesel.

En el cuadro 16 se resume el beneficio inmediato de este cambio en términos de toneladas de bióxido de azufre ahorradas por cada país, sobre la base del consumo de diesel del año 2010.

**CUADRO 16**  
**PAÍSES SELECCIONADOS: REDUCCIÓN DE EMISIONES ANUALES DE BIÓXIDO**  
**DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>) POR EL CAMBIO DE CALIDAD DEL DIESEL**

| País        | Consumo anual de diesel barriles/año | Emisiones de bióxidos de azufre |                    | Toneladas/año       |
|-------------|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------|---------------------|
|             |                                      | Diesel con 5000 ppm             | Siesel con 500 ppm | Toneladas reducidas |
| El Salvador | 5 018 750                            | 6 623,24                        | 662,32             | 5 960,92            |
| Guatemala   | 9 249 100                            | 12 206,04                       | 1 220,60           | 10 985,44           |
| Honduras    | 5 114 400                            | 6 749,47                        | 674,95             | 6 074,52            |
| Nicaragua   | 3 153 600                            | 4 161,81                        | 416,18             | 3 745,63            |

Fuente: Elaboración propia.



Por el solo hecho de reducir el contenido de azufre del diesel de 5.000 a 500 ppm se dejarían de emitir 26.766 toneladas de SO<sub>2</sub> por año en los cuatro países juntos, con los consecuentes efectos de disminución de la lluvia ácida que perjudica la salud de la población y provoca daños a la flora y fauna de la región.

De acuerdo con las estimaciones de la WWFC, la reducción del contenido de azufre de 500 ppm a 30 ppm disminuiría las emisiones de PM en aproximadamente un 5%.

En suma, la reducción del contenido de azufre en el diesel conlleva importantes beneficios de salud, ecológicos y económicos.

## **2. Viabilidad de la producción de diesel de 500 ppm en las instalaciones existentes**

Por sus características, las dos plantas existentes en El Salvador y Nicaragua no permiten alcanzar el valor límite de 500 ppm en el diesel producido, pero podrían aproximarse a la meta con estrategias costosas. La forma más simple es modificando la composición de la canasta de crudos procesados. La información puede obtenerse mediante una simulación computarizada que identifique el tipo o los tipos de crudo adecuados para producir diesel con el menor contenido de azufre posible.

Una vez determinado el crudo o la mezcla adecuada habrá que evaluar la factibilidad de su procesamiento, considerando los aspectos técnicos y de demanda de otros servicios para evaluar los costos de producción en comparación con el precio *spot* del combustible más los costos de importación. Así se determinaría la opción más económica entre modificar la mezcla de crudos y la importación de combustible.

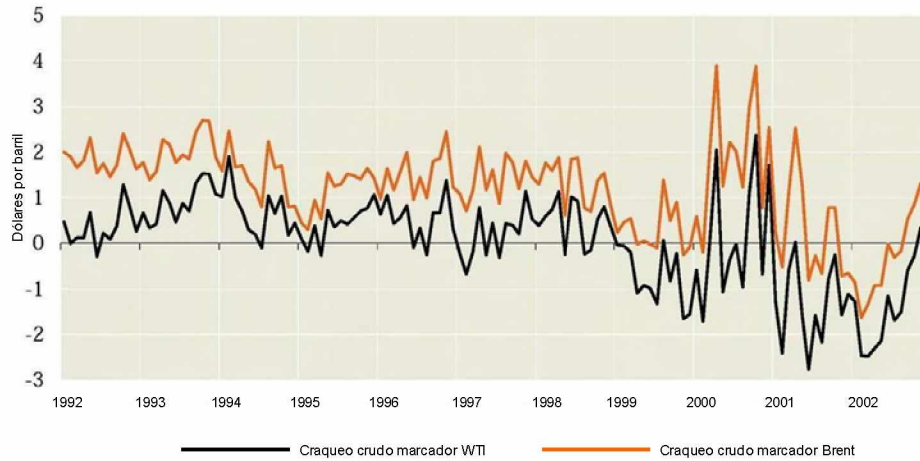
Como se mencionó en páginas anteriores, la configuración de estas refinerías da un margen de refinación negativo o de cero. Cambiar la mezcla de crudos podría inclinar la balanza del lado negativo, en cuyo caso la producción de la refinería no sería rentable. Por ello es necesario evaluar los costos de las opciones y determinar el destino del producto de 5.000 ppm, si podría destinarse a producir *fuel oil* y diesel para servicio agrícola, marino e industrial.

La configuración sencilla o Hydroskimming (HSK) prácticamente ha desaparecido de la industria petrolera mundial por sus bajos rendimientos y valor y sus elevados residuos de azufre.

Otro factor que incide en la baja rentabilidad de las refinerías de El Salvador y Nicaragua es su baja capacidad de procesamiento de crudo, muy lejana de la capacidad mínima recomendada de 100.000 barriles por día.

En el gráfico 17 se muestra la evolución del margen de refinación del crudo Brent en Rotterdam, Holanda en los últimos 10 años (IEA, 2011). Se puede observar que el esquema HSK arrojó valores negativos, mientras que el esquema FCC o cracking (de complejidad media) mantuvo una tendencia positiva con un promedio cercano a los dos dólares por barril de crudo procesado.

