

Abriendo la puerta a los Vehículos limpios

en países en desarrollo y en transición: El papel de los
combustibles de bajo azufre



Informe del Grupo de Trabajo sobre Azufre de la Alianza para Combustibles y Vehículos Limpios (PCFV)

Centro de Referencia de la Alianza Para Combustibles y Vehículos Limpios (PCFV)
Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP)
P.O. Box 30552 – Nairobi, Kenia
Teléfono: +254-20-7624184, Fax: + 254-20-7624324
E-mail: pcf@unep.org



Exención de responsabilidad - Los puntos de vista expresados en este informe no representan necesariamente la opinión y/o recomendación de todos los miembros de la Alianza para Combustibles y Vehículos Limpios

Impreso por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, en representación de la Asociación para Combustibles y Vehículos Limpios, Nairobi, Kenia, febrero de 2007

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente promueve globalmente y realiza actividades no perjudiciales para el medio ambiente. Esta publicación se imprime en papel de bosques sostenibles e incluye fibra reciclada. El papel no contiene cloro y las tintas empleadas son de base vegetal. Nuestra política de distribución está encaminada a reducir la huella de carbono del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.



Abriendo la puerta a los
Vehículos limpios
en países en desarrollo y en transición: El papel de los
combustibles de bajo azufre

**Informe del Grupo de Trabajo sobre Azufre
de la Alianza para Combustibles y Vehículos Limpios (PCFV)**

La misión de la Alianza para Combustibles y Vehículos Limpios PCFV (PCFV, por sus siglas en inglés) es:

- Ayudar a los países en desarrollo a desarrollar planes de acción para completar la eliminación global de la gasolina con plomo e iniciar la reducción de azufre en los combustibles diesel y de gasolina, concurrente con la adopción de los requisitos de los vehículos más limpios;
- Apoyar el desarrollo y la adopción de estándares de combustibles y de vehículos más limpios, proporcionando una plataforma para el intercambio de experiencias y prácticas exitosas en los países desarrollados y en desarrollo, facilitando asistencia técnica;
- Desarrollar materiales de promoción de alcance público, programas educativos y campañas de concientización; adaptar herramientas económicas y de planificación para combustibles limpios y análisis de vehículos en escenarios locales; y apoyar el desarrollo de programas de aplicación y cumplimiento, con un enfoque inicial en la adulteración del combustible; y
- Fomentar alianzas entre el gobierno, la industria, las ONGs y otros sectores interesados de cada país y entre países para facilitar la implantación de combustibles y de vehículos más limpios.

Para más información sobre la PCFV, visite la página web www.unep.org/pcfV o póngase en contacto con la PCFV:

PCFV Clearing House

Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente

P.O. Box 30552 – Nairobi, Kenia

Teléfono: +254-20-7624184

Fax: + 254-20-7624324

E-mail: pcfV@unep.org

www.unep.org/PCFV



ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	Introducción	5
1.1	Sobre ésta publicación	5
1.2	La Alianza para Combustibles y Vehículos Limpios (PCFV)	5
1.3	El Grupo de Trabajo sobre Azufre de la PCFV	6
2.	Relación entre combustible con azufre y calidad del aire	6
2.1	Cuestiones sobre la calidad del aire en áreas urbanas en países en desarrollo	6
2.2	Acciones para reducir las emisiones de los vehículos	8
2.3	Acciones para reducir las emisiones vinculadas al azufre	8
2.4	Emisiones de vehículos – Consideraciones sobre salud, bienestar y medio ambiente	9
3.	Panorama global	13
3.1	Niveles de azufre en el mundo	13
4.	Reducir el azufre en los combustibles: clave para abatir las emisiones de los vehículos	16
4.1	¿Cómo afecta el azufre del combustible a las emisiones de los vehículos?	16
4.2	Impactos del azufre en los motores diesel y tecnologías para el control de las emisiones	17
4.2.1	Nuevos vehículos diesel limpios	17
4.2.2	Acciones para reducir las emisiones de los vehículos diesel actuales	21
4.3	Los vehículos de gasolina y el azufre	23
4.4	El apoyo de la PCFV para la reducción del azufre en los combustibles	24
5.	Acciones para reducir el contenido de azufre en los combustibles	27
5.1	¿De dónde proviene el azufre?	27
5.2	¿Cómo trabajan las refinerías?	28
5.3	Opciones para reducir el azufre en el combustible	28
5.3.1	Países sin refinerías	28
5.3.2	Países con refinerías	29
5.4	Acciones para reducir el azufre del combustible – Consideraciones adicionales	30
6.	Consideraciones adicionales	32
6.1	Áreas metropolitanas vs. zonas rurales	32
6.2	Corredores para el transporte entre países	32
6.3	Sobre vehículos y motores	33
6.3.1	Mantenimiento de vehículos	33
6.3.2	Vida del motor	34
6.3.3	El azufre en el aceite de motor	34
6.4	Aplicación y cumplimiento	35
6.5	Adulteración	35

Tablas

Tabla 1 – Límites de azufre en la gasolina y el diesel en diversos países en desarrollo	15
Tabla 2 – Estrategias opcionales para reducir las emisiones de los vehículos	26
Tabla 3 – Características de distintos aceites crudos	27
Tabla 4 – Piezas afectadas por un bajo nivel de azufre en los combustibles diesel	33

Gráficos

Gráfico 1 – Evolución del número de vehículos con motor en el mundo (1930-2000)	7
Gráfico 2 – Niveles de azufre en combustibles diesel, en partes por millón, en diciembre de 2006	13
Gráfico 3 – Disminución de la vida del motor por el incremento de niveles de azufre en los combustibles diesel	34

Anexos

Anexo 1 – Principales agentes contaminantes de los vehículos	36
Anexo 2 – Niveles de azufre por país en zonas de países en desarrollo (en diciembre de 2006)	37



1. Introducción

1.1 Sobre esta publicación

Este informe proporciona información para ayudar a los responsables de establecer la política en los países en desarrollo a comprender los efectos de la presencia de azufre en los combustibles del transporte y las opciones disponibles para reducir los niveles de azufre para disminuir las emisiones de los vehículos. Esta publicación proporciona una visión general, no técnica, de las consideraciones, beneficios y opciones para el desarrollo de políticas y acciones para reducir el nivel de azufre en los combustibles de los medios de transporte.

1.2 La Alianza para Combustibles y Vehículos Limpios (PCFV)

La Alianza para Combustibles y Vehículos Limpios (PCFV) fue presentada en la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible en Johannesburgo, en septiembre de 2002, por un grupo de socios comprometidos de los gobiernos, el sector privado, organizaciones no gubernamentales y organizaciones internacionales. Esta Alianza global ayuda a los países en desarrollo y en transición a reducir la contaminación del aire en áreas urbanas mediante la promoción de combustibles y vehículos limpios. El enfoque inicial se centra en la eliminación de plomo en la gasolina y la reducción de azufre en los combustibles diesel y gasolina, en concurrencia con la adopción de vehículos y de tecnologías para vehículos más limpios. Debido a que varios países en desarrollo han hecho grandes progresos en cuanto a la eliminación de plomo en la gasolina, la atención de la Alianza promueve ahora la reducción de los niveles de azufre en los combustibles para el transporte.

En el cuarto encuentro mundial de la PCFV, que tuvo lugar los días 14 y 15 de diciembre de 2005 en la sede del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en Nairobi, Kenia, los socios de la PNUMA acordaron abordar la reducción de azufre en los combustibles para vehículos a 50 partes por millón (ppm), o menos, a escala mundial, en concurrencia con vehículos limpios y tecnologías para vehículos limpios, con hojas de ruta y calendarios elaborados a nivel regional y nacional.

Para más información sobre la PCFV (PCFV), por favor, póngase en contacto con:

PCFV Clearing-House
United Nations Environment Programme
P.O. Box 30552
00100
Nairobi, Kenia
Teléfono: +254-20-7624184
Fax: + 254-20-7624324
E-mail: pcf@unep.org
<http://www.unep.org/PCFV>

1.3 El Grupo de Trabajo sobre Azufre de la PCFV

En el primer encuentro global de la Alianza, que tuvo lugar en Nueva York en noviembre de 2002, los socios estuvieron de acuerdo en la necesidad de asesorar a los países en desarrollo sobre los beneficios de reducir los niveles de azufre en los combustibles y en temas relacionados. Con este propósito se formó un Grupo de Trabajo para la elaboración de un documento informativo sobre el tema, en el que han participado socios de la PCFV del gobierno, la industria, ONGs y organizaciones internacionales. Este informe, producto del Grupo de Trabajo, describe los beneficios generales y los costes asociados a la reducción de azufre en los combustibles y el impacto en los vehículos, además de destacar las diferentes opciones disponibles en los países en desarrollo para alcanzar este objetivo. El informe también proporciona referencias a informaciones más exhaustivas sobre el tema.

2. Relación entre combustible con azufre y calidad del aire

Este apartado aborda la contribución del sector del Transporte a la calidad del aire en áreas urbanas y los beneficios que se obtienen por la reducción de azufre en los combustibles y la introducción de vehículos más limpios en los países en desarrollo y en países con economías en transición.¹

2.1 Cuestiones sobre la calidad del aire en áreas urbanas en países en desarrollo

El mayor problema de la calidad del aire en los países en desarrollo es la contaminación en áreas urbanas. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que casi 800.000 personas mueren cada año prematuramente por esta causa.² Además de consecuencias cardiovasculares y pulmonares (detalladas en el apartado 2.4), la contaminación del aire puede provocar también serias consecuencias en los recién nacidos y en la salud infantil.³

Las emisiones de los vehículos son uno de los factores que contribuyen a la baja calidad del aire en las áreas urbanas.⁴ Las emisiones contaminantes de los vehículos incluyen monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados o compuestos orgánicos volátiles (HC o VOC), óxidos de nitrógeno (NOx), y material particulado (MP) (ver apartado 2.4 y Anexo 1 para una visión de conjunto de estos contaminantes y sus efectos). Estas emisiones dependen mucho de los combustibles utilizados y del diseño de los vehículos. Está previsto que el transporte, a nivel global, crezca rápidamente hasta el año 2050, lo que supondrá duplicar la demanda de combustibles en todo el mundo desde ahora hasta el año 2050.⁵

1 A partir del ahora utilizaremos el término “países en desarrollo”, en este informe, refiriéndonos también a los países con economías en transición

2 Organización Mundial de la Salud (2002) Reducing Risks, Promoting Healthy Life

3 Organización Mundial de la Salud (2005) Effects of Air Pollution on Children’s Health and; Organización Mundial de la Salud (2005) WHO Air Quality Guideline for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide, and Sulfur Dioxide, Global Update. <http://www.who.int/phe/air/aqg2006execsum.pdf>

4 Otros factores incluyen la actividad industrial, el humo de los incendios forestales, el producido por los fuegos de cocina y la incineración de las basuras

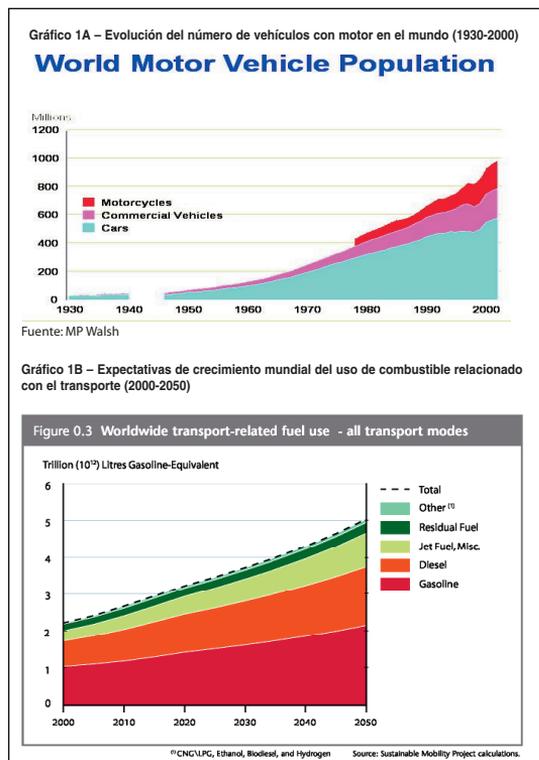
5 World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) (August 2004) Mobility 2030: Meeting the Challenge to Sustainability (www.wbcsd.org)



Las estimaciones de la contribución de los vehículos con motor a la contaminación del aire en el mundo varían entre el 25 y el 75 por ciento, dependiendo de los contaminantes y de la localización.⁶ En muchos países en desarrollo, se prevé que las emisiones convencionales de los vehículos continúen incrementándose en las próximas décadas. Dada la pobre calidad actual de los combustibles y de los vehículos que a menudo se encuentran en los países en desarrollo, los urgentes problemas de contaminación del aire están predestinados a empeorar si no se toman las medidas adecuadas

En los países desarrollados, las emisiones contaminantes se han reducido en las últimas décadas. La principal contribución a este hecho ha sido la introducción de combustibles más limpios, en conjunto con la introducción de mejores tecnologías de motor y de dispositivos de post-tratamiento. Para los vehículos de gasolina, la introducción de gasolina sin plomo en los países desarrollados ha abierto el camino a los sistemas post-tratamiento, especialmente los convertidores catalíticos. La introducción de vehículos de gasolina muy eficientes, con sistemas adicionales de control de emisiones, reducirá aún más las emisiones. En cuanto a los vehículos diesel, se ha producido un progreso significativo al reducir el nivel de azufre en el diesel, lo cual ha ido de la mano con la introducción de motores diesel más limpios y de tecnologías de post-tratamiento. Mayores mejoras, incluyendo los dispositivos post-tratamiento tales como trampas de material particulado y catalizadores de control de NOx y sistemas SCR, se encuentran en proceso de introducción, reduciendo significativamente las emisiones de los vehículos diesel. La entrada de combustibles diesel bajos en azufre ha hecho posible la introducción de tecnologías post-tratamiento.

Los estudios muestran que los países en desarrollo que incorporan vehículos y combustibles más limpios pueden revertir la tendencia a incrementar las emisiones contaminantes de forma similar a los países desarrollados⁷ En este escenario, algunas emisiones de los países en desarrollo podrían ser reducidas rápidamente (como el plomo, por ejemplo) y



6 Por ejemplo, un estudio en Kolkata, India, revela que entre el 21 y el 26 por ciento del material particulado respirable proviene del transporte, mientras que un estudio en Nepal estima que el porcentaje es de aproximadamente la mitad, y un estudio en la ciudad de México estima que el 61% de las emisiones de material particulado provienen de los vehículos con motor

7 Ver, por ejemplo, el estudio del WBCSD mencionado en la nota a pie de página número 5

otras podrían comenzar a declinar en una o dos décadas, contando incluso con el crecimiento del número de vehículos y el uso de los mismos.