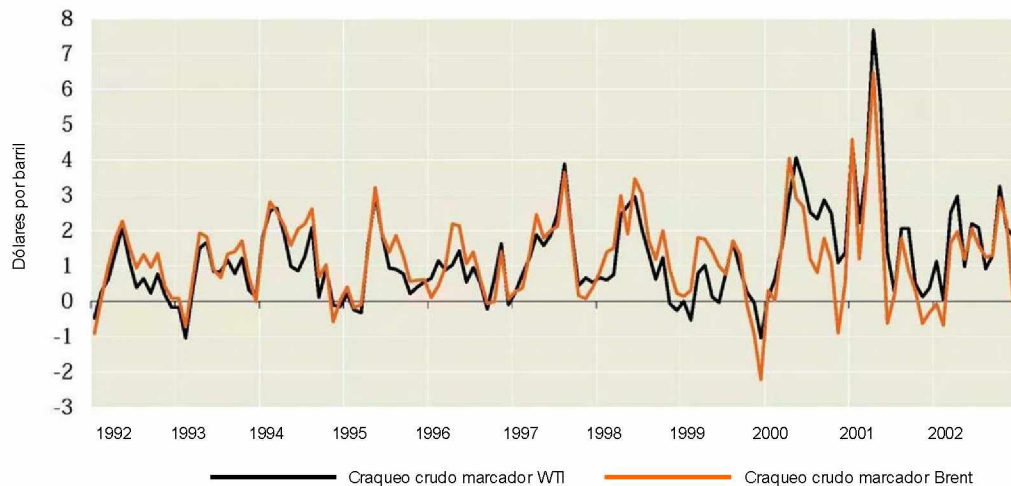
**GRÁFICO 17**  
**MÁRGENES DE REFINACIÓN DEL CRUDO BRENT EN ROTTERDAM**  
**EN ESQUEMAS HSK Y FCC, 1992-2002**



Fuente: Tomado del International Energy Agency, *Oil Market Report*.

En el gráfico 18 se muestran los márgenes de la refinación de los crudos Brent y WTI con los esquema FCC y HSK en la costa del Golfo de México en el período 1992-2002 (IEA, 2011). En ambos casos la tendencia es positiva con valores de 1 a casi 8 dólares por barril.

**GRÁFICO 18**  
**MÁRGENES DE REFINACIÓN DE LOS ESQUEMAS HSK Y FCC**  
**EN LA COSTA DEL GOLFO DE MÉXICO, 1992-2002**



Fuente: Tomado del International Energy Agency, *Oil Market Report*.

En suma, con la infraestructura de refinación existente en El Salvador y Nicaragua resultaría muy costoso producir diesel de 500 ppm en comparación con el precio del combustible de importación. Además, al ritmo de crecimiento de la demanda en ambos países, la capacidad de producción local sería rebasada, de modo que el combustible de importación terminaría predominando.

### **3. Recomendaciones para el proceso de cambio de la calidad del diesel y la logística de las importaciones**

Considerando que el transporte de combustible importado por los países centroamericanos es realizado por un solo tanquero que lo entrega por partes en cada país, las nuevas especificaciones del combustible deberán ser válidas para todos los países importadores porque no sería viable manejar calidades diferentes por el buque y las terminales.

Además, cada estación de servicio de los países dispone de una sola bomba de despacho de diesel, razón de más para manejar un solo tipo de diesel en sus cadenas. La excepción es Managua, que tiene 79 estaciones, 30 de las cuales expenden dos tipos de diesel, uno con y otro sin aditivo pero con igual contenido de azufre.

Los expendedores de la región están a favor del cambio de la calidad del diesel no sólo por el contenido de azufre, sino por encontrar conveniente la homologación de la norma con la de la costa del Golfo de México. La excepción es Nicaragua, cuyo mayor volumen de importación proviene de República Bolivariana de Venezuela. Información no oficial indicaría que los proveedores venezolanos podrían requerir 5 años para realizar el cambio de calidad del diesel. Es un plazo que excede en mucho al requerido para construir una planta nueva de hidrosulfuración de diesel.

El diesel de Nicaragua es abastecido por la refinería de Curazao propiedad de PDVSA. La refinería de Curazao tiene capacidad de procesamiento de 335.000 barriles por día con una configuración FCC. En otros países la configuración FCC necesita máximo dos años para modernizar las unidades de hidrotatamiento que disminuyen el contenido de azufre del diesel.

De acuerdo con los importadores y distribuidores de combustible de los países del estudio, el cambio de calidad del diesel tomaría un máximo de 12 meses, que permite realizar las negociaciones de los nuevos contratos de suministro con la nueva especificación. La promulgación de la nueva especificación debe tomar en cuenta el plazo referido.

### **4. Implicaciones económicas del cambio de calidad del diesel**

Durante el proceso de cambio de calidad del diesel de 3.000 ppm a 500 ppm en los Estados Unidos (que culminó en 1994), las autoridades evaluaron las implicaciones económicas del cambio sobre la base de la capacidad de procesamiento de las refinerías. Se concluyó que el incremento de los costos variables de desulfuración se ubicaría entre 0,7 y 3,1 centavos de dólar por galón (entre 0,294 y 1.302 dólares por barril) (EIA, 2011), lo que traducido a costos de capital arrojó un rango de 660 dólares a 4.328 dólares por barril de combustible de azufre bajo. Los menores costos fueron los de las refinerías con mayor capacidad instalada.

En el cuadro 17 se muestra la información de costos de hidrotatamiento de 139 refinerías estadounidenses recabada por la Asociación Nacional de Refinadores de Petróleo.

**CUADRO 17**  
**ESTIMACIÓN DE COSTOS VARIABLES DE PRODUCCIÓN DE DIESEL DE 500 PPM**

| Tamaño de la refinería en MBD | Número de refinerías | Potencial de producción de destilado de azufre bajo, MBD | Costos variables de hidrotreamiento (centavos de dólar por galón) |
|-------------------------------|----------------------|--|---|
| 0 a 30                        | 25                   | 64   | 3,1   |
| 30 a 100                      | 67                   | 821  | 1,0   |
| 100 a 200                     | 28                   | 734  | 0,9   |
| Más de 200                    | 19                   | 843  | 0,7   |
| Total U.S.                    | 139                  | 2 462  | 0,9   |

Fuente: Elaboración propia a partir de varias fuentes.

El cargo por costos de capital convertido a centavos de dólar por galón de diesel producido se ubicó en el rango de 1,1 centavos a 7 centavos de dólar por galón (equivalente a 0,462-2,94 dólares por barril). El mayor valor fue el de las refinerías con mayor capacidad y el segundo el de las de menor capacidad, situación ilustrada en el cuadro 18, donde el promedio de las refinerías resultó de 2,2 centavos de dólar por galón (equivalente a 0,924 dólares por barril).

**CUADRO 18**  
**ESTIMACIÓN DE COSTOS DE CAPITAL DE PRODUCCIÓN DE DIESEL DE 500 PPM**

| Tamaño de la refinería, en MBD | Número de refinerías | Costo total (millones de dólares) | Dólares por barril de destilado de azufre bajo | Costo de capital (centavos de dólar por galón) |
|--------------------------------|----------------------|-----------------------------------|--|--|
| 0 a 30                         | 25                   | 277                               | 4 328  | 7,0  |
| 30 a 100                       | 67                   | 1 628                             | 1 983  | 3,2  |
| 100 a 200                      | 28                   | 852                               | 1 161  | 1,0  |
| Más de 200                     | 19                   | 556                               | 660  | 1,1  |
| Total                          | 139                  | 3 313                             | 1 345  | 2,2  |

Fuente: Elaboración propia a partir de varias fuentes.

La diferencia de costos variables y de capital está relacionada con el tamaño y complejidad de las refinerías. Las más pequeñas tienen procesos más simples, dificultad de acceso a hidrógeno barato (subproducto de la reformadora de naftas) y costos elevados por no alcanzar economías de escala. Por esta razón la modernización de sus unidades de hidrodesulfuración no resultó atractiva.

Las estimaciones concluyeron que el incremento de precio del diesel en las estaciones de servicio sería de 3 a 4 centavos de dólar por galón en relación con el aceite para calefacción (*heating oil*). Este costo incremental incluye un centavo de dólar por galón de costos variables más 2 a 3 centavos de dólar por costos de recuperación de capital.

Las estimaciones de El Salvador, según las cuales el cambio de calidad del diesel de 5.000 a 500 ppm tendría una repercusión en el precio del combustible de 2,1 centavos de dólar por galón (equivalente a 0,882 dólares por barril), quedan en el rango de las ya referidas de los Estados Unidos.

Por tanto, el costo incremental del combustible no tendría un impacto relevante para el consumidor, considerando que el precio de venta del diesel en la mayoría de los países está vinculado al precio *spot* de la costa del Golfo de México, donde los productos de alto contenido de azufre valen menos que los de azufre ultra bajo, cuyo contenido de azufre es 15 ppm, la calidad más comercializada en esa región.