2.2 Acciones para reducir las emisiones de los vehículos

La reducción de las emisiones de los vehículos a motor es un factor importante dentro de la estrategia general para reducir la contaminación del aire, especialmente en los países en desarrollo. Un acercamiento esencial para reducir las emisiones de los vehículos es eliminar el plomo de los combustibles y exigir – mediante estándares de emisión más exigentes – el uso de motores con niveles más bajos de emisión y de tecnologías que pueden hacerlo posible al retirar el plomo (por ejemplo, los convertidores catalíticos). El esfuerzo realizado a lo largo de la última década ha dado como resultado que ahora el 90% de la gasolina del mundo no tenga plomo.⁸

Otro acercamiento importante para reducir las emisiones de los vehículos – y el enfoque de esta publicación – es reducir los niveles de azufre en los combustibles para vehículos. Esto tendrá como resultado inmediatas reducciones de las emisiones de los vehículos actuales y es un paso necesario para facilitar el uso de catalizadores mejorados, filtros y otras tecnologías que pueden eliminar la mayor parte de la contaminación de los vehículos actuales que utilizan gasolina y diesel.

Al considerar la adopción de estos acercamientos, los responsables de la toma de decisiones deberían comprender los efectos de la presencia de azufre en los combustibles del transporte y las opciones disponibles para reducir los niveles de azufre para disminuir las emisiones de los vehículos en países en desarrollo.⁹

2.3 Acciones para reducir las emisiones vinculadas al azufre

Durante los últimos 30 años, los programas de control de la contaminación del aire en los países en desarrollo han demostrado que los combustibles y los vehículos más limpios son un camino efectivo hacia un aire más limpio. Los beneficios de los programas de combustibles y de vehículos más limpios en los países en desarrollo incluyen emisiones más bajas de la actual flota de vehículos mediante la mejora de la calidad del combustible y la posibilidad de introducir vehículos y tecnología más limpios, lo cual reduce, adicionalmente, la contaminación relacionada con el transporte.

La mejora de la calidad del combustible contribuye a que las emisiones contaminantes sean menores. En el caso de niveles más bajos de azufre, la repercusión se aprecia en un decrecimiento de las emisiones de material particulado (MP – para una descripción del material particulado y sus impactos, ver párrafo siguiente).

Hay sustanciales reducciones de contaminación que se pueden alcanzar cuando se reduce el azufre del diesel de los muy altos niveles que son comunes en muchos países en desarrollo (muchos de los cuales tienen más de 5.000 ppm en combustibles diesel – ver Anexo

⁸ La Alianza para Combustibles y Vehículos Limpios está realizando una campaña para eliminar la gasolina con plomo del mundo hacia finales de 2008. Para más información sobre la limitación de plomo y datos actualizados sobre su proceso de eliminación en el mundo, visite la página web de la Alianza para Combustibles y Vehículos Limpios (www.unep.org/PCFV)

⁹ K. Williams, M. Kojima, y T. Johnson (2004) Reducing Air Pollution from Urban Transport, World Bank Press, Washington DC



2). La reducción de azufre a niveles muy bajos (50ppm o menos) no sólo reduce las emisiones de material particulado mucho más, sino que también posibilita la introducción de tecnologías de control de emisiones, que proporcionan incluso una mayor reducción de las emisiones.¹⁰

Los fabricantes de vehículos siguen mejorando el diseño de los motores para aumentar la eficiencia en el uso de combustibles y reducir emisiones. Por ejemplo, ahora están introduciendo motores diesel con sistemas de inyección de alta presión que son más eficientes y menos contaminantes. Sin embargo estas tecnologías recientes de motor diesel no funcionan bien con altos niveles de azufre en los combustibles diesel.

Los niveles de azufre de 500 ppm e inferiores abren la puerta a diversas tecnologías de control de emisiones (como se refleja en el apartado 4). Para los vehículos diesel, los combustibles con 500 ppm de azufre o menos posibilitan la introducción de vehículos más nuevos equipados con catalizadores de oxidación diesel. Este nivel de azufre en el combustible también hace posible, para ciertos vehículos diesel más antiguos, ser adaptados con tecnologías de control de emisiones – una estrategia que se está utilizando de manera creciente en muchas de las ciudades más grandes y más contaminadas del mundo. Incluso se pueden alcanzar mayores reducciones utilizando muy bajos niveles de azufre (por debajo de 50 ppm), tras lo cual se pueden introducir filtros de partículas diesel.

Para los vehículos de gasolina, la reducción de los niveles de azufre a 500 ppm o menos mejora el funcionamiento de los sistemas de conversión catalítica estandarizados en los países desarrollados y que ahora están siendo introducidos en la mayor parte de los países en desarrollo mediante la venta de automóviles nuevos y de las importaciones de automóviles de segunda mano. Muy bajos niveles de azufre permiten utilizar la más avanzada tecnología para el control de emisiones y pueden facilitar el uso de motores “lean-burn” de ignición de chispa de combustible eficiente.

Al reconocer que los combustibles y los vehículos trabajan juntos como un sistema, los mayores beneficios se pueden alcanzar al combinar combustibles bajos en azufre con vehículos apropiados y tecnologías de control de emisiones.¹¹ Este acercamiento ha demostrado ser más efectivo que el tratamiento de los combustibles, los motores, o los controles de emisión de manera independiente.

2.4 Emisiones de vehículos – Consideraciones sobre salud, bienestar y medio ambiente

Las emisiones de los vehículos encierran una seria amenaza para la salud y el bienestar de las personas, especialmente en áreas urbanas; son una preocupación especial porque la exposición a una mezcla de contaminantes del aire tiene lugar a nivel del suelo, donde la gente camina, trabaja y juega. Se pueden obtener beneficios sociales y económicos significativos evitando los impactos en la salud de enfermedad y muerte prematura que provoca la

10 Las emisiones de material particulado ultrafino - PM2.5 – se reducen una media del 33.4% cuando se reduce el azufre del combustible diesel de 500 ppm a 50 ppm. Ver: www.bp.com/products/fuels/bp_ecoultra/ulsd_fa.pdf

11 El aceite de motor forma parte del sistema de combustibles del vehículo. Cuando se reducen los niveles de azufre, la relativa contribución del azufre mediante la combustión del aceite de motor es más significativa y el impacto que produce en las emisiones debería tenerse en cuenta.

contaminación del aire.^{12,13} Desde la perspectiva de la salud pública, la principal preocupación es la contribución de las emisiones de los vehículos a los niveles atmosféricos de seis contaminantes primarios:¹⁴

- **Material particulado (MP)** Es el término que se utiliza para denominar las partículas sólidas o líquidas que se encuentran en el aire. Algunas partículas son lo suficientemente grandes u oscuras para ser vistas, como el hollín o el humo, pero el material particulado fino es diminuto y, por lo general, no es visible a los ojos. Las emisiones de MP de los vehículos están formadas, principalmente, por dichas partículas diminutas: gruesas (MP10), finas (MP 2.5) y ultrafinas (MP de .1 micra o menos).¹⁵ El MP se emite directamente o se forma en la atmósfera a partir de precursores como los óxidos de azufre (SOx) y los óxidos de nitrógeno (NOx).
- **Hidrocarburos (HC)** Las emisiones provienen de la combustión incompleta y de la evaporación del combustible. Los hidrocarburos se combinan con óxidos de nitrógeno, al calor y al sol, para formar ozono al nivel del suelo.¹⁶
- **Óxidos de nitrógeno (NOx)** Se forman durante el proceso de combustión, cuando el combustible se quema a temperaturas elevadas, en los motores de los vehículos.
- **Óxidos de azufre (SOx)** Son emisiones gaseosas que se forman por la oxidación de azufre del combustible durante el proceso de combustión y dependen totalmente del contenido de azufre en el combustible.
- **Ozono (O3)** Se forma cuando los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos reaccionan ante el calor y la luz del sol. Es el mayor componente del smog (nube espesa de contaminación).
- **Monóxido de carbono (CO)** Gas venenoso formado por la combustión parcial o incompleta de hidrocarburos.

Para tratar los efectos de la contaminación del aire en la salud, varios países y la Organización Mundial de la Salud (OMS) han desarrollado pautas para determinar estándares de calidad del aire para contaminantes clave.¹⁷ Estas pautas se utilizan para el diseño de programas de control de la contaminación del aire.

En lo que se refiere a impactos en la salud de diversos tipos de contaminantes, cuatro de ellos son de especial preocupación – MP, ozono, monóxido de carbono y óxidos de azufre.

12 Comparado con otras posibilidades que afectan a la salud – ver Kseniya Lvovsky (2001) Health and Environment, Anex D, World Bank

13 En los Estados Unidos, las medidas más recientes para reducir las emisiones que provienen del transporte mediante combustibles más limpios y de avanzadas tecnologías de control han demostrado que los beneficios han superado el coste con creces:

1999 - Relación coste-beneficio en automóviles y vehículos de carga ligera = 5:1

2000 - Relación coste-beneficio en camiones diesel de carga pesada = 17:1

2004 - Relación coste-beneficio en equipos diesel que no circulan (construcción, agricultura) = 40:1

14 Visite la página web <http://www.epa.gov/air/urbanair/6poll.html>

15 MP 2.5 es material particulado de menos de 2.5 micras de diámetro o de menos de 1/100th del transcurso del tiempo hasta el final de esta frase. Para más información sobre el material particulado, visite la página web <http://www.epa.gov/air/particlepollution/basic.html>

16 El material particulado en el ambiente, especialmente de los vehículos diesel, está asociado a dos tipos de partículas: el material particulado emitido directamente de los vehículos y el material particulado formado indirectamente en la atmósfera por las emisiones de NOx y de SOx (y en menor medida por las emisiones HC). Además NOx y HC participan en las reacciones químicas atmosféricas que producen el ozono

17 Las fuentes que se citan a continuación ayudan a comprender el escenario de los estándares de calidad del aire y los actuales estándares:

- US National Ambient Air Quality Standards: www.epa.gov/ttn/naaqs

- WHO Air Quality Guideline for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide, and Sulfur Dioxide, Global Update, 2005: www.who.int/phe/air/aqg2006execsum.pdf

- UK Air Quality Standards and Banding: www.airquality.co.uk/archive/standards.php



Los efectos en la salud asociados al material particulado ambiental –que puede ser inhalado profundamente en los pulmones- incluyen muerte prematura, agravamiento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares (indicado por el incremento de admisiones en los hospitales y visitas a las salas de urgencia, el ausentismo escolar, la pérdida de días de trabajo y el aumento los días de actividad restringida), empeoramiento del asma y graves síntomas respiratorios. Estudios adicionales han asociado la exposición al material particulado ambiental con enfermedades del corazón y cambios en el ritmo cardiaco. El material particulado del diesel es de especial preocupación, porque está asociado al incremento de riesgo de cáncer pulmonar.¹⁸ Finalmente, los científicos están cada vez más convencidos de que el material particulado puede influir en el clima a nivel local y global. Los impactos exactos del material particulado aún se debaten; mientras se cree que el sulfato de material particulado puede tener un efecto de enfriamiento, también se cree que el material particulado de carbono contribuye al calentamiento de la atmósfera.¹⁹

Como señalamos anteriormente, la contaminación de ozono a nivel del suelo (un componente clave del smog) se forma por la reacción de hidrocarburos (HC) y óxidos de nitrógeno (NOx) en la atmósfera ante el calor y la luz solar. A estos dos contaminantes se hace referencia como precursores del ozono. El ozono puede irritar el sistema respiratorio, reducir la función pulmonar y hacer más difícil la respiración profunda, y puede inflamarse y dañar el revestimiento de los pulmones, lo que puede dar lugar a cambios permanentes en el tejido pulmonar. Estudios recientes han demostrado estadísticamente vínculos entre los cambios en el ozono a corto plazo con la mortalidad.²⁰ Las personas que son particularmente susceptibles a los efectos del ozono incluyen tanto a niños como a adultos que realizan actividades al aire libre, a los ancianos y a las personas con problemas respiratorios, como el asma.

El monóxido de carbono es un gas incoloro e inodoro producido por la combustión incompleta de combustibles basados en el carbono. El monóxido de carbono entra en la sangre a través de los pulmones y reduce el reparto de oxígeno a los órganos y tejidos del cuerpo. La amenaza para la salud del monóxido de carbono es más seria para quienes sufren enfermedades cardiovasculares, particularmente quienes padecen angina o una enfermedad vascular periférica. También afecta a las personas con buena salud, pero solo cuando los niveles de monóxido de carbono son muy altos. La exposición a altos niveles de monóxido de carbono está asociada con el deterioro de la percepción visual, la capacidad de trabajo, la destreza manual, la capacidad de aprendizaje y la realización de tareas complejas. El monóxido de carbono, en concentraciones muy altas, puede provocar la muerte.

Los óxidos de azufre (SOx), especialmente cuando están presentes como partículas sulfatadas, tienen impactos locales en la salud especialmente en el aparato respiratorio tales como el asma. Además, las emisiones de SOx provocan la acidificación del medio ambiente local, dañando edificios, árboles y arbustos en áreas urbanas. Sin embargo, la contribución de

18 USEPA (2004) Final Regulatory Analysis: Control of Emissions from Nonroad Diesel Engines, Page 2-55. <http://www.epa.gov/nonroad-diesel/2004fr/420r04007c.pdf>

19 Ver, por ejemplo: T. Bond and H. Sun (2005) Can reducing black carbon emissions counteract global warming?, *Environmental Science and Technology*, 2005, Vol. 39, No. 16, y M. Jacobson (2002) Control of fossil-fuel particulate black carbon and organic matter, possibly the most effective method of slowing global warming, 2002, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 107, No. D19

20 *Journal of the American Medical Association* (17 de noviembre de 2004) Ozone and Short-term Mortality in 95 US Urban Communities, 1987-2000

las emisiones de óxidos de azufre de los vehículos sobre temas ambientales no locales (como la lluvia ácida) es mínima comparada con otras fuentes, como las industriales.²¹

Los contaminantes del aire que emiten los vehículos también están asociados con diversos efectos denominados de bienestar. Efectos que incluyen el deterioro de la visibilidad atmosférica, el daño ecológico y a la propiedad, provocados por la deposición ácida, la contaminación de los nutrientes en la superficie de las aguas (incluyendo la eutrofización y la nitrificación) y el daño a las plantas y a las cosechas que causa el ozono.