### **5. Posición de los importadores y distribuidores de vehículos**

Los importadores de vehículos de los cuatro países están a favor del cambio de la calidad del diesel, de su homologación con el estándar de los Estados Unidos y de iniciar el proceso de cambio a la brevedad. El representante de los importadores de Guatemala propone que el cambio sea apoyado por una campaña publicitaria amplia y masiva sobre sus beneficios ambientales y de salud para que la población acepte la medida sin objeción al aumento del precio del combustible.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACEA (Association des Constructeurs Europeens D'automobiles), Alliance, EMA, JAMA, Worldwide Fuel Charter (WWFC) (2006), Four Edition, septiembre.
- ANDIVA (Asociación Nicaragüense de Distribuidores de Vehículos Automotores) (2011), Consolidado de preguntas y respuestas, julio.
- ASTM (American Society for Testing and Material) (2011), *Standard Specification for Diesel Fuel Oil*.
- Automotive Service Excellence (2007), *Changes in Diesel Fuel*.
- BP (British Petroleum) (2010), *Statistical Review of World Energy*, junio.
- EPA (US Environmental Protection Agency), *Emission Standard for Heavy Duty Diesel Engine* (www.epa.gov, www.Dieselnet.com).
- BBI Biofuel International (2008), *Biodiesel Blending Practices*, septiembre.
- BP (British Petroleum) (2010), *Statistical Review of World Energy*, junio.
- CMM (Centro Mario Molina y otros) (2009), "Plan nacional para la gestión de la calidad del aire en Honduras" (PNGCAH).
- CNE (Consejo Nacional de Energía) (2010), "Análisis de la mejora del aceite combustible diesel".
- CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) (2007a), *Emisiones atmosféricas: fuentes móviles*, Norma Salvadoreña NSO 13.11.03:01, San Salvador, El Salvador.
- \_\_\_\_\_ (2007b), *Emisiones atmosféricas: fuentes fijas puntuales*, Norma Salvadoreña NSO 13.11.02:11, San Salvador, El Salvador.
- Criterion Catalysts & Technologies L.P. (2009), *Distillate Hydroprocessing*, seminario, junio.
- Delphi (2009), *Worldwide Emission Standards: Heavy Duty & Off-Road Vehicles*.
- EIA (Energy Information Administration) (2011), *The Transitions to Ultra Low Sulphur Diesel Fuels: Effects on Prices and Supply*, mayo.
- \_\_\_\_\_ (1993), *Monthly energy review*, agosto.
- FIDECAR (Federación de Asociaciones de Distribuidores y Concesionarios de Vehículos de Centroamérica) (2011), *Argumentos para la mejora de la calidad del diesel en el mercado centroamericano*.
- Hart Energy (2011), *Special Report, Latin America: Regional Fuel Quality Overview (focus on South America)*, 25 de julio.
- IEA (International Energy Agency) (2011), *Oil market report*.
- IOWA Soybean Association (2009), *Biodiesel Blends, Best Management Practices*.
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales) (2010), *Análisis costo beneficio: Renovación de la flota de autobuses de transporte público en el área metropolitana de San Salvador con tecnología euro (borrador final)*, agosto.
- \_\_\_\_\_ (2009), *Elementos de diagnóstico de la calidad del aire y de su marco legal y de gestión*, Nicaragua 28 de julio.
- Minnesota Department of Agriculture (2006), *A Biodiesel Blend Handling Guide*.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) (2005), *Opening the Door to Cleaner Vehicles in Developing and Transitions Countries: The Role of Lower Sulphur Fuels*, diciembre.
- Randall, Ray (2010), *Engine Emissions*, Navistar Engine Group.
- Robinson, R. Paul y Geoffrey E. Dolbear (2007), *Hydrotreating and Hydrocracking Fundamentals*.
- Rodríguez M., Nicolás (2011a), "Información obtenida de las respuestas al cuestionario preparado por el consultor del proyecto", julio, documento de trabajo.
- \_\_\_\_\_ (2011b), "Notas de la reunión sostenida", documento de trabajo.
- \_\_\_\_\_ (2011d), "Notas de la reunión realizada con los Ministerios de Salud y de Medio Ambiente y Recursos Naturales".
- \_\_\_\_\_ (2011e), "Notas de la reunión sostenida con estos gremios", documento de trabajo.
- \_\_\_\_\_ (2011g), "Notas de las reunión sostenida con este gremio".
- Rodríguez Otal, Luis M. (2006), *Día del Diesel*, Asociación Mexicana de la Industria Automotriz, mayo.
- \_\_\_\_\_ (2005), "XLV Convención Nacional de Ingenieros Químicos", Mérida, Yucatán, octubre.
- Thijssen, J. L.L.C. (2004), *The Impact of the Future Diesel Fuel Specification and Engine Standards on SOFC*, 29 de junio.
- VBD Automotive Technologies (2010), *Effects and Benefits of Low Sulphur Diesel*, Low Sulphur Diesel Awareness Training & Workshop, noviembre
- Zhang, Jonathan (2010), *Diesel Emission Technologies-Part II of Automotive After-treatment System*. (www.bowmannz.com).



## ANEXO

BIODIESEL <sup>7</sup>

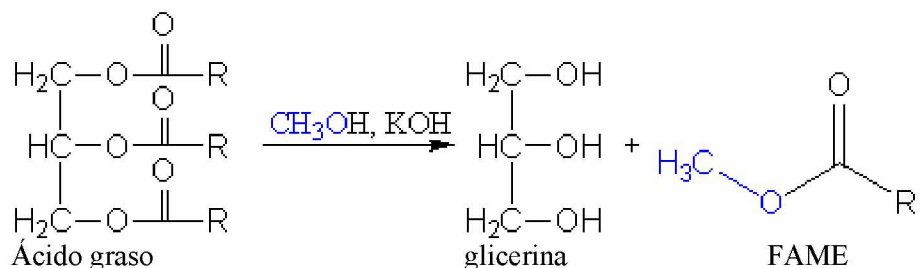
## 1. ¿Qué son las biomásas?

El término biomásas se refiere a las materias primas cuyo constituyente principal es materia orgánica (la mayoría provenientes de cultivos agrícolas). Hay dos tipos de combustibles de biomásas: bioetanol, obtenido del procesamiento de hidratos de carbono contenidos en maíz, caña de azúcar, sorgo dulce, remolacha azucarera (betabel), y biodiesel, obtenido de la conversión de los ácidos grasos de oleaginosas como soya, colza, palma africana, grasas animales, aceites comestibles usados y jatrofa, por citar algunos.

## 2. ¿Qué es el biodiesel?

El biodiesel es un compuesto orgánico (éster) obtenido del procesamiento de los ácidos grasos de las oleaginosas o de grasas animales, los cuales se hacen reaccionar con metanol o etanol en presencia de hidróxido de potasio o hidróxido de sodio (KOH o NaOH) para obtener éster metílico de ácidos grasos y glicerina.

La reacción química del biodiesel se describe a continuación:



## 3. ¿Cuáles son las materias primas para la producción de biodiesel?

Las materias primas más comunes para producir biodiesel son oleaginosas ricas en ácidos grasos, los cuales son transformados en ésteres metílicos mediante la reacción con metanol catalizado en un medio alcalino.

En la tabla 1 se presentan los rendimientos típicos de aceite expresados en litros por hectárea de diversas oleaginosas. Los valores corresponden a referencias internacionales, por lo que su función puede variar según las condiciones climatológicas y de suelo.

<sup>7</sup> Referencias bibliográficas: IOWA, BBI (2008), Minnesota Department of Agriculture.



**CUADRO A-1**  
**RENDIMIENTOS TÍPICOS DE DIVERSAS OLEAGINOSAS**

| Cultivo       | Litros por hectárea |
|---------------|---------------------|
| Palma         | 4 752               |
| Alga          | 3 000               |
| Cocotero      | 2 151               |
| Jatrofa       | 2 000               |
| Colza         | 954                 |
| Árbol de sebo | 907                 |
| Cacahuete     | 842                 |
| Girasol       | 767                 |
| Soya          | 922                 |
| Maíz          | 700                 |
| Cáñamo        | 242                 |

Fuente: Elaboración propia.

No todos los aceites obtenidos de oleaginosas son destinados a la producción de biodiesel; también a la producción de cosméticos, alimentos y otros usos, donde su valor es mayor.

Por esta razón, los gobiernos de países que producen biodiesel de oleaginosas subsidian la producción de la materia prima o el precio del producto para fomentar el empleo rural y disminuir la migración a las zonas urbanas.

#### 4. ¿Cómo se produce el biodiesel?

Los procesos para la producción de biodiesel son los siguientes:

a) Proceso base-base: la reacción es catalizada en un medio básico empleando sosa cáustica o potasa cáustica para obtener ésteres metílicos más glicerina.

b) Proceso ácido-base: se usa en aceites de alta acidez. La primera etapa consiste en obtener la esterificación ácida para continuar el proceso base-base

c) Procesos supercríticos: no requieren catalizador porque la combinación de aceite y alcohol se somete a altas presiones sin necesidad de un agente externo básico.

d) Procesos enzimáticos: éstos se encuentran en desarrollo mediante el empleo de enzimas que aceleran la reacción del aceite con el alcohol. Aún no se comercializan por su alto costo.

Los procesos más comunes son los dos primeros. El biodiesel se produce por lotes, es decir, la planta se prepara para procesar una cantidad de materia prima, luego de lo cual la operación se suspende.

También existe la modalidad de producción continua, lo que implica disponer de materia prima suficiente.

En el proceso de producción por lotes se mezcla alcohol con sosa o potasa. La mezcla resultante se introduce al recipiente donde se mezcla con el aceite para producir la reacción a 70°C (grado de ebullición del alcohol).

El tiempo de reacción es de una a ocho horas, según la temperatura de la mezcla. Por cada 10°C de temperatura, el tiempo de reacción se reduce a la mitad.

Para asegurar una buena conversión de las grasas del aceite se recomienda una relación de cuatro partes de alcohol por una de aceite.

La glicerina obtenida como subproducto es más pesada que el biodiesel, por ello su eliminación se hace por decantación o por centrifugado para obtener la máxima recuperación. El alcohol remanente se separa del biodiesel por destilación. Es muy importante evitar que el alcohol remanente arrastre agua para evitar pérdidas en el proceso.

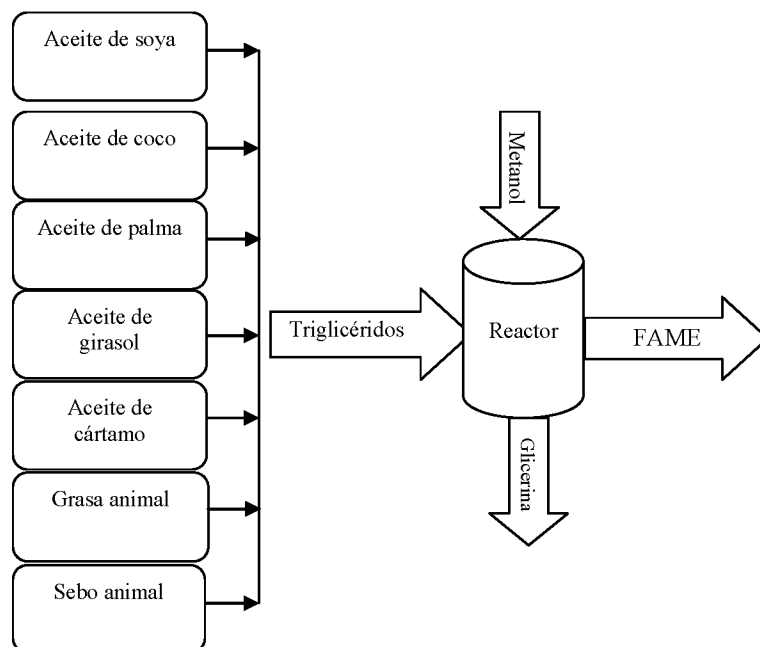
La glicerina obtenida debe ser sometida a un proceso de purificación para cumplir con las especificaciones de la industria de cosméticos.