21 Por ejemplo, en los Estados Unidos, las carreteras y las fuentes emisoras de contaminación que no circulan por carretera contribuyeron solamente al 5% de las emisiones de óxido de azufre en todo el país en el año 2003, mientras que las empresas eléctricas públicas contribuyeron en un 69%. Ver: USEPA (2003) National Air Quality and Emissions Trends Report: 2003 Special Studies Edition. Capítulo 2, página 36. <http://www.epa.gov/air/airtrends/aqtrnd03/pdfs/cover.pdf>



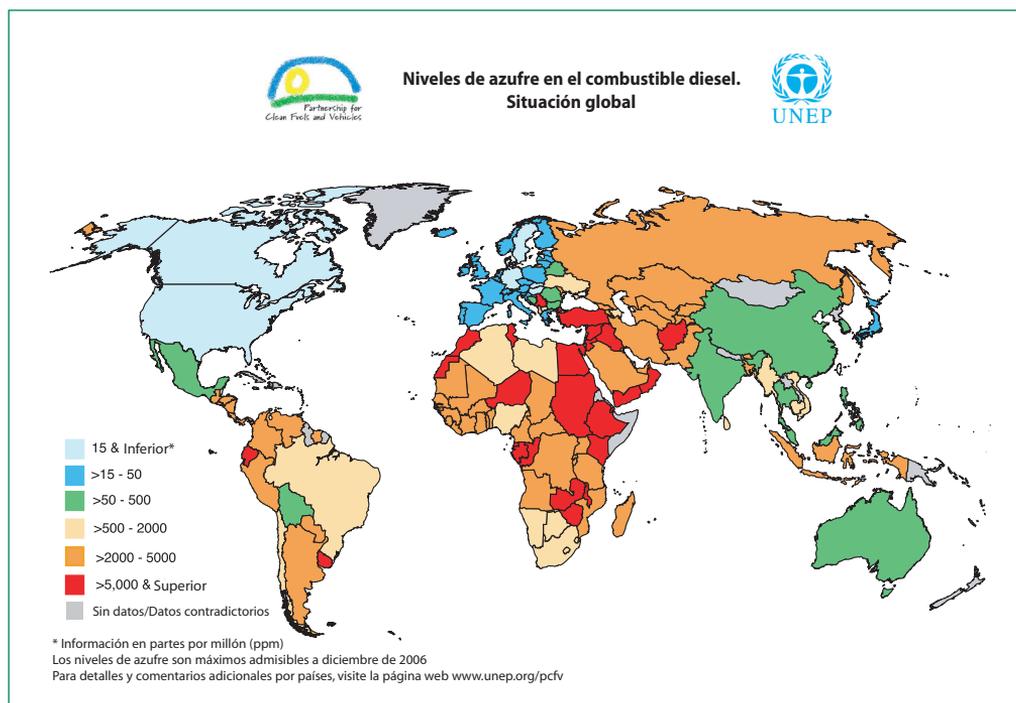
3. Panorama global

Esta sección facilita una visión general sobre los niveles globales de azufre en los combustibles y las acciones que se están llevando a cabo para reducirlos.

3.1 Niveles de azufre en el mundo

Los niveles de azufre en los combustibles varían enormemente, por países y por regiones. Dependiendo del petróleo crudo utilizado y de las configuraciones de las refinerías, los niveles de azufre en el petróleo varían entre menos de 10 ppm hasta 1.000ppm o más. En el combustible diesel, los niveles abarcan desde por debajo de 10 ppm hasta más de 10.000 ppm. Europa, Estados Unidos y Japón han establecido medidas para reducir el azufre a los mínimos niveles (por debajo de los 10-15 ppm), a menudo con emisiones estándar que requieren tecnologías de control de emisión que no pueden ser utilizadas con combustibles con niveles más altos de azufre.²² Algunas zonas de países en desarrollo han desarrollado, o están desarrollando, estándares armonizados que les permitirán un acercamiento regional hacia la reducción de niveles de azufre y a mejorar las calidades del combustible en general. El gráfico 2 facilita una visión general de los niveles de azufre en combustibles diesel en el mundo.

Gráfico 2: Niveles de azufre en combustibles diesel, en ppm, a diciembre de 2006 (Ver Anexo 1 y visitar www.unep.org/PCFV)



²² Conjuntamente con estos progresos, los nuevos aceites de motor han sido formulados con niveles enormemente reducidos de sulfato de ceniza, fósforo y azufre para proteger las tecnologías de control de emisiones de la contaminación del azufre del aceite de motor mientras se trata el funcionamiento de los temas relacionados con los combustibles bajos en azufre.

Alrededor del mundo, muchos países han disminuido el límite de azufre permitido en los combustibles y han adoptado estándares de emisión de tubos de escape para reducir la contaminación de los vehículos. Sin embargo, la situación global es variada. Por ejemplo, la mayoría de los países africanos tienen más de 5.000 ppm de azufre diesel. Mientras que muchos países asiáticos, incluyendo China e India, han adoptado los estándares europeos y presentan 500 ppm o han manifestado su intención de alcanzar este objetivo en los próximos años.

En diciembre de 2006, la Alianza para Combustibles y Vehículos Limpios (PCFV) actualizó la información relacionada con los niveles de azufre y sus límites en aproximadamente 130 países en desarrollo y en transición (ver Anexo 2 para una visión de conjunto país por país).²³ En la actualidad, alrededor de 20% de los países de cuya información dispone la PCFV tienen niveles reglamentarios de azufre diesel de 500 ppm o menos. La mayor parte de estos países se encuentran en Europa Central y del Este y en la zona Asia-Pacífico. Alrededor al 10% de estos países están entre 500 y 1000. Entre ellos, hay algunos que se están planteando establecer niveles de azufre más bajos. La mayor parte de los países, aproximadamente el 70%, tienen niveles de azufre en diesel de más de 2.000 ppm. En realidad, la mayor parte de estos países tienen diesel con niveles de azufre de 5.000 ppm o superiores, y cerca del 10% de estos países tienen niveles de permisibilidad de 10.000 ppm o más.

Esto quiere decir que el 80% de los países en desarrollo sobre los que la PCFV tiene información al respecto, no tienen combustible con la calidad suficiente para permitir disfrutar de los beneficios de las tecnologías de control de emisiones utilizadas en los países desarrollados.

²³ La PCFV actualiza esta información regularmente y está disponible en la página web www.unep.org/PCFV/data



La Tabla 1, más abajo, proporciona ejemplos de los límites de azufre en diversos países en desarrollo.

Tabla 1: Límites de azufre en la gasolina y el diesel en diversos países en desarrollo (fuente: PCFV)

País		Diesel (D) Gasolina (G)	Estándares actuales	Estándares futuros
Egipto		D y G	5.000 ppm y 500 ppm	
Siria		D y G	6.500 ppm y 1,500 ppm	
Yemen		D y G	10.000 ppm y 1,500 ppm	
México	Área metropolitana	D y G	300 ppm y 300 ppm (media), 500 ppm (máximo)	D- 15 ppm frontera Estados Unidos - México (2007), principales ciudades (2009) y resto del país (2010). G- 30 ppm (media), máx. permitible 80 ppm (desde 2006)
	No metropolitana	D y G	500 ppm y 1.000 ppm	15 ppm (mediados 2009)
Brasil	Área metropolitana	D y G	500 ppm y 1.000 ppm	D- 50 ppm (2009) P- 50 ppm (2009)
	No metropolitana	D y G	2.000 ppm y 1.000 ppm	D- 50 ppm (2009) P- 50 ppm (2009)
Venezuela		D y G	5.000 ppm y 600 ppm	
Sudáfrica		D y G	500 ppm y 500 ppm	50 ppm (2010)
Zambia		D y G	7.500 ppm y 1.000 ppm	
Costa de Marfil		D y G	5.000 ppm y 500 ppm	

4. Reducir el azufre en los combustibles: clave para abatir las emisiones de los vehículos

Este apartado ofrece una visión general sobre cómo afecta el azufre de los combustibles a las emisiones de los vehículos y cómo influye la presencia de azufre en las opciones para introducir tecnologías de control de emisiones. También presenta algunas opciones para dar los siguientes pasos.

4.1 ¿Cómo afecta el azufre del combustible a las emisiones de los vehículos?

La calidad del combustible afecta íntimamente las emisiones de los vehículos, ya que éstos forman un sistema integrado. El sistema de combustible del vehículo determina la calidad y cantidad de las emisiones y el punto hasta el cual las tecnologías de control de emisiones son capaces de reducir las emisiones. Esto también determina lo bien que funciona el vehículo en general, lo cual afecta a la satisfacción del consumidor. La comprensión de este "acercamiento sistemático" es la clave para comprender cómo afecta el azufre del combustible a las emisiones.

La reducción de los niveles de azufre es especialmente importante para reducir las partículas más pequeñas y puede reducir las emisiones de los vehículos de dos formas:

En primer lugar, la reducción del azufre en los combustibles reduce las emisiones directas, tanto del dióxido de azufre como del sulfato de material particulado de todos los vehículos, viejos y nuevos.²⁴ Las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) de las emisiones de los vehículos diesel y de gasolina y el material particulado de los vehículos diesel tienden a incrementarse en proporción directa a la cantidad de azufre en el combustible. Mientras las partículas de sulfato pueden suponer sólo una pequeña fracción del volumen o cantidad de partículas, las de tamaño fino y ultrafino representan una gran proporción de la cantidad de partículas.²⁵

En segundo lugar, el azufre inhibe o reduce la efectividad de las tecnologías de control de emisión de los vehículos en los automóviles de gasolina y diesel, dando como resultado un incremento en las emisiones de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NO_x) y material particulado (MP). También inhibe o reduce la efectividad de los nuevos sistemas de control de emisión, tales como los convertidores catalíticos avanzados y las trampas de partículas diesel, que pueden reducir mucho más las emisiones de NO_x, HC y de material particulado. En los vehículos de gasolina, los estudios demuestran que al reducir la cantidad de azufre se mejora el funcionamiento del catalizador de tres vías y se reducen las emisiones de HC, CO y NO_x.²⁶

24 Una vez que han sido reducidos los niveles de azufre en el combustible, también deben tenerse en cuenta los niveles de azufre en el aceite del motor. Por ejemplo, para asegurar que no haya ningún escape de aceite en ciertas partes del motor, que comprometan la acción del equipo de control de emisiones sensible al azufre.

25 EPA (2005) Fact Sheet on Diesel Particulates. <http://www.epa.gov/NE/eco/airtox/diesel.html> y: Health Effects Institute (1995) Diesel Exhaust: Critical Analysis of Emissions, Exposure and Chronic Health Effects. <http://www.healtheffects.org/Pubs/diesum.htm>

26 Ver:

* A. M. Hochhauser, C.H. Schleyer and L.I. Yeh, ExxonMobil Research and Engineering Company, and D.J. Rickeard, ExxonMobil Petroleum and Chemical, Impact of Fuel Sulfur on Gasoline and Diesel Vehicle Emissions, SAE conference paper 2006-01-3370

* World Wide Fuel Charter 2006 (4th Edition), pp 16-19, <http://www.autoalliance.org/archives/wwfcbrochure.pdf>

* USEPA (1999), Regulatory Impact Analysis - Control of Air Pollution from Motor Vehicles: Tier 2 Motor Vehicle



Los estándares de emisión de los vehículos y los límites de azufre en el combustible asociado han evolucionado dramáticamente en los últimos 15 años. Una lista detallada de dichos estándares, tanto de vehículos diesel como de gasolina, se encuentra disponible en la página web de Diesel Net.²⁷ Información sobre los impactos de la emisión de azufre en varias tecnologías de control de emisión se puede encontrar en el Worldwide Fuel Charter.²⁸

4.2 Impactos del azufre en los motores diesel y tecnologías para el control de las emisiones

Los motores diesel son usualmente la mejor elección para vehículos comerciales. Estos motores proporcionan importantes ventajas, como economía de combustible y durabilidad, tanto para los grandes camiones de carga pesada y para los autobuses, como para equipos que no circulan por carretera y se utilizan, por ejemplo, en la construcción y en la agricultura. Las innovaciones tecnológicas recientes han mejorado enormemente el funcionamiento de los motores diesel. Esto, junto con la mayor economía de combustible que suponen comparados con los vehículos de gasolina, está haciendo crecientemente popular su utilización en los vehículos de pasajeros.

Las emisiones de escape de diesel son una compleja mezcla de gases, aerosoles líquidos y partículas. Las emisiones preocupantes de los vehículos diesel son el material particulado (MP) y los óxidos de nitrógeno (NOx), mientras que las emisiones de HC y CO son bajas. El material particulado consta de tres fracciones básicas:

- sólidas (partículas de carbono elementales);
- orgánicas solubles (hidrocarburos pesados que se unen las partículas de carbono); y
- sulfatos, producidos por la oxidación del azufre quemado.

Las proporciones relativas de carbono, materiales orgánicos y sulfatos depende de la tecnología del vehículo y del contenido de azufre en el combustible. Las emisiones de material particulado de los vehículos diesel tienen una mayor magnitud que las emisiones de material particulado de los vehículos de gasolina.

Los vehículos sin ningún tipo de control de emisiones se beneficiarán directamente de niveles más bajos de azufre en el combustible mediante las reducciones de emisiones de SO₂ y de material particulado. El beneficio es aun mayor en vehículos con tecnologías de control de emisiones de post-tratamiento, ya que actúan sobre los escapes del motor para eliminar los contaminantes. Como parte del sistema de escape, los sistemas de control convierten o capturan los contaminantes antes de que salgan por el tubo de escape. Todas estas tecnologías son, en cierto modo, sensibles al azufre del combustible.

Emission Standards and Gasoline Sulfur Control Requirements, Appendix B-1. <http://www.epa.gov/otaq/regs/ldhwy/tier-2/frm/ria/r99023.pdf>

* MECA (1998), The Impact of Gasoline Fuel Sulfur on Catalytic Emission Systems. <http://www.meca.org/galleries/default-file/sulfur.pdf>

27 Resumen de estándares de emisión y de regulaciones sobre combustible en el mundo: <http://www.dieselnet.com/standards/>

28 Ver: <http://www.autoalliance.org/archives/wwfcbrochure.pdf>

4.2.1 Nuevos vehículos diesel limpios

Europa, Estados Unidos, Canadá y Japón están en proceso de implementar estándares de emisión de vehículos muy rigurosos. En cada caso, estos países también han actuado para reducir el azufre del combustible para asegurar que las tecnologías de control de emisiones requeridas actúen apropiadamente con la mayor eficiencia. Estos últimos estándares de emisión requerirán que el azufre se reduzca a niveles ultra bajos (por ejemplo 15 ppm o de menos).