El biodiesel obtenido por destilación requiere ser lavado para eliminar los residuos de sosa o potasa y jabón. Posteriormente se seca y almacena.

En el proceso continuo las operaciones descritas anteriormente se deberán mantener a lo largo del día.

En la figura I-1 se presenta el diagrama simplificado de la producción de biodiesel a partir de diferentes materias primas.

**FIGURA A-1**  
**DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL**



Fuente: Elaboración propia.

## 5. Beneficios ambientales del empleo del biodiesel

El biodiesel es excelente para los motores diesel porque no contiene azufre, ni aromáticos, contiene un número alto de cetano y oxígeno abundante, lo que favorece el proceso de combustión y reduce las emisiones contaminantes.

El biodiesel al 100% (B100) no puede ser empleado en motores diseñados para funcionar con diesel de petróleo porque su capacidad solvente es mayor, lo cual deteriora las juntas y mangueras de hule natural y puede afectar el material de los depósitos de combustible, lo que propicia la formación de residuos que obstruyen los filtros de las líneas de suministro al motor.

Por tanto, el B100 sólo puede ser utilizado por motores diesel diseñados ex profeso.

En el mercado internacional, el biodiesel se emplea mezclado con diesel de petróleo. Las mezclas más comunes son B5 (5% de biodiesel y 95% de diesel de petróleo), B10 (10% de biodiesel y 90% de diesel de petróleo) y B20 (20% de biodiesel y 80% de diesel de petróleo).

La mezcla más empleada en el mundo es la B20. Las mezclas con porcentaje de biodiesel menor al 5% se usan con diesel de azufre ultra bajo (15 ppm de azufre) para compensar la pérdida de lubricidad del combustible.

En el cuadro I-2 se muestra el promedio de emisiones reducidas de las mezclas B100 y B20 en comparación con el diesel de petróleo con datos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés).

**CUADRO A-2**  
**REDUCCIÓN DE EMISIONES DEL BIODIESEL VERSUS DIESEL DE PETRÓLEO**

| Emisiones                          | B100  | B20  |
|------------------------------------|-------|------|
| Reguladas:                         |       |      |
| Hidrocarburos no quemados          | -67%  | -20% |
| CO                                 | -48%  | -12% |
| PM                                 | -47%  | -12% |
| NO <sub>x</sub>                    | +13%  | + 2% |
| No reguladas:                      |       |      |
| Sulfatos                           | -100% | -20% |
| PAH <sup>a</sup>                   | -80 % | -13% |
| nPAH (nitrates) <sup>b</sup>       | -90%  | -50% |
| HC formadores potenciales de ozono | -50%  | -10% |

Fuente: USEPA, 2006, Amber Thurlo Pearson, *Benefits and the Future of Biodiesel*, National Biodiesel Board, febrero <(www.epa.gov)>.

<sup>a</sup> PAH = Hidrocarburos aromáticos polinucleares (Polynuclear Aromatics Hydrocarbons).

<sup>b</sup> nPAH (nitrates) = Nitro polynuclear aromatics hydrocarbons.

El Gobierno de los Estados Unidos subsidia la mezcla de biodiesel con diesel de petróleo con 50 centavos de dólar por galón y 1 dólar por galón para el agri-biodiesel (biodiesel producido con aceites vegetales de primer uso y grasas animales).

La mezcla B5 presenta un costo incremental de 5 centavos de dólar por galón respecto del diesel del petróleo en los Estados Unidos; la mezcla B20 registra un costo incremental de 15 centavos a 30 centavos de dólar por galón con relación con el combustible fósil.

## 6. Especificaciones internacionales del biodiesel

La calidad del biodiesel es de suma importancia para el buen funcionamiento de las mezclas con diesel de petróleo. Las primeras mezclas obstruían los filtros por la mala separación de la glicerina, la cual se solidificaba.

Para resolver este problema, la industria automotriz y la American Society for Testing and Materials (ASTM) emitieron un estándar de calidad para la mezclas B100, B5 y B20. Las especificaciones se presentan en los cuadros I-3 e I-4.

**CUADRO A-3**  
**ESPECIFICACIÓN DEL BIODIESEL (B100)<sup>a</sup> ASTM-6751-11**

| Características                                  | Método ASTM        | Valor            | Unidades                   |
|--|--------------------|------------------|----------------------------|
| Calcio y magnesio combinado                      | EN14538            | 5 máximo         | ppm (µg/g)                 |
| <b>Temperatura de inflamación (copa cerrada)</b> | <b>D93</b>         | <b>93 mínimo</b> | <b>°C</b>                  |
| Contenido de alcohol (uno a cumplir):            |                    |                  |                            |
| Contenido de metanol                             | EN14110            | 0,2 máximo       | % peso                     |
| Temperatura de inflamación                       | D93                | 130 mínimo       | °C                         |
| Características                                  | Método ASTM        | Valor            | Unidades                   |
| Agua y sedimentos                                | D2709              | 0,05 máximo      | % volumen                  |
| Viscosidad cinemática @ 40°C                     | D445               | 1,9 a 6,0        | mm <sup>2</sup> /seg (cSt) |
| Cenizas sulfatadas                               | D874               | 0,02 máximo      | % peso                     |
| Azufre:  |                    |                  |                            |
| Grado S15  | D5453              | 0,0015 (15)      | % peso (ppm)               |
| Grado S500                                       | D5453              | 0,5 (500)        | % peso (ppm)               |
| Corrosión al cobre                               | D130               | Nº 3 máximo      | -                          |
| Cetano   | D613               | 47 mínimo        | -                          |
| <b>Temperatura de nublamiento</b>                | D2500              | Reportar         | <b>°C</b>                  |
| Residuo de carbón en 100% de la muestra          | D4530 <sup>b</sup> | 0,05 máximo      | % peso                     |
| <b>Número ácido</b>                              | D664               | 0,5 máximo       | mg KOH/g                   |
| <b>Glicerina libre</b>                           | D6584              | 0,020 máximo     | % peso                     |
| <b>Glicerina total</b>                           | D6584              | 0,240 máximo     | % peso                     |
| Contenido de fósforo                             | D4951              | 0,001 máximo     | % peso                     |
| Destilación                                      | D86                | 360 máximo       | °C                         |
| Sodio y potasio combinado                        | EN14538            | 5 máximo         | ppm (µg/g)                 |
| Estabilidad a la oxidación                       | EN15751            | 3 mínimo         | Horas                      |
| Filtración en frío (cold soak filtration)        | D7501              | 300 máximo       | Segundos                   |
| Para empleo en temperatura de -12°C              | D7501              | 200 máximo       | Segundos                   |

Fuente: American Society for Testing and Materials (Estándar de Calidad ASTM-6751-11).

<sup>a</sup> La experiencia del empleo de la mezcla B20 en los Estados Unidos es importante. También puede usarse B100 en mezclas mayores a B20, pero los resultados deben evaluarse caso por caso hasta tener la suficiente experiencia.

<sup>b</sup> El residuo de carbón deberá correrse en el 100% de la muestra.

\* Las características en negritas corresponden al BQ-900 (proceso de certificación de la calidad de la National Biodiesel Board –Consejo Nacional del Biodiesel).

**CUADRO A-4**  
**ESPECIFICACIÓN DEL BIODIESEL (B6-B20)<sup>a</sup> ASTM-7467-10**

| Características   | Método ASTM           | Valor                  | Unidades                   |
|---|-----------------------|------------------------|----------------------------|
| Temperatura de inflamación                                | D93                   | 52 mínimo              | °C                         |
| Agua y sedimentos   | D2709                 | 0,05 máximo            | % volumen                  |
| Viscosidad cinemática @ 40°C                              | D445                  | 1,9 a 4,1 <sup>b</sup> | mm <sup>2</sup> /seg (cSt) |
| Contenido de cenizas                                      | D482                  | 0,01 máximo            | % peso                     |
| Azufre:   |                       |                        |                            |
| Grado S15   | D5453                 | 0,0015 (15) máximo     | % peso (ppm)               |
| Grado S500  | D5453                 | 0,05 (500) máximo      | % peso (ppm)               |
| Corrosión al cobre  | D130                  | N° 3 máximo            | -                          |
| Cetano  | D613                  | 40 mínimo              | -                          |
| Temperatura de nublamiento,<br>máximo o LTFT/CFPP, máximo | D2500,<br>D4539,D6371 | Reportar               | °C                         |
| Carbón Ramsbotton en 10% del<br>residuo <sup>c</sup>      | D524                  | 0,35 máximo            | % peso                     |
| Número ácido  | D664                  | 0,3 máximo             | mg KOH/g                   |
| Temperatura de destilación del 90%<br>de la muestra       | D86                   | 343 máximo             | °C                         |
| Estabilidad a la oxidación                                | EN15751               | 6 mínimo               | Horas                      |
| Lubricidad, HFRR @ 60°C                                   | D6079                 | 520 máximo             | Micrones                   |
| Contenido de biodiesel                                    | D7371                 | 6,0 a 20,0             | % volumen                  |

Fuente: American Society for Testing and Materials (Estándar de Calidad ASTM-7467-10).

<sup>a</sup> Existe una experiencia importante en los Estados Unidos en el empleo de la mezcla B20. También puede usarse el B100 en mezclas mayores a B20, pero los resultados deben evaluarse caso por caso hasta que se tenga la suficiente experiencia.

<sup>b</sup> Si se usa en mezclas con Diesel Grado 1-D o mezclas de Diesel Grados 1-D y 2-D, la viscosidad mínima será de 1,3.

<sup>c</sup> El residuo de carbón deberá correrse en el 100%.

## 7. Recomendaciones generales para su empleo

### a) Implicaciones sociales y económicas

La primera decisión para producir biodiesel tiene que ver con la disponibilidad de la materia prima en cantidad y calidad.

La selección de la materia prima debe basarse en un análisis económico y social que determine los costos de producción y estime su beneficio en empleo directo e indirecto.