Evoluciones del motor

En los últimos 15 años, los fabricantes de motores han introducido una variedad de modificaciones para reducir las emisiones, mejorar su funcionamiento e incrementar su eficiencia. Estas modificaciones incluyen inyección directa, inyección de alta presión, controles de ordenador, inyecciones múltiples, recirculación de gases de escape (EGR, por sus siglas en inglés: Exhaust gas recirculation), y post-enfriamiento. En los Estados Unidos, estas modificaciones han dado lugar a reducciones significativas en las emisiones en general, incluyendo MP y NOx, cuando se las compara con motores diesel no controlados. Aunque la mayor parte de estas tecnologías por sí mismas no requieren niveles específicos de azufre en el combustible, la mayor parte de ellas, si no todas, son más duraderas con combustibles más bajos en azufre, lo cual reduce la corrosión del inyector de combustible y la del anillo del pistón, la acidificación del aceite y el desgaste del motor en general.

La recirculación de gases de escape (EGR) es un diseño de motor modificado que recicla el gas de escape devolviéndolo al sistema de entrada del motor, lo que reduce la temperatura de combustión y por lo tanto la formación de NOx. Esta técnica es ampliamente utilizada en muchos motores modernos, pero no puede ser retro-adaptada. La válvula de control EGR puede sufrir corrosión con altos niveles de azufre, por ello, los niveles de azufre deberían restringirse a un máximo de 500 ppm.

Los sistemas de inyección de alta presión se utilizan para mejorar la eficiencia de la combustión de la mezcla de aire y diesel en los cilindros. Uno de estos sistemas que ha sido introducido, especialmente en Europa, es el denominado motor de ciclo diesel con tecnología "common rail". Como estos sistemas trabajan con una presión muy alta (de hasta 1.800 bar) precisan que el combustible diesel sea de buena calidad, el cual no debería contener ningún tipo de contaminación (por ejemplo de agua y de material particulado). Con la orientación global hacia combustibles bajos en azufre, la nueva tecnología está siendo sólo ensayada y aprobada de manera creciente - y aprobada- por los fabricantes internacionales para los mercados de combustible diesel de alta calidad.

Para responder a los rigurosos estándares de emisiones, los nuevos vehículos deberían responder a alguna combinación de las siguientes tecnologías de control de emisiones.²⁹

²⁹ Hay varias estrategias de control de emisiones previstas para ser incorporadas a los vehículos más limpios. Para estudiar las tecnologías más evolucionadas (en 2001) ver: <http://www.epa.gov/otaq/regs/hd2007/frm/frdslpre.pdf> y <http://www.epa.gov/otaq/regs/hd2007/frm/ria-iii.pdf>



Control de emisiones de material particulado

Catalizador de oxidación diesel: Tras la EGR, los catalizadores de oxidación diesel (DOC, por sus siglas en inglés: Diesel Oxidation Catalyst) son la tecnología de control de emisiones más común en los vehículos diesel actuales. Los DOC oxidan el monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos gaseosos y aerosoles (HCs) en dióxido de carbono y agua. También ayudan a quemar la parte orgánica soluble de las partículas de carbono de hollín y humo. Un DOC puede alcanzar una reducción del 20-50% del total de material particulado, y una reducción en torno al 90% de CO y HC.³⁰ La tecnología DOC y ha sido adaptada a unos 50 millones de automoviles diesel y a unos 1.5 millones de camiones y autobuses en todo el mundo.³¹ Los DOC pueden ser instalados en vehículos nuevos o pueden ser adaptados a vehículos que ya están en uso. Mayores niveles de azufre pueden inhibir el DOC y pueden ser la causa de ineficacia. Cuando los vehículos tienen DOC, los niveles de combustible diesel deberían estar limitados a menos de 500 ppm para evitar la aparición de humo relacionado con el azufre.

Filtro de partículas diesel: Los filtros de partículas diesel (DPF, por sus siglas en inglés: Diesel particulate filter) se colocan en el sistema de escape para recoger cualquier fracción de las partículas pequeñas en el escape, permitiendo que otros gases de escape lo atraviesen. Como las partículas recogidas se acumulan con el tiempo, el DPF ha sido diseñado para limpiar regenerar automáticamente la trampilla. Esto se realiza mediante la oxidación o la combustión de las partículas almacenadas utilizando gases de escape a una temperatura más elevada.³² Es lo que se denomina regeneración pasiva. Otro método es sustituir el filtro periódicamente, lo que se denomina regeneración activa. Algunos DPF llevan incorporado un catalizador que reduce la temperatura de ignición necesaria para oxigenar las partículas almacenadas (DPF catalizado o CDPF).

Más de un millón de vehículos nuevos de pasajeros han sido equipados con DPS en Europa desde mediados de 2000. Desde 2007, cada nuevo vehículo diesel de pasajeros y de vehículos diesel de carga vendidos en los Estados Unidos y en Canadá están equipados con DPF de alta eficiencia.³³ Desde el 1 de septiembre de 2009, todos los automóviles y furgonetas diesel en la Unión Europea tendrán que estar equipados con DPF.³⁴ Los DPS también están siendo incorporados en la actualidad a algunos motores viejos.

Más de 200.000 vehículos de carga pesada en carretera en el mundo han sido readaptados con DPF.³⁵ Los DPF son muy eficaces y han demostrado su capacidad para reducir en torno al 95% de las emisiones de partículas, además de proporcionar un control efectivo de las emisiones de CO y de HC, reduciendo estas emisiones entre 90 y 99% y entre 58 y 82%, respectivamente.

30 MECA, Emissions Control Technologies for Heavy-Duty Trucks and Buses: <http://www.meca.org/page.wv?name=Trucks+%26+Buses§ion=Emission+Control+Technology> and: MECA (2006) Retrofitting Emission Controls on Diesel-Powered Vehicles: [http://www.meca.org/galleries/default-file/MECA%20Diesel%20Retrofit%20White%20Paper%200406%20\(revised\).pdf](http://www.meca.org/galleries/default-file/MECA%20Diesel%20Retrofit%20White%20Paper%200406%20(revised).pdf)

31 MECA (2006) written statement of the Manufacturers of Emission Control Association on the California Air Resources Board's Draft Emission Reduction Plan for Ports and International Goods Movement in California

32 MECA Emissions Controls From Diesel Vehicles. <http://www.meca.org/page.wv?name=Publications§ion=Resources>

33 <http://www.aecc.be/content/pdf/AECC%20Position%20on%20emissions%20control%20technologies%20for%20Euro%205%20&%206%20240506.pdf>

34 Ver: http://www.ec.europa.eu/enterprise/automotive/index_en.htm

35 MECA (2006) written statement of the Manufacturers of Emission Control Association on the California Air Resources Board's Draft Emission Reduction Plan for Ports and International Goods Movement in California

Sin embargo, el azufre reduce enormemente su eficacia. Cuando un DOC oxigena el azufre, el sulfato de material particulado resultante se almacena en el filtro. Lo que incrementa las emisiones y la necesidad de regeneración, reduciendo la economía de combustible del vehículo. Altos niveles de azufre pueden hacer inefectivo el DPF o incluso parar el motor debido a una contrapresión inaceptable. Los DPF no deberían utilizarse con niveles de azufre en el combustible mayores de 50 ppm. También deberían ser usados los aceites de motor con bajo azufre. Los estudios demuestran que los DPF alcanzan mayor eficacia y requieren una regeneración menos frecuente cuando se combinan con niveles de azufre en el combustible de 15 ppm o de menos. Estados Unidos, la Unión Europea y Japón han decidido limitar el azufre en el diesel a 15 ppm o menos para garantizar el funcionamiento óptimo de los DPF.

Filtro de flujo interior: Los filtros de flujo interior (FTF por sus siglas en inglés: Flow-Through Filter) utilizan típicamente diseños de malla acero o de "flujo tortuoso" para ayudar a oxigenar la mayor parte de las partículas. Los FTF son más permeables que los DPF de alta eficacia y pueden ser adaptados a los vehículos diesel de carga pesada más antiguos, especialmente aquellos con controles mecánicos. La tecnología FTF puede ser retro-adaptada en algunos vehículos. El Consejo de los Recursos del Aire de California (CARB, por sus siglas en inglés: California Air Resources Board) ha verificado los FTF utilizando el diesel empleado en promedio en California (150 ppm de nivel medio de azufre en el combustible) y ha encontrado que consigue una reducción del material particulado del 50% o más. Las tecnologías FTF verificadas que utilizan combustible de azufre de 500 ppm están combinadas con un catalizador fuel-borne para alcanzar un nivel similar de reducción de emisiones.

Estas son nuevas tecnologías y requieren la disponibilidad de un catalizador fuel-borne o de combustible bajo en azufre. La efectividad del filtro de flujo interior para reducir las partículas ultrafinas continúa siendo investigada.

Controles de emisión NOx

Se están estudiando diversas tecnologías de control de óxidos de nitrógeno (NOx) para eliminar estas emisiones y permitir que los motores diesel cumplan los más rigurosos estándares de emisión. Aunque los NOx pueden reducirse mediante modificaciones en el motor, como ya hemos señalado (especialmente con la EGR), estas modificaciones normalmente darán como resultado tener que decidir entre controlar el material particulado versus NOx. Las tecnologías de control NOx incluyen absorbentes NOx y reducción catalizadora selectiva.³⁶

Absorbentes NOx: Con el absorbente NOx, las emisiones NOx se oxigenan y se almacenan como nitrato sólido. Cuando el absorbente se satura por completo, un incremento en la relación aire-combustible dispara la liberación de NOx, que entonces se reduce a N₂ al pasar por alto el emplazamiento de un catalizador de metal precioso. Los sistemas de absorción de NOx han demostrado una eficacia del 95% en la conversión de NOx con una penalización nominal de combustible del 1.5% de utilización de combustible extra.³⁷ Lamentablemente, las trampas de NOx también almacenan azufre de manera muy eficiente, siguiendo una pauta reacción casi idéntica a la del nitrógeno. Sin embargo, el SOx almacenado es mucho más duro y consistente y necesita temperaturas más elevadas para ser eliminado. Durante un periodo de tiempo, el azufre del combustible, incluso a bajos niveles, llena la capacidad de las trampas,

³⁶ Muchas de las técnicas de control NOx requieren aceite de motor bajo en azufre

³⁷ Faulkner (2002)



provocando una disminución en su rendimiento. Por ello, los niveles de azufre en el combustible para los absorbentes NOx deben estar próximos a cero (menos de 15ppm). Aunque esta tecnología es prometedora, se encuentra en fase de prueba y aún no está disponible en el mercado.

Reducción catalizadora selectiva: Los sistemas de reducción catalizadora selectiva (SCR, por sus siglas en inglés: Selective Catalytic Reduction) requieren la adición de un reductor para ayudar a convertir el NOx en nitrógeno y oxígeno. El reductor más utilizado es la urea líquida, que se almacena a bordo del vehículo y que debe ser repuesta periódicamente. La SCR ha demostrado reducir el NOx entre el 65 y el 80%. Es importante destacar que esta tecnología evita la pérdida potencial de economía de combustible asociada con otras tecnologías, con una diferencia hasta del 7%.³⁸ Hay que tener en cuenta que, sin el reductor, las emisiones pueden elevarse a los niveles de los motores sin control de emisiones; por ello, la urea debe estar disponible en las áreas donde se utiliza la SCR.

Los sistemas SCR se utilizan en Europa como tecnología de reducción de NOx para cumplir los estándares europeos de diesel de carga pesada. Los sistemas SCR cuentan con un catalizador de oxidación para proporcionar el control requerido de emisiones de NOx. El uso de un catalizador de oxidación para el control de emisiones significa que los sistemas SCR producirán cantidades significativas de partículas de sulfato cuando funcionan con combustibles con elevados niveles de azufre. Por ello, para su correcto funcionamiento, los sistemas SCR necesitan niveles de azufre en combustible de 50 ppm o de menos (dependiendo de la normativa de emisión).³⁹

4.2.2 Acciones para reducir las emisiones de los vehículos diesel actuales

Los vehículos diesel de carga pesada son muy duraderos. En los Estados Unidos, la esperanza de vida de los camiones pesados es de 29 años y de 16 para los autobuses de transporte público.⁴⁰ En otros lugares del mundo, estos vehículos pueden permanecer en la flota incluso más tiempo. Las emisiones tienden a incrementarse con el envejecimiento de los vehículos. Esto significa que cualquier acción asumida para reducir las emisiones mediante la introducción de nuevos estándares no será efectiva durante varios años, ya que el reemplazo de los vehículos más viejos de la flota es de 20 años o más. Por ello, en sus esfuerzos por mejorar la calidad del aire son cada vez más los países que están desarrollando programas para reducir las emisiones de los vehículos más antiguos, así como estándares más estrictos.

Las reformas y readaptaciones de vehículos diesel han sido identificadas como las medidas más rentables para reducir las emisiones a corto plazo. A continuación se presentan cinco enfoques diferentes dirigidos, principalmente, a la flota de vehículos actuales:

38 Johnson, T (2002) Diesel Emissions Control: Last 12 months in Review. Paper presented at the 8th Diesel Emissions Reduction Conference, San Diego, California, 25 to 29 August 2002

39 EPA (2000) Regulatory Impact Analysis: Heavy-Duty Engine and Vehicles Standards and Highway Diesel Fuel Sulphur Control Requirements. Washington, D.C. U.S. Environmental Protection Agency and: Khair, M. (2002) Low Emissions Potential of EGR-SCR-DPF and Advanced Fuel Formulations - A Progress Report. Paper presented at the 8th Diesel Engine Emissions Reduction Conference, San Diego, California, 25-29 August 2002

40 U.S. Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics, 2005. National Transportation Statistics 2005. Washington, D.C. http://www.bts.gov/publications/national_transportation_statistics/

Valoración del potencial para la retro-adaptación

Factores clave a tener en cuenta para llevar a cabo un programa de readaptación:

Selección de la flota: Es importante realizar una valoración detallada para comprender el estado de la flota actual de vehículos para ver cuáles son las estrategias de reducción de emisiones apropiadas para dicha flota.

Disponibilidad de combustible: Es importante asegurar un suministro continuo de los combustibles apropiados con los niveles de azufre requeridos.