Debe asegurarse que el área seleccionada para sembrar la materia prima no esté ocupada en producción de alimentos, en particular si éstos son parte de la dieta básica del país o región. Usar áreas de siembra de alimentos para sembrar materias primas para producir energéticos es inadmisibles.

Es importante hacer una cuantificación detallada de todos y cada uno de los costos de la producción de materia prima para biodiesel, incluyendo el consumo de energía de cada etapa, sobre todo si se prevé acceder a los bonos de carbono.

La contabilidad de los costos de obtención de la materia prima y de producción del biodiesel es vital para calcular el costo del litro o galón de biodiesel y establecer su precio de venta.

En el tema de la materia prima es importante considerar su ciclo agrícola con el fin de planear su siembra y disponer de ella en forma continua.

Si las políticas públicas del país de que se trate apoyan o subsidian la producción de biodiesel, será necesario determinar el monto del apoyo por litro o galón de biodiesel vendido. Pero lo más importante es determinar a quién y cómo se otorgará el apoyo para evitar desviaciones y asignaciones inapropiadas.

## **b) Recomendaciones para las instalaciones productivas**

Antes de iniciar la construcción de la planta de biodiesel deberá decidirse si ésta operará en forma continua o por lotes para seleccionar los equipos adecuados.

Un factor importante es la ubicación de la planta, de preferencia en un sitio cercano al de la producción de la materia prima para no incurrir en altos costos de transporte.

También deberá preverse que el sitio de abasto de metanol, sosa o potasa cáustica esté cercano. De lo contrario se incurriría en altos costos de transporte. Los más altos son los de auto tanque y los más bajos son los de ferrocarril.

Es importante disponer de una fuente de suministro de agua que no comprometa el abasto para el consumo humano presente y futuro, y considerar las facilidades para el tratamiento y disposición de las aguas residuales industriales.

Con relación a los desechos sólidos de la producción de biodiesel, deberá hacerse una caracterización detallada. Si son aprovechables para la alimentación de animales, el producto de éstos deberá estar libre de sustancias nocivas para los humanos.

En las inversiones de la planta se debe considerar el costo de instalar y mantener un laboratorio de control de calidad que analice la materia prima, las corrientes intermedias, el biodiesel mismo y los subproductos.

El control preciso de las operaciones de la planta garantizará la calidad del biodiesel. Si no se dispone de la infraestructura necesaria, la calidad del producto no será adecuada y su mezcla con el diesel de petróleo originará problemas en la operación de los vehículos, generando mayores costos de mantenimiento de las unidades.

Es necesario controlar la separación de la glicerina del biodiesel. Si se presentan concentraciones mayores que las especificadas, se generarán serios problemas de obstrucción de los filtros que afectarán el funcionamiento de los motores. Otro factor de importancia es la eliminación de los excedentes de sosa o potasa, ya que su presencia acelera la corrosión de los componentes del motor.

El estándar de mejores prácticas para la producción y control de calidad del biodiesel es el BQ-900, desarrollado por el Consejo Nacional del Biodiesel de los Estados Unidos (National Biodiesel Board).

**c) Recomendaciones para el empleo de la mezcla seleccionada**

Antes de emplear la mezcla de biodiesel—diesel de petróleo seleccionada, es necesario probarla en vehículos nuevos y usados característicos del parque vehicular de cada país para determinar su efecto en la reducción de emisiones. También será necesario analizar en laboratorio sus efectos en los componentes de elastómero y hule de los vehículos para prevenir efectos adversos.

La temperatura de almacenamiento recomendada de la mezcla es de 15 °C (60 °F) o 10 °F por encima del punto de enturbamiento (*cloud point*).

La mezcla biodiesel—diesel puede realizarse en línea mediante relacionadores de flujo. Esta operación es usual en refinerías y en terminales de almacenamiento. De esta forma se garantiza una mezcla completa de los productos.

Si no se dispone de instalaciones para realizar la mezcla en línea, ésta se puede hacer en los autotanques o en los carros tanques de ferrocarril mediante la adición separada de ambas corrientes.

Cuando la mezcla se haga en auto tanque o carro tanque y el llenado se haga por la parte superior, se recomienda cargar primero el diesel de petróleo. El biodiesel deberá vertirse a tasas volumétricas y velocidades altas para garantizar un mezclado homogéneo a temperatura de 10 °F arriba de su punto de enturbamiento.

Cuando el llenado se haga por el fondo en climas cálidos, se recomienda cargar primero el biodiesel. El diesel de petróleo se deberá adicionar a una velocidad adecuada (100 galones por minuto mínimo) para que la mezcla sea homogénea.

Los tanques de almacenamiento del biodiesel deberán mantenerse tan llenos como sea posible para reducir las posibilidades de filtración de agua y aire. Se recomienda instalar secadores a base de desecante en las ventilas del tanque.

Es necesario mantener un monitoreo permanente de mangueras, juntas y sellos para detectar fugas.

Los tanques deberán ser monitoreados una vez por mes para determinar la presencia de agua libre en los puntos de muestreo del fondo y eliminarla mediante purgado.

El mantenimiento libre de agua y otros contaminantes en la cadena de almacenamiento y distribución garantizará la conservación de la mezcla, lo cual facilitará la operación apropiada de los vehículos.