Tecnologías validadas: Cuando se evalúan las opciones para la reducción de emisiones, es importante trabajar con tecnologías conocidas y verificadas para garantizar que las configuraciones propias del motor se ajustan a las apropiadas tecnologías de control y que se van a obtener las reducciones previstas. En un programa reciente en la ciudad de México, los autobuses fueron readaptados con DOC y DPF y circularon con combustible diesel bajo en azufre (menos de 15 ppm) durante 11 meses. Las pruebas de emisiones realizadas mostraron una reducción del 20% de material particulado como consecuencia del DOC en los autobuses más antiguos, y una reducción superior al 80% del material particulado por la instalación de filtros de partículas diesel en los autobuses más nuevos. Otras ciudades del mundo han realizado exitosos programas de readaptación, incluyendo Santiago (Chile) y Hong Kong (China). Tanto la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos, como el Consejo de los Recursos del Aire de California (CARB) han verificado programas que proporcionan información clave sobre las tecnologías de control de emisiones diesel y las ventajas que suponen. Para más información sobre estos programas, ver:

<http://www.epa.gov/otaq/retrofit/retroverifiedlist.htm>

<http://www.arb.ca.gov/diesel/verdev/verdev.htm>

REPARAR/RECONSTRUIR - La realización del mantenimiento rutinario y la reconstrucción pueden devolver a muchos motores las especificaciones de los fabricantes y alcanzar beneficios en las emisiones para los que fueron diseñados originariamente.

REPOSTAJE - El uso de combustible diesel más limpio (con menos azufre, por ejemplo) puede reducir directamente las emisiones de pequeñas partículas y posibilita la introducción de tecnologías avanzadas para el control de emisiones.

READAPTACIÓN - Las tecnologías más comunes que se utilizan para la readaptación de vehículos diesel de carga pesada son los catalizadores de oxidación diesel y los filtros de partículas diesel. Los filtros de flujo interior todavía son bastante nuevos y aún no se utilizan comúnmente. Los mecanismos para el control de emisiones diesel pueden ser instalados en una amplia variedad de vehículos, incluyendo camiones de carretera y autobuses, equipos de construcción que no circulan en carretera, equipos agrícolas, etc.

Los catalizadores de oxidación diesel son la opción más sencilla, flexible y menos cara para la readaptación y pueden ser utilizados con 500 ppm, o menos, de azufre en combustible. Un DOC puede alcanzar una reducción del 20-50% del material particulado y del 90% de CO y HC.⁴¹ Los filtros de partículas diesel también son una opción sencilla y eficaz para la

⁴¹ MECA, Emissions Control Technologies for Heavy-Duty Trucks and Buses <http://www.meca.org/page.wv?name=Trucks+%26+Buses§ion=Emission+Control+Technology> and: MECA, Retrofitting Emission Controls on Diesel-Powered Vehicles, April 2006 [http://www.meca.org/galleries/default-file/MECA%20Diesel%20Retrofit%20White%20Paper%200406%20\(revised\).pdf](http://www.meca.org/galleries/default-file/MECA%20Diesel%20Retrofit%20White%20Paper%200406%20(revised).pdf)



readaptación, pero necesitan que el contenido de azufre en el combustible sea menor de 50 ppm -preferiblemente de 15 ppm- y no se pueden instalar en los vehículos diesel más antiguos. Se están desarrollando nuevas tecnologías que tienen otros requisitos, tales como aditivos para el combustible o diferentes niveles de azufre en combustible, (por ejemplo, el filtro de flujo interior).

CAMBIAR EL MOTOR - En algunos casos, el chasis del vehículo o la maquinaria pueden tener una importante vida útil. Las emisiones se puede mejorar quitando el motor por completo e instalando uno nuevo, o menos antiguo, que emita menos contaminantes.

REEMPLAZO - Los motores y equipos diesel fabricados antes de 1990 pueden no estar técnicamente preparados para ser mejorados y los costos pueden ser prohibitivos. En estos casos, el reemplazo del vehículo entero, o de la máquina, podría ser el planteamiento más rentable.

4.3 Los vehículos de gasolina y el azufre

Los principales contaminantes primarios de los vehículos de gasolina son el monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos (HC) y los óxidos de nitrógeno. Comparados con los vehículos diesel, los de gasolina emiten significativamente menos material particulado. Los niveles de azufre en la gasolina tienden a no ser tan altos como los de diesel.

Como ya hemos señalado, la reducción del contenido de azufre en el combustible reducirá inmediatamente las emisiones de material particulado, permitirá que los vehículos actuales equipados con catalizador funcionen más eficientemente y de forma más limpia y permitirá el uso de nuevas tecnologías que reducen las emisiones en mayor medida.

Los catalizadores de tres vías (TWC, por sus siglas en inglés: Three-way Catalysts) - son el dispositivo más común y ampliamente utilizado para reducir las emisiones de los vehículos de gasolina. Los convertidores catalíticos, que contienen estructuras de panales de cerámica recubiertos con metales catalizadores como el paladio, el platino y el rodio, convierten los contaminantes de escape en gases inofensivos antes de que sean emitidos por el tubo de escape. Los catalizadores de dos vías (reducen HC y CO) fueron los primeros en ser introducidos en los Estados Unidos, Canadá y Japón a mediados de los años setenta; los avances de la tecnología condujeron a la introducción de catalizadores de tres vías (que reducen CO, HC y NOx) en la mayor parte de los países desarrollados a principios de los años ochenta y durante todos los noventa. Los catalizadores de tres vías dominan ahora la producción de vehículos nuevos globalmente y en todo el mundo, desde 2000, en torno al 85% de los nuevos vehículos de gasolina tenían convertidor catalítico.⁴²

Para cumplir los estándares de control de emisiones más rigurosos adoptados recientemente en los Estados Unidos, Europa y Japón, los fabricantes han mejorado enormemente la tecnología TWC. Los diseños más avanzados utilizan las células más pequeñas en estructura de panal para incrementar el área de superficie reactiva (densidad celular más elevada), diferentes fórmulas de revestimiento para mejorar la dispersión del grupo de metales preciosos (PGM) -por ejemplo, más área de superficie de conversión PGM para la misma

⁴² MECA Clean Air Facts – Motor vehicle Emission Control: Past, Present, and Future. <http://www.meca.org/galleries/default-file/advancedfact.pdf>

cantidad de masa PGM-, una gestión del oxígeno y una estabilidad termal mejorada, por citar algunos de los avances. Estos catalizadores más avanzados pueden reducir las emisiones a niveles virtualmente insignificantes, dependiendo de la calidad del combustible. El azufre reduce enormemente la eficiencia de estos mecanismos al bloquear los espacios catalizadores activos. Este efecto no es completamente reversible. Aunque la eficiencia de la conversión mejora con el uso de combustible bajo en azufre, no siempre vuelve a su efectividad original tras la desulfurización.⁴³

El impacto del azufre en estos catalizadores más avanzados aumenta su severidad cuando los vehículos y sus equipos de control de emisiones están diseñados para cumplir los estándares de emisión más estrictos.

4.4 El apoyo de la PCFV para la reducción del azufre en los combustibles

La ACFL ha priorizado la reducción progresiva de la gasolina con plomo y la reducción de azufre en los combustibles, junto con la introducción de vehículos más limpios.

Mientras que los países de todo el mundo han adoptado diferentes niveles de azufre en varias etapas de desarrollo, las especificaciones de los países desarrollados tienden a converger numéricamente a un valor de azufre de al menos 50ppm tanto para combustibles diesel como de gasolina. En reconocimiento a ello, el cuarto encuentro mundial de la PCFV, que tuvo lugar los días 14 y 15 de diciembre de 2005 en la sede del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en Nairobi, Kenia, acordó adoptar el siguiente objetivo de la PCFV: "... reducir el azufre en los combustibles para vehículos a 50 ppm, o por debajo, en el mundo, en conjunto con vehículos limpios y tecnologías para vehículos limpios, con hojas de ruta y calendarios elaborados a nivel regional y nacional".

Mediante este objetivo, la Alianza afirma que los países en desarrollo merecen la misma calidad del aire que la de los países desarrollados. Al mismo tiempo, se reconoció que la mejora de la calidad del aire urbano está vinculada a otros objetivos medioambientales y de desarrollo, como la mitigación de la pobreza y el acceso a agua limpia, todo lo cual exige escasos recursos humanos y financieros. Por ello es importante conocer la situación local para determinar el ritmo en que los combustibles con menos azufre deberían ser introducidos, dependiendo, entre otros, de la severidad de los problemas de calidad del aire urbano, de la disponibilidad de vehículos que pueden utilizar combustibles con menos azufre y de las oportunidades futuras para la reducción de las emisiones de los mismos.

La Alianza reconoce que la decisión de reducir el azufre de los combustibles es, en mayor parte, una decisión local, con implicación de todos los actores relevantes, como las refinerías, los fabricantes de automóviles y de motores, las ONGs y los gobiernos de cada país. No obstante, la adopción del objetivo de azufre de 50 ppm es proporcionar un meta para señalar el objetivo último, que hará una importante contribución para reducir la contaminación del aire. Esto puede ser utilizado para el desarrollo de los esfuerzos de armonización de las acciones nacionales y regionales, para el desarrollo de hojas de ruta hacia la calidad de la mejora del combustible y de los vehículos y, en definitiva, para una mejor calidad del aire.

⁴³ USEPA (1999) Regulatory Impact Analysis - Control of Air Pollution from Motor Vehicles: Tier 2 Motor Vehicle Emission Standards and Gasoline Sulfur Control Requirements. <http://www.epa.gov/otaq/regs/ld-hwy/tier-2/frm/ria/r99023.pdf> And: MECA (1998) The Impact of Gasoline Fuel Sulfur on Catalytic Emission Systems. <http://www.meca.org/galleries/default-file/sulfur.pdf>



El principio fundamental, como figura en la declaración de objetivos de la Alianza, es promover y apoyar la introducción de vehículos y combustibles más limpios, en lugar de la imposición de estándares. Por ello, la Alianza está dispuesta a apoyar a los países en desarrollo y en transición en sus esfuerzos para reducir los niveles de azufre en los combustibles.

Tabla 2: Estrategias opcionales para reducir las emisiones de los vehículos

	Para Diesel	Para Gasolina
Si el contenido de azufre es > 500ppm	<p>Hay tecnologías de control de emisiones que puedan ser utilizadas con niveles tan altos de azufre. Sus opciones son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comenzar a reducir los niveles de azufre en el combustible para obtener beneficios inmediatos en las emisiones. • Desarrollar estándares de emisión de los vehículos forzando la introducción de modificaciones del motor, para todos los nuevos vehículos, junto a la reducción de niveles de azufre en el combustible. • Iniciar un programa para reemplazar los vehículos más viejos de la flota. 	<p>Si el nivel de azufre de su gasolina está por encima de 500 ppm, pero por debajo de 1000 ppm, sus opciones son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Solicitar convertidores catalíticos en todos los vehículos nuevos y, simultáneamente, comenzar a reducir los niveles de azufre. • Establecer edades límite para vehículos importados de segunda mano y exigir que tengan convertidores catalíticos.
Si el contenido de azufre es < 500ppm	<p>Se pueden introducir algunas tecnologías avanzadas para el control de emisiones. Sus opciones son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar estándares de emisión para todos los vehículos nuevos, junto a la reducción de los niveles de azufre en el combustible, lo cual introducirá modificaciones adicionales en el motor, como EGR. • Readaptación de los vehículos diesel de carga pesada más viejos con catalizadores de oxidación diesel para reducir HC, CO, y MP, y explorar la aplicabilidad de FTF para mayores reducciones de MP. 	<p>Se pueden introducir tecnologías avanzadas de control de emisiones. Sus opciones son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar estándares de emisión para todos los vehículos nuevos. • Limitar la importación de vehículos de segunda mano a aquellos que tengan convertidores catalíticos.
Si el contenido de azufre es < 50ppm	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar estándares de emisión más estrictos para MP y NOx a los nuevos vehículos diesel para asegurar la introducción de las tecnologías de control más avanzadas. • Las opciones disponibles son: Readaptación de los vehículos de carga pesada más viejos con filtros de partículas, a tono con los requisitos de los filtros, la tecnología del motor y la edad del vehículo. 	<p>Se pueden introducir tecnologías avanzadas de control de emisiones. Sus opciones son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar estándares de emisión más estrictos para todos los vehículos nuevos para asegurar el mayor control de emisiones con las tecnologías más avanzadas. • Establecer limitaciones a la importación de vehículos de segunda mano a aquellos que tengan convertidores catalíticos y cumplan el criterio de funcionamiento prescrito.



5. Acciones para reducir el contenido de azufre en los combustibles

Este apartado discute cómo las decisiones para reducir los niveles de azufre en los combustibles pueden impactar en la infraestructura de suministro de combustible. También hace referencia a otros temas complementarios que deberían ser tenidos en cuenta para reducir el azufre.

5.1 ¿De dónde proviene el azufre?

Tanto los combustibles de gasolina como diesel se producen a partir del petróleo crudo, el cual varía en densidad, gravedad y composición de un campo petrolífero a otro. El azufre está presente en todo el petróleo crudo, pero en diferente grado. Los crudos "dulces", como el de Brent (Mar del Norte) o el nigeriano (Bonny Light) son bajos en azufre, mientras que los crudos de Oriente Medio son relativamente altos en azufre. Los crudos más pesados, principalmente de México y Venezuela, son muy altos en azufre y se denominan crudos "amargos". Los petróleos crudos varían en consistencia, desde la del agua hasta la de sólidos tipo alquitrán; y en color, de claro a negro. Un petróleo crudo "medio" contiene un 84% de carbón, un 14% de hidrógeno, 1-3% de azufre, y menos de un 1% de nitrógeno, oxígeno, metales y sales. La Tabla 3 muestra las características medias de varios crudos.

Tabla 3: Características de distintos aceites crudos⁴⁴

	Crudo ligero ('Dulce')		Crudo con azufre medio		Crudo alto en azufre ("Amargo")	
	Alta gravedad (Bonny Light)	Baja gravedad (Bonny Medium)	Ligero (Murban)	Pesado (North Slope)	Ligero (Arabic)	Pesado (Bachequero)
Gravedad °API	37.6	26.9	39.4	26.8	33.4	16.8
Promedio de azufre (ppm)	1.300 ppm	2.300 ppm	7.400 ppm	10.000 ppm	18.000 ppm	24.000 ppm
Contenido de azufre (amplitud %)	0 - 0.5	0 - 0.5	0.51 - 1.0	0.51 - 1.0	1.0+	1.0+

El azufre puede estar presente en el petróleo crudo como sulfuro de hidrógeno gaseoso (H₂S) o químicamente vinculado a componentes más pesados. Cuando el petróleo crudo pasa por el proceso de convertirse en combustible de gasolina y diesel en la refinería, estos componentes de azufre se dirigen a varios productos combustibles, incluyendo el combustible de gasolina y de diesel. En general, cuanto más elevada es la densidad del petróleo crudo, más difícil es eliminar el azufre que contiene.

⁴⁴ Fuente: US Petroleum Refineries, National Petroleum Council (June 2000)

5.2 ¿Cómo trabajan las refinerías?

La función de una refinería es procesar el petróleo crudo en una variedad de productos con las propiedades adecuadas (incluyendo el contenido de azufre) en las proporciones adecuadas para cumplir las especificaciones locales y la demanda del mercado. Esto requiere una variedad de unidades de procesamiento. Muy brevemente, el proceso de refinamiento es como sigue:

1. El petróleo crudo se divide en diferentes fracciones en la unidad de destilación atmosférica.
2. Las fracciones más ligeras se licuan como gas petróleo.
3. Las siguientes fracciones más ligeras constituyen la nafta, el componente básico de la gasolina. El azufre se elimina de la nafta; la nafta pesada se envía a un reformador para incrementar el octano y la nafta más ligera va a una unidad de isomerización o directamente se convierte en gasolina.
4. El residuo de la unidad de destilación atmosférica (que contiene más azufre que nafta) se convierte en productos más ligeros (diesel). En refinerías "semicomplejas" esto se realiza en una unidad de gasoil termal. En las refinerías "complejas" se realiza en la unidad de destilación al vacío -la cual produce un producto destilado ceroso que debe ser fraccionado en un fraccionador catalítico o en un hidro-fraccionador.⁴⁵ En las refinerías "totalmente complejas", el destilado ceroso de la unidad de destilación al vacío es fraccionado mediante diversos procesos.⁴⁶

Las refinerías también incluyen una variedad de unidades de tratamiento, como la hidro-desulfurización, que posteriormente describiremos con más detalle. Una reciente publicación de IPIECA facilita información adicional sobre las operaciones propias de las refinerías, así como una descripción de diversas unidades de procesamiento.⁴⁷

5.3 Opciones para reducir el azufre en el combustible

5.3.1 Países sin refinerías

Los países sin refinerías - o aquellos que sólo requieren pequeños volúmenes de combustible bajo en azufre - pueden reducir sus niveles de azufre comprándolo en los mercados mundiales. La importación de combustibles con menos azufre ha sido también un paso que han dado países que cuentan con refinerías pero que necesitan cumplir nuevas y más estrictas especificaciones, cuando sus refinerías están todavía en proceso de mejora. Por ejemplo, India y Filipinas importaron temporalmente combustibles más bajos en azufre mientras sus refinerías eran mejoradas para cumplir especificaciones más estrictas.

⁴⁵ Los componentes diesel fraccionados con fraccionador catalítico contienen más azufre que los componentes diesel hidro-fraccionados

⁴⁶ Una refinería con alto grado de complejidad podría tener tantas unidades de procesamiento interconectadas diferentes como 40, diseñadas para optimizar la fabricación de diversos productos a partir del petróleo crudo.

⁴⁷ IPIECA (2006) Fuel sulphur: Strategies and options for Enabling Clean Fuels and Vehicles. <http://www.ipieca.org>



5.3.2 Países con refinerías

Cambiar a un crudo más bajo en azufre

Los países que refinan sus combustibles pueden reducir el azufre en los combustibles que producen utilizando un petróleo crudo más bajo en azufre, en el caso de que sus condiciones específicas lo permitan. Por ejemplo, cambiando del Arab Light (que tiene más de un 1% de azufre) al Nigerian Bonny Light (menos del 0.5% de azufre) se puede reducir el contenido de azufre del componente destilado diesel de 1.05% (10,500 ppm) a 0.13% (1300 ppm). Así, sólo mediante la selección del crudo es factible producir combustible diesel con un nivel de azufre de 1,000 a 2,000 ppm, pero no significativamente más bajo de estas cantidades. Utilizar crudo que proviene de fuentes más bajas en azufre es una estrategia que ha adoptado China. Antes de cambiar de un crudo a otro, los operadores de las refinerías deben tener en cuenta factores como los niveles de gravedad del nuevo crudo para que se ajusten a las especificaciones de diseño de la refinería.

Desulfurización de los componentes de la mezcla

Para producir combustibles con 1.000 ppm o menos de azufre, es importante examinar las opciones para retirar el azufre en fracciones de destilación altas en azufre antes de hacer la mezcla final. La eliminación de azufre se puede realizar tanto cuando el petróleo crudo que se utiliza es más bajo en azufre como cuando es alto. Las refinerías complejas encuentran a menudo más económico invertir en una planta de eliminación de azufre (como una unidad de desulfurización) y utilizarla con petróleo crudo más alto en azufre.⁴⁸ Las refinerías menos complejas pueden tener que elegir entre varias combinaciones de inversión de capital en nuevas unidades de desulfurización y la selección del petróleo crudo.

El hidro-tratamiento es la tecnología más comúnmente utilizada para la desulfurización. Para reducir el azufre de la gasolina, habitualmente es necesario hidro-tratar únicamente la corriente catalítica fraccionada.

La eliminación del azufre del diesel es más complicada y necesita el uso de unidades de alta presión más complejas, lo cual requiere algunas veces dos etapas de tratamiento. El hidro-tratamiento del combustible diesel generalmente mejora sus propiedades e incrementa ligeramente la cantidad de cetano. Sin embargo hay otros temas relacionados con la calidad del producto a tener en cuenta, como se señala en el apartado 5.4.

La otra alternativa para la desulfurización del diesel consiste en construir un hidro-fraccionador. Esta es la opción más cara (de 4 a 5 veces el coste de un hidro-tratador de alta presión), ya que se trata de una planta compleja que requiere una gran cantidad de hidrógeno para funcionar. Un nuevo hidro-fraccionador producirá keroseno bajo en azufre de alta calidad y componentes de combustible diesel. Normalmente, un hidro-fraccionador sólo está justificado comercialmente cuando la refinería tiene por objetivo incrementar la producción de keroseno y de diesel, y no meramente reducir el azufre. Un hidro-fraccionador de tamaño adecuado puede reducir los niveles de azufre en el diesel hasta 50 ppm; cualquier reducción superior requiere tanto de un hidro-fraccionador como de un hidro-tratador.

⁴⁸ Detalles sobre cómo funcionan los procesos de desulfurización pueden encontrarse en: 2006 IPIECA document Fuel sulphur: Strategies and options for Enabling Clean Fuels and Vehicles. <http://www.Ipieca.org>

Cuando se incrementa la demanda de combustibles con menos azufre, las tecnologías para el tratamiento del azufre continuarán mejorando. Las tecnologías más nuevas y alternativas que pueden reducir los costes de funcionamiento, de capital, o ambos, están comenzando a ser utilizadas en algunas refinerías y deberían ser examinadas.⁴⁹

5.4 Reduciendo el azufre del combustible - Consideraciones adicionales

Hay una serie de consideraciones adicionales relacionadas con la reducción de los niveles de azufre mediante la mejora de las operaciones realizadas en la refinería, incluyendo las siguientes:

- Algunas mejoras en los procesos de las refinerías pueden necesitar hidrógeno adicional (un componente crucial en la operación de refinería). Valorar la fuente y el coste del hidrógeno adicional debe formar parte del proceso de toma de decisiones.
- Algunos procesos de refinado tienen también repercusiones en la energía, tanto en términos de energía adicional como en el incremento de las emisiones de CO₂.⁵⁰ Esto también debe ser tenido en cuenta a la hora de explorar opciones para reducir los niveles de azufre en los combustibles.
- Los procesos técnicos para reducir los niveles de azufre en los combustibles deben tener en cuenta las especificaciones sobre combustible de cada país, como las que se refieren a los aromáticos, al cetano y a la lubricidad en el combustible diesel y al octano en la gasolina.
- La desulfurización del combustible diesel puede incrementar ligeramente el cetano, lo que puede mejorar el funcionamiento del motor y reducir el humo. Al mismo tiempo, la desulfurización del diesel también tiende a reducir su lubricidad, esencial para el funcionamiento y la minimización del desgaste de las piezas metálicas móviles, como en un surtidor de combustible rotativo o en el motor. Para corregir esto, hay aditivos y acondicionadores para el combustible.
- Algunos procesos para reducir el azufre pueden también reducir el octano de la gasolina, el cual puede necesitar ser recuperado dependiendo de las especificaciones de combustible de cada país y de los requisitos de los vehículos.
- La desulfurización del combustible diesel tiende también a reducir el contenido aromático; este cambio puede afectar a los precintos de elastómero en el sistema de combustible y provocar escapes.⁵¹ Los vehículos adecuadamente conservados en buen estado, con componentes mejorados, tienen menos posibilidades verse afectados. Por otra parte, un nivel más bajo de aromáticos puede contribuir a reducir las emisiones.⁵²
- Aunque los combustibles más bajos en azufre no precisan un almacenamiento especial, se debe tener cuidado para evitar una contaminación cruzada entre productos con menor y mayor cantidad de azufre (como el combustible utilizado en aviación y el diesel para el transporte terrestre). La contaminación cruzada se puede prevenir mediante procedimientos

49 Véase, por ejemplo, U.S. Environmental Protection Agency (2003) Control of Emissions of Air Pollution from Non-Road Diesel Engines and Fuel, 68 Federal Register 28427 et seq. available at <http://www.epa.gov/fedreg/EPA-AIR/2003/May/Day-23/a9737c.html>

50 El CO₂ – dióxido de carbono- es un gas de efecto invernadero que contribuye al cambio climático global. Report of the Sulphur Working Group of the Partnership for Clean Fuels and Vehicles (PCFV)

51 Véase, por ejemplo.: C.M. Cusano et al. (1994) Changes in Elastomer Swell with Diesel Fuel Composition. SAE 942017. Y: S.D. Robertson et al. (1994) Effect of Automotive Gas oil Composition on Elastomer Behavior. SAE 942018

52 Véase, por ejemplo, U.S.EPA Staff Discussion Document (2001) Strategies and Issues in correlating Diesel fuel Properties with emissions, EPA420-P-01-001



estrictos de control de calidad, como la limpieza con chorros de agua de los camiones cisterna de distribución y la seguridad de contar con instalaciones de almacenamiento adecuadas para los diferentes productos.

- La contaminación de productos que se transportan a través de oleoductos debería ser minimizada. Algunas mezclas tienen lugar en el interfaz entre series, lo cual puede solucionarse ordenando adecuadamente la secuencia de series altos y bajos en azufre (lo que se denomina secuencia específica) o mediante la separación del interfaz. El interfaz puede combinarse con un producto combustible más alto en azufre o reprocesado en una refinería.
- Se debería tener cuidado durante el cambio que se produce al cargar gasolina y diesel en los camiones cisterna y petroleros, ya que los combustibles bajos en azufre tienen una conductividad interna pobre y son más propensos a descargar electricidad estática, lo que hace que puedan chispear y provocar una explosión. Este problema se puede evitar tomando las precauciones adecuadas.



6. Consideraciones adicionales

Este apartado incluye consideraciones adicionales sobre la reducción de los niveles de azufre en los combustibles y los beneficios añadidos que trae consigo, como el incremento en la vida del motor y la reducción de los costes de mantenimiento. Además de otros asuntos a tener en cuenta en el desarrollo de la estrategia, como distinguir entre los niveles para las zonas metropolitanas y las no metropolitanas; así como el tema de la adulteración.

6.1 Áreas metropolitanas vs. zonas rurales

Debido a que las áreas urbanas son las más afectadas por la contaminación del aire, varios países han decidido introducir combustibles más bajos en azufre inicialmente en las ciudades, antes de extender esta medida al resto del país. Por ejemplo, el nuevo estándar para el azufre en los combustibles en México, que introducirá combustible ultra bajo en azufre (15 ppm diesel) en 2007, se centrará primero en la frontera con Estados Unidos, seguido de las áreas metropolitanas (en 2009) y en el resto del país en 2010. En Brasil, la norma es de 2.000 ppm, mientras que en las zonas metropolitanas es de 500 ppm (ver Tabla 1 del Apartado 3). Además de estándares más estrictos y emisiones más bajas, estos "niveles metropolitanos" también permiten la implementación de proyectos de reacondicionamiento, como por ejemplo con la flota de autobuses urbanos, si los niveles son lo suficientemente bajos. Sin embargo, la introducción de combustibles más bajos en azufre sólo en algunas zonas de un país trae consigo problemas, como la no disponibilidad de combustibles más limpios para los automóviles que los necesitan fuera de las zonas metropolitanas y el potencial de emisiones y de contaminación. Por ello, en muchos casos, este acercamiento se utiliza para flotas urbanas que se abastecen de combustible en zonas metropolitanas, como autobuses y taxis. Aún así, como el incremento del uso de la flota traerá consigo un aumento en la demanda de combustible bajo en azufre, es probable que el costo de suministro de combustible disminuya. Esto estimulará la producción adicional y facilitará la expansión en el mercado de combustible más bajo en azufre.

6.2 Corredores para el transporte entre países

Muchos países han comenzado a habilitar corredores para el transporte entre regiones y países. En los Estados Unidos, por ejemplo, se han establecido varios proyectos de corredor a lo largo de la costa oeste (The West Coast Diesel Collaborative), en el medio oeste (The Midwest Clean Diesel Initiative and the Blue Skyways project) y a lo largo de la costa este (The Mid-Atlantic Diesel Collaborative and the Northeast Diesel Collaborative), adelantándose a la regulación nacional para limitar el azufre a menos de 15 ppm.

La West Coast Diesel Collaborative es una alianza entre líderes del gobierno federal, el estado y el gobierno local, el sector privado y grupos medioambientales comprometidos con la reducción de las emisiones diesel a lo largo de la costa oeste. Se centra en la creación, el apoyo y la implementación de proyectos de reducción de emisiones diesel. También trabaja para garantizar la disponibilidad de combustibles limpios para el tráfico de toda la costa oeste del sistema de carreteras de Estados Unidos.⁵³

⁵³ Para más información sobre estas iniciativas, visite las siguientes páginas web:

<http://www.westcoastdiesel.org/>

<http://www.epa.gov/midwestcleandiesel/index.html>

http://epa.gov/region6/6xa/blue_skies_collaborative.htm



Otro ejemplo es el de Rusia, que ha propuesto establecer un corredor para combustible ultra bajo en azufre entre el país y Europa para facilitar los viajes y el comercio utilizando tecnologías de vehículos más nuevas que no pueden operar con combustibles más altos en azufre.⁵⁴

6.3 Sobre vehículos y motores

6.3.1 Mantenimiento de vehículos

Los combustibles más bajos en azufre ayudan a reducir la corrosión y acidificación del aceite de motor, dando lugar a mayores intervalos de mantenimiento y, por lo tanto, reduciendo los costes de dicho mantenimiento.

Tabla 4: Piezas a las que afecta un bajo nivel de azufre en los combustibles diesel⁵⁵

Componentes afectados	Efecto por bajo azufre	Impacto potencial
Anillos de pistón	Reduce el desgaste por corrosión	Aumenta la vida del motor y disminuye la frecuencia de las reconstrucciones.
Camisas de cilindro	Reduce el desgaste por corrosión	Aumenta la vida del motor y disminuye la frecuencia de las reconstrucciones.
Aceite lubricante	Reduce los depósitos y la necesidad de aditivos alcalinos	Reduce el desgaste de anillos de pistón y camisas de cilindro, y disminuye la frecuencia de los cambios de aceite
Escape	Reduce el desgaste por corrosión	Disminuye la frecuencia de la sustitución de piezas

El valor real de los beneficios depende de las circunstancias locales y del uso de los combustibles bajos en azufre a largo plazo. La media de ahorro, estimada por USEPA, es de aproximadamente 1,4 centavos por galón en los vehículos diesel de carga pesada.⁵⁶ Estos beneficios dan como resultado un ahorro de 153 a 610 dólares americanos a lo largo de la vida útil del vehículo.

<http://www.dieselmidatlantic.org/diesel/index.htm>

<http://www.northeastdiesel.org/>

54 Diesel Fuel News (9 June 2003) Russia Transport Ministry floats 2005 ULSD Plan – ultra-low sulphur diesel for international goods carriers. available at: http://www.findarticles.com/p/articles/mi_m0CYH/is_10_7/ai_103382165

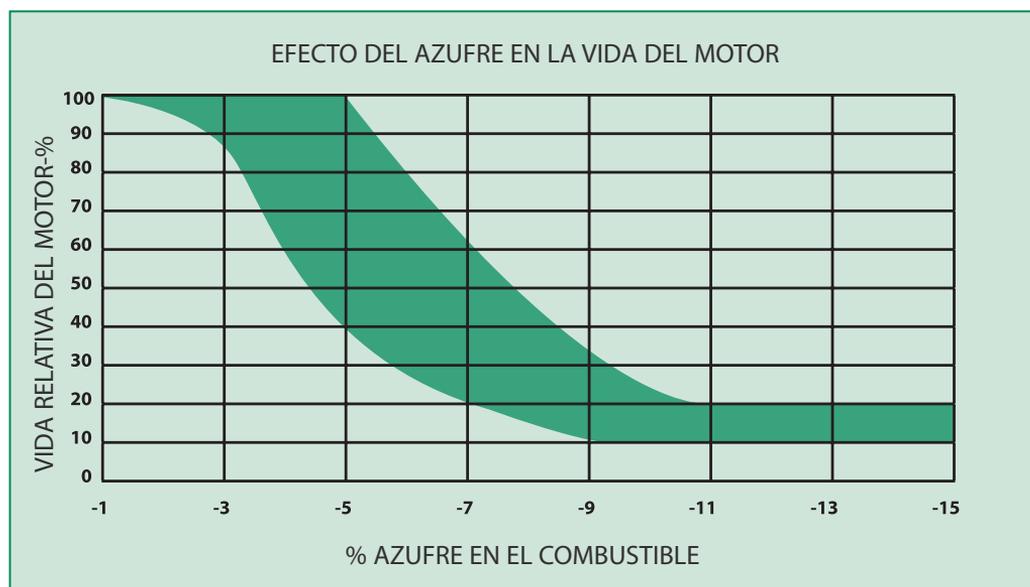
55 <http://www.adb.org/Vehicle-Emissions/General/diesel.asp#2>

56 USEPA (2000) Regulatory Impact Analysis: Heavy-Duty Engines and Vehicles Standards and Highway Diesel Fuel Sulfur Control Requirements. <http://www.epa.gov/otaq/highway-diesel/regs/exec-sum.pdf>

6.3.2 Vida del motor

La presencia de azufre en el combustible reduce significativamente la vida del motor de los vehículos. Esto ocurre especialmente en los casos en los que éste se presenta en altos niveles (por encima de 2.000 ppm). El Gráfico 3, más adelante, muestra el incremento en la vida del motor como resultado de la reducción de los niveles de azufre en el combustible. Partiendo del 1,5% de azufre en el combustible (15.000 ppm) hasta el 0,1% (1.000 ppm), la vida del motor aumenta de un 80 a un 90%.

Gráfico 3: Disminución de la vida del motor por el incremento de niveles de azufre en los combustibles diesel⁵⁷



6.3.3 El azufre en el aceite de motor

Además de en el combustible, el azufre también se encuentra en la mayor parte de los lubricantes utilizados para proteger los motores del desgaste. En la medida en que el aceite de motor fuga hacia la cámara de combustión, el azufre se dirige a la corriente de escape, contribuyendo así a debilitar el funcionamiento de los sistemas de control de emisiones. Cuando bajan los niveles de azufre en el combustible, el impacto relativo del azufre que proviene del aceite de motor se incrementa.⁵⁸ Muchos países desarrollados, especialmente Estados Unidos, Japón y algunos en Europa, utilizan voluntariamente aceite de motor de calidad autorregulado por la industria, debido a la complejidad para garantizar un adecuado lubricante de calidad para los motores. Los países con aceite de motor de baja calidad deberían debatir este tema con la

⁵⁷ <http://www.fleetwatch.co.za/supplements/SADiesel/DieselFactsFictionS.htm> , originally Detroit Diesel Corporation Fuel and Lubrication Service Bulletin

⁵⁸ El aceite de motor puede incluir fósforos y ceniza, que pueden envenenar los sistemas de control de emisiones. Algunos de estos componentes, sin embargo, pueden ser necesarios para proteger los motores de un desgaste excesivo, de forma que la formulación del lubricante debería ser realizada por la industria



industria local (fabricantes de automotores, motor, aceite y aditivos) cuando vayan a adoptar políticas para la reducción del azufre en el combustible.

6.4 Obligatoriedad y cumplimiento

La obligatoriedad es una parte vital para estimular a los gobiernos, compañías y otros actores a cumplir sus obligaciones ambientales. La obligatoriedad disuade a aquellos que, de otra forma, podrían beneficiarse al violar la ley e iguala el campo de juego para aquellos que la cumplen.

La obligatoriedad es crítica para garantizar que la composición de los combustibles cumpla realmente con los estándares y posibilite que las piezas que integran el control de emisiones de los vehículos funcionen tal y como han sido diseñados. Normalmente se requiere que los estándares de combustible para gasolina y diesel sean respetados por las refinerías y los importadores y por otras partes del sistema de distribución del combustible.

6.5 Adulteración

La adulteración del combustible es un problema en todo el mundo y puede tener un efecto negativo en las emisiones de los vehículos a motor. Una forma común de adulteración es la mezcla de combustible diesel con keroseno, más barato y con mayor nivel de azufre.

La obligatoriedad de estándares de combustible en las refinerías y en los surtidores es clave para asegurar la minimización del combustible adulterado. Las páginas web que se facilitan a continuación aportan información adicional sobre la adulteración (además de un caso en India y Nepal, donde continúa siendo un problema):

<http://www.cpcb.nic.in/fueladultration/ch60703.htm>

http://www.cleanairnet.org/caiasia/1412/articles-58998_Fuel_Adulteration_Ale.pdf



Anexo 1 - Principales agentes contaminantes de los vehículos

Contaminante	Impactos en la salud	Problemas adicionales
Material particulado (MP)	<ul style="list-style-type: none"> - Agravamiento del asma. - Disminución de la función pulmonar. - Ataques de corazón. - Muerte prematura - La MP diesel es probablemente un carcinógeno humano. 	<p>Las partículas finas (PM2.5) son emitidas directamente por fuentes de combustión que se forman secundariamente por gases precursores como el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno, o por componentes orgánicos. Las PM2.5 son altamente preocupantes porque pueden penetrar profundamente en los pulmones. Las partículas finas pueden permanecer en la atmósfera durante días o semanas y pueden viajar por la atmósfera cientos y miles de kilómetros.</p>
Hidrocarburos (HC)	<ul style="list-style-type: none"> - Incluye muchos componentes tóxicos que provocan cáncer y otros efectos perjudiciales para la salud. 	<p>Los hidrocarburos también reaccionan con los óxidos de nitrógeno en presencia de la luz solar para formar ozono. En áreas urbanas típicas, una parte muy significativa proviene de fuentes móviles.</p>
Óxidos de nitrógeno (NOx)	<ul style="list-style-type: none"> - Reacciona con los hidrocarburos para formar ozono, lo que puede disparar serios problemas respiratorios. - Reacciona para formar partículas de nitrato y aerosoles ácidos, así como NO2, lo cual provoca problemas respiratorios. 	<p>Hacen referencia a diversos componentes y derivados de la familia de los óxidos de nitrógeno, incluyendo dióxido de nitrógeno, ácido nítrico, óxido nitroso, nitratos y óxido nítrico. Es uno de los principales ingredientes implicados en la formación de ozono a nivel del suelo. Reacciona en la atmósfera para formar partículas de nitrato y aerosoles ácidos. Los óxidos de nitrógeno y los contaminantes que forma se pueden trasladar a grandes distancias.</p>
Óxidos de azufre (SOx)	<ul style="list-style-type: none"> - Contribuye a las enfermedades respiratorias, particularmente en los niños y en las personas mayores. - Agrava las enfermedades de corazón y de los pulmones. 	<p>Contribuye a la formación de partículas atmosféricas que dificultan la visibilidad; se puede trasladar a largas distancias y depositarse muy lejos de su punto de origen.</p>
Ozono (O3)	<ul style="list-style-type: none"> - Dispara serios problemas de salud incluso a muy bajos niveles; puede provocar un daño permanente en los pulmones tras una exposición prolongada; contribuye a la muerte prematura 	<p>El ozono a nivel del suelo no es emitido directamente por los escapes del vehículo, pero es producto de las reacciones en las que están implicados los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno en presencia de luz solar.</p>
Monóxido de carbono (CO)	<ul style="list-style-type: none"> - En niveles elevados es venenoso incluso para las personas con buena salud en niveles elevados en el aire. Los bajos niveles pueden afectar a personas con enfermedades de corazón. Puede afectar al sistema nervioso central; provocar muerte prematura y reducir el peso de los recién nacidos. 	<p>Los vehículos de motor son los mayores contribuyentes a los niveles de CO en las ciudades (95% en ciudades estadounidenses).</p>

Fuentes:

USEPA - www.epa.gov/air/urbanair/6poll.html

The American Medical Association (292: 19; 17 November 2004).



Anexo 2 - Niveles de azufre por países en zonas de países en desarrollo (en diciembre de 2006)

Latinoamérica y Caribe - Niveles de azufre en combustible diesel

PAÍS	Nivel de azufre (ppm)	COMENTARIOS	FUENTE
Anguilla			
Antigua y Barbuda			
Argentina	1.500/2.500	1.500 ppm en áreas metropolitanas y 2.500 ppm en áreas no metropolitanas; objetivo de 50 ppm en 2009	ARPEL 2005; IFQC 2004
Aruba			
Bahamas			
Barbados			
Belice			
Bermuda			
Bolivia	500		ARPEL 2005
Brasil	500/2.000	500 ppm en áreas metropolitanas y 2.000 en el país; se está debatiendo el objetivo de 50 ppm para 2009	Ford Brasil
Islas Caimán (BVI)			
Chile	50/350	50 ppm en áreas metropolitanas y 350 en el país; en 2010, planes de 10 ppm en zonas metropolitanas y de 50 ppm en el país	CONAMA Chile
Colombia	1.200/4.500	1.200 ppm en Bogotá, 4.500 ppm en el resto del país; se está preparando para 2008 o 2010 legislación para 500 ppm en diesel	Universidad Nacional de Colombia
Costa Rica	4.500	Planes en marcha para una reducción a 4.000 ppm en 2005/2006, 3.500 ppm en 2006 y 500 ppm en 2008	ARPEL 2005; Kukulcan Foundation Workshop Report, Guatemala 2004
Cuba			
Dominica			
República Dominicana			
Ecuador	500/7.000	Premium/Regular	ARPEL 2005

El Salvador	5.000		Kukulkan Foundation Report; ARPEL 2005 está de acuerdo
Guayana Francesa			
Granada			
Guatemala	5.000		Kukulkan Foundation Report; ARPEL 2005 está de acuerdo
Guyana			
Haiti			
Honduras	5.000		Kukulkan Foundation Report; ARPEL 2005 está de acuerdo
Jamaica			
México	300/500	300 en áreas metropolitanas y 500 en no metropolitanas. NOM-086 exige la reducción a 15 ppm desde 2007 en la frontera con Estados Unidos, en las ciudades a principios de 2009 y en el resto del país desde mediados de 2009.	SEMARNAT, PEMEX
Montserrat			
Nicaragua	5.000		ARPEL 2005
Panamá	5.000		Kukulkan Foundation Report; ARPEL 2005 está de acuerdo
Paraguay	5.000		IFQC 2004; ARPEL 2005 está de acuerdo
Perú	3.000/5.000	Para diesel grado 1 y diesel grado 2, el gobierno decreta en 2005 el objetivo de 50 ppm para 2010.	USEPA Daily Environment Report; ARPEL 2005 afirma que el nivel de azufre es de 5000/7000 ppm
Puerto Rico			
San Cristóbal y Nieves			
Santa Lucía			
San Vicente y las Granadinas			
Surinam	5.000		ARPEL 2005
Trinidad y Tobago	1.500		ARPEL 2005
Islas Turcas y Caicos			



Uruguay	8.000	Objetivo en 2006 de 2500 (ARPEL 2005)	IFQC 2004; ARPEL 2005 está de acuerdo
Venezuela	5.000		IFQC 2004; ARPEL 2005 está de acuerdo
Islas Vírgenes			
Total: 42 países			

Referencias:

ARPEL July 26, 2005 Correspondencia personal

IFQC 2004 <http://www.worldfuelsconferences.com/images/ee04/Pye.pdf>

La Fundación Kukulkan celebró un taller sobre Combustibles y Vehículos Limpios en América Central en la ciudad de Guatemala, abril 2004

Michael Walsh, International Consultant, Global Clean Fuels Overview, June 26, 2005

SEMARNAT, PEMEX Announcement of Low Sulphur Diesel, December 2005 http://portal.semarnat.gob.mx/comunicacionsocial/boletines_2005_275.shtml

Asia occidental, Oriente Medio y Africa del Norte - Niveles de azufre en combustible diesel

PAÍS	Nivel de azufre (ppm)	COMENTARIOS
Argelia	900	Crudo muy dulce. No hay planes para procesar el crudo más a fondo.
Bahrein	5.000 (500)	Se reducirá más hacia 2007. Algo de bajo en azufre disponible.
Egipto	5.000	Sin planes para reducir los niveles. Estándar de 10.000 ppm.
Iran	5.000	Estándar de 10.000 ppm.
Iraq	10.000	Estándares reales de 25.000 ppm. Sin planes.
Israel	50	
Jordania	9.000	Estándares reales de 12.000 ppm. Sin planes.
Kuwait	3.500	Estándares reales de 5.000 ppm. Sin planes.
Líbano		No hay información.
Libia	1.000	Estándares en torno a 1.500 ppm.
Marruecos	10.000 (350)	Introducción de 350 ppm de azufre en diesel en una base muy limitada.
Omán	5.500	Estándares reales de 10.000 ppm. Sin planes.
Palestina	10.000	Adquiere el combustible de Jordania, que tiene 10.000 ppm.
Qatar	5.000	
Arabia Saudita	5.000	Estándares actuales de 10.000 ppm. Planes para llegar a 500 ppm hacia 2007 y 50 ppm en el futuro.
Siria	6.500	Estándares reales de 7.000 ppm.
Túnez	10.000	Estándares reales de 10.000 ppm. Cambio en 2011.
Emiratos Árabes Unidos	5.000	Planes para llegar a 2.500 ppm a finales de 2005 y a 50 ppm hacia 2010.
Yemen	10.000	No hay estándares actuales. El crudo del país es un tanto dulce, pero se exporta. Mejoras hacia 2010.
Total: 19 países		

Referencias:

MW = Mike Walsh Global Clean Fuels Overview, Memorando enviado por e-mail el 26 de junio de 2005.

IFQC = International Fuel Quality Centre, July 2005

Representante del país = Basado en información obtenida a través de varios representantes del país en el congreso de UNEP/PCFV en Beirut en 2004.



África subsahariana - Niveles de azufre en combustible diesel

PAÍS	Nivel de azufre (ppm)	COMENTARIOS	FUENTE
Angola	3.000		Fred Sexsmith
Benin	5.000	Importaciones de Costa de Marfil y Nigeria.	Reunión de la PCFV en Benín.
Botswana	500	Suministrado por Sudáfrica.	
Burkina Faso	5.000		Contacto en el país (Zéphirin Ouedraogo).
Burundi	5.000	Importaciones de Tanzania y Kenia.	
Camerún	5.000		Estándares de Camerún/contacto en el país (Molo Yenwo).
Cabo Verde			No hay información.
República Central Africana	3.000-5.000	Importaciones de gasolina de Camerún.	
Chad	5.000	Importaciones de gasolina de Camerún y Nigeria.	
Comores			No hay información.
Congo (Brazzaville)	10.000	Nivel real, según el contacto en el país, 1.000ppm.	Fred Sexsmith/Contacto en el país (Séraphin Ele).
República Democrática del Congo	3.500		Fred Sexsmith
Costa de Marfil	5.000		Estándares del país.
Yibuti	5.000		No hay información.
Guinea Ecuatorial	5.000-8.000	Suministrado por Camerún y Gabón.	
Eritrea	7.000		Fred Sexsmith
Etiopía	10.000		Fred Sexsmith
Gabón	8.000	Intenta llegar a 5.000 ppm en 2010.	Reunión del Banco Mundial (Bruselas).
Ghana	5.000		Estándares del país.
Guinea	5.000	Suministrado por Senegal.	
Guinea-Bissau	5.000	Suministrado por Senegal.	
Kenia	10.000 – doméstico 5.000 – importado	Una compañía de aceite ya está importando 2.000ppm	Estándares del país.

Lesotho	500	Suministrado por Sudáfrica.	
Liberia	5.000	Suministrado por Senegal.	
Madagascar	5.000		Fred Sexsmith
Malawi	5.000		Estándares del país.
Mali	5.000	Importaciones de Senegal	
Mauritania	5.000		Fred Sexsmith
Mauricio	2.500		Fred Sexsmith
Mozambique	5.000		Estándares del país.
Namibia	500	Importaciones de Sudáfrica.	
Niger	10.000		Fred Sexsmith
Nigeria	3.000	Nivel real de 1.330 ppm	Contacto en el país (Aminu Jalal)
La Reunión			No hay información.
Ruanda	5.000	Importaciones a través de Kenia y Tanzania.	
Santo Tomé y Príncipe	3.000		Fred Sexsmith
Senegal	5.000		Estándares del país/ contacto en el país (Ibrahima Sow).
(Islas) Seychelles			No hay información.
Sierra Leona	5.000	Importaciones de Senegal.	
Somalia			No hay información.
Sudáfrica	500	50ppm en 2010. El grado 50ppm ya está disponible.	Estándares del país/ contacto en el país (Stuart Rayner).
Sudán	11.000		Del contacto en la compañía de aceite (Muthuma - Kenia).
Suazilandia	500	Importaciones de Sudáfrica.	
Tanzania	5.000		Estándares del país.
Gambia	5.000	Importaciones de Costa de Marfil.	Reunión de la PCFV.
Togo	5.000	Importaciones de Costa de Marfil y de Nigeria.	
Uganda	5.000	Importaciones a través de Kenia y Tanzania.	
Zambia	7.500		Estándares del país.



Zimbabwe	5.000	Importaciones a través de Mozambique.	
Total: 49 países			

Referencias:

Fred Sexsmith: Consultor del Banco Mundial, mayo de 2005

Diversos Estándares del País y contactos

Encuentros patrocinados por UNEP/PCFV en Benín, Gambia, 2004 y 2005

World Bank Clean Air Initiative in Sub-Saharan African Cities Meetings in Brussels, Belgium 2004 and Dakar, Senegal 2005

Europa Central y del Este y Asia Central - Niveles de azufre en combustible diesel

PAÍS	Nivel de azufre (ppm)	COMENTARIOS	FUENTE
Albania	2.000/350	2.000 ppm, producido por refinería doméstica. 350 ppm, importado.	REC Survey*
Armenia	5.000	Utiliza el estándar GOST 305/82 (Russian Gosudarstvennye Standarty State Standard Gost), 2000 ppm	
Azerbaijón	2.000	Utiliza el estándar GOST 305/82. Dos refinerías. Reducción del contenido de azufre en diesel a 2.000 ppm hacia 2005 y a 500 ppm hacia 2015.	Alexander's Gas and Oil
Bielorrusia	350	Un Nuevo estándar interestatal idéntico al estándar europeo en 1993, EN 228:1993, se impuso en septiembre de 1993, pero el combustible no cumple todavía por completo este estándar.	Ministerio de Asuntos Económicos.
Bosnia Herzegovina	350	Del 97 al 100%, importado de países vecinos. Estándares nacionales de 350 ppm.	REC Survey
Bulgaria	350/50	El estándar nacional será de 50 ppm el 1 de enero de 2007. El 70% del diesel vendido tiene 50 ppm. Estándar nacional actual de 350 ppm.	REC Survey 2004 informe anual
Croacia	50	Planes para adoptar la Directiva de la Unión Europea 2003/17/EC hacia 2009 (10 ppm). Las refinerías croatas actualmente no pueden producir el estándar de calidad de combustibles de la UE, pero se modernizarán para producir estos combustibles hacia 2009.	REC Survey
Chipre	50		
República Checa	50	Producción de combustible diesel ultra bajo en azufre (50 ppm) planificado para 2005.	REC Survey
Estonia	50		REC Survey. El muestreo refleja una media de 175 ppm.
Georgia	5.000	Utiliza el estándar GOST 305/82.	
Hungría	10		REC Survey
Kazajstán	5.000	Utiliza el estándar GOST 305/82.	Alexander's Gas and Oil
Kirguizistán	5.000	Utiliza el estándar GOST 305/82.	
Letonia	50		REC Survey



Lituania	50		REC Survey. El muestreo refleja una media de 126.82 en verano y de 135.57 en invierno.
Macedonia	2.000	El estándar nacional es de 2.000 ppm para diesel. Esta clase es, en su mayor parte, importada.	National Spec REC Survey. El muestreo indica un máximo de 1.900 ppm.
Montenegro	50	Desde el 1 de enero de 2006, se exige que todas las importaciones de combustible tengan la calidad de la Unión Europea.	REC Survey
Malta	50		
Moldova	2.000	Utiliza el estándar GOST 305/82.	
Polonia	50	El estándar nacional es el de la Directiva de la Unión Europea 98/70/EC. El nivel real de azufre es de 50 ppm.	REC Survey. Indica que el estándar nacional es de 350, pero el que se utiliza es de 50 ppm.
Rumania	350/50	Petrom y Rompetrol ya producen diesel tan bajo en azufre como 10 ppm. La legislación nacional armonizó con la Directiva de la Unión Europea 98/70/EC (de 50 ppm).	REC Survey. El muestreo indica un máximo de 246 ppm.
Federación Rusa	2.000/5.000	Lukoil ha lanzado la producción de diesel Euro 4 (50 ppm) para el tráfico de camiones/autobuses de cruce de fronteras entre Europa y Rusia. La mayoría del combustible diesel es de 2.000 ppm o inferior, aunque todavía se vende de 5.000 ppm.	
Serbia	10.000	Las refinerías domésticas producen diesel de 10.000 ppm y de diesel grado 'EKO' de a 350 ppm, con muy pocas cantidades de diesel de 50 ppm producido en la refinería Pancevo refinery. Importa diesel más bajo en sulfuro en cantidades limitadas.	REC Survey. El muestreo refleja una media de 6.940 ppm.
Eslovaquia	10		REC Survey. El muestreo refleja una media de 264.5 en verano y de 262.9 en invierno.
Eslovenia	50		REC Survey. El muestreo indica una media de 263.
Tayikistán	5.000	Utiliza el estándar GOST 305/82.	
Turquía	7.000 / 50	La legislación del país limita los niveles de azufre en diesel a 350 ppm, con un periodo de transición para un máximo de contenido en azufre en diesel de 7.000 ppm (el 75% de la cuota de mercado en 2005) hasta 2007. Entre 2007 y 2009, la regulación permite comercializar combustible diesel de 10 ppm de azufre, con un periodo de transición de 50 ppm.	REC Survey. Indica un uso real de 7.000 ppm, con el objetivo de llegar a 350 en 2007.



Turkmenistán	5.000	Utiliza el estándar GOST 305/82.	Gobierno de Turkmenistán
Ucrania	2.000	Utiliza el estándar GOST 305/82.	UNECE
Uzbekistán	5.000	Utiliza el estándar GOST 305/82.	UNECE
Total: 31 países			

* REC. Estudio que informa sobre el año 2003, a no ser que se indique otra fecha.

Referencias:

Alexander's Gas and Oil <http://www.gasandoil.com>

Diesel Fuels News Article on Russia, May 12, 2003 http://www.findarticles.com/p/articles/mi_m0CYH/is_9_7/ai_102090268

Gobierno de Turkmenistán, <http://www.turkmenistan.ru>

Lukoil Press Release, June 17, 2005 http://www.lukoil.com/press_6_5div__id_21_1id_22357_.html

Michael Walsh Global Clean Fuels Overview, Memorando enviado por e-mail el 26 de junio de 2005.

UNECE, www.unece.org



Asia-Pacífico – Niveles de azufre en combustible diesel

PAÍS	Nivel de azufre (ppm)	COMENTARIOS	FUENTE
Afganistán	> 10.000	No hay estándares o planes en marcha.	MW
Bangladesh	5.000	Se están debatiendo los estándares Euro 1 (2.000 ppm).	ASCOPE, MW
Bhután	2.500	No hay planes conocidos.	UNEP ROAP
Brunei	1.000		ASCOPE
Camboya	1.500	No hay hoja de ruta o estándares formales de emisiones.	ASCOPE, MW
China	500	Planes para utilizar Euro 3 y quizá 4 hacia 2010.	MW y representante del país.
China, Macao	50	Planes para utilizar Euro 5 (10-15 ppm) hacia 2007.	MW, ASCOPE
China, Taiwán	100	Planes para cambiar a Euro 4 (50 ppm) hacia 2010.	ASCOPE, MW
Islas Cook			
República Popular Democrática de Corea			
Fiyi			
India	500	Planes para utilizar Euro 3 (350 ppm) hacia 2010.	ASCOPE, ADB
Indonesia	2.000	Actualmente utiliza Euro 1 (2.000 ppm) y hay planes para utilizar Euro 3 después de 2010.	
Japón	50	Planes para utilizar Euro 5 (10-15 ppm) hacia 2007.	MW
Kiribati			
Laos			
Malasia	500	Planes para utilizar Euro 4 (50 ppm) hacia 2009-2010.	ADB, ASCOPE
Maldivas			
Islas Marshall			
Micronesia			
Mongolia			
Myanmar			
Nauru			

Nepal			
Niue			
Pakistán	5.000	Planes para utilizar 1.000 ppm en 2005.	
Palau			
Papúa Nueva Guinea			
Filipinas	500	Se está debatiendo utilizar Euro 4 (50 ppm) hacia 2010.	
República de Corea	100	Planes para utilizar Euro 4 (10-15 ppm) hacia 2007.	ASCOPE, MW
Samoa			
Singapur	500	Plans to go to Euro 4 (50 ppm) by 2006	ASCOPE, WF, MW
Islas Salomón			
Sri Lanka	2.000	Mantiene sus estándares. No se han tomado decisiones para reducir el azufre.	MW
Tailandia	150	Planes para utilizar Euro 4 (50 ppm) hacia 2010.	ASCOPE
Timor oriental			
Tokelau			
Tonga			
Tuvalu			
Vanuatu			
Vietnam	500	Planes para reducir el azufre a 150 ppm hacia 2010.	ASCOPE
Total: 41 países			

Referencias:

MW = Mike Walsh Global Clean Fuels Overview, Memo sent via email on June 26, 2005

ADB = Asian Development Bank, 2003

UNEP ROAP = National State of the Environment publication by the UNEP Regional Office for Asia and the Pacific, 2001.

ASCOPE = Asian Council on Petroleum, Hart's WFC Nov, 2004

