



Combustibles y tecnologías vehiculares más limpios

Módulo 4a

Transporte Sostenible:

Texto de Referencia para formuladores de políticas públicas en ciudades de desarrollo

VISIÓN GENERAL DEL TEXTO DE REFERENCIA

Transporte Sostenible: Texto de Referencia para formuladores de políticas públicas en ciudades de desarrollo

¿Qué es el Texto de Referencia?

Este *Texto de Referencia* sobre Transporte Urbano Sostenible aborda las áreas claves de un marco general para una política de transporte sostenible en una ciudad en desarrollo. El *Texto de Referencia* consta de más de 20 módulos.

¿Para quién es?

El *Texto de Referencia* se ha diseñado para formuladores de políticas en ciudades en desarrollo y sus asesores. Este grupo objetivo se refleja en el contenido, que proporciona herramientas apropiadas de políticas para su aplicación en una serie de ciudades en desarrollo.

¿Cómo se debe utilizar?

Estos módulos deben ser proporcionados a los oficiales involucrados en transporte urbano según se necesiten. El *Texto de Referencia* puede ser fácilmente adaptado para ajustarse a un evento de entrenamiento formal y corto, o puede servir como una guía para desarrollar un programa de entrenamiento en transporte urbano. GTZ está elaborando los paquetes de entrenamiento de módulos selectos, disponibles desde 2004.

¿Cuáles son algunas de sus características claves?

Las características claves del *Texto de Referencia* incluyen:

- Una orientación práctica, centrándose en mejores prácticas en planificación y regulación y, cuando es posible, experiencias exitosas en ciudades en desarrollo;
- Los colaboradores (autores) son expertos internacionales en sus campos;
- Una diagramación atractiva, en color y fácil de leer;
- Lenguaje no-técnico (hasta donde es posible), con los términos técnicos explicados;
- Actualizaciones vía Internet.

¿Cómo conseguir una copia?

Por favor visite <http://www.sutp.org> o <http://www.gtz.de/transport> para obtener detalles. El *Texto de Referencia* no se vende con ánimo de lucro. Cualquier cobro es utilizado para cubrir los costos de impresión y distribución. También se puede ordenar a transport@gtz.de.

Comentarios o sugerencias

Damos la bienvenida a cualquiera de sus comentarios o sugerencias, en cualquier aspecto del *Texto de Referencia*, por correo a transport@gtz.de, o por correo postal a:

Manfred Breithaupt
GTZ, Division 44
P. O. Box 5180
65726 Eschborn / Germany

Más módulos y recursos

Se desarrollarán más módulos en las siguientes áreas: *Financiación de Transporte Urbano* y *Benchmarking*. También habrá recursos adicionales, y existe un CD-ROM de fotos de Transporte Urbano.

Módulos y colaboradores

Visión General del Texto de Referencia y Temas Transversales sobre Transporte Urbano

Orientación institucional y de políticas

- 1a. *El papel del transporte en una política de desarrollo urbano* (Enrique Peñalosa)
- 1b. *Instituciones de transporte urbano* (Richard Meakin)
- 1c. *Participación del sector privado en la provisión de infraestructura de transporte urbano* (Christopher Zegras, MIT)
- 1d. *Instrumentos económicos* (Manfred Breithaupt, GTZ)
- 1e. *Cómo generar conciencia ciudadana sobre transporte urbano sostenible* (Carlos F. Pardo, GTZ)

Planificación del uso de suelo y gestión de la demanda

- 2a. *Planificación del uso del suelo y transporte urbano* (Rudolf Petersen, Wuppertal Institute)
- 2b. *Gestión de la movilidad* (Todd Litman, VTPI)

Transporte público, caminar y bicicleta

- 3a. *Opciones de transporte público masivo* (Lloyd Wright, University College London; Karl Fjellstrom, GTZ)
- 3b. *Sistemas de bus rápido* (Lloyd Wright, University College London)
- 3c. *Regulación y planificación de buses* (Richard Meakin)
- 3d. *Preservar y expandir el papel del transporte no motorizado* (Walter Hook, ITDP)
- 3e. *Desarrollo sin automóviles* (Lloyd Wright, University College London)

Vehículos y combustibles

- 4a. *Combustibles y tecnologías vehiculares más limpios* (Michael Walsh; Reinhard Kolke, Umweltbundesamt-UBA)
- 4b. *Inspección, mantenimiento y revisiones de seguridad* (Reinhard Kolke, UBA)
- 4c. *Vehículos de dos y tres ruedas* (Jitendra Shah, World Bank; N.V. Iyer, Bajaj Auto)
- 4d. *Vehículos a gas natural* (MVV InnoTec)
- 4e. *Sistemas de transporte inteligentes* (Phil Sayeg, TRA; Phil Charles, University of Queensland)
- 4f. *Conducción racional* (VTL; Manfred Breithaupt, Oliver Eberz, GTZ)

Impactos en el medio ambiente y la salud

- 5a. *Gestión de calidad del aire* (Dietrich Schwela, World Health Organisation)
- 5b. *Seguridad vial urbana* (Jacqueline Lacroix, DVR; David Silcock, GRSP)
- 5c. *El ruido y su mitigación* (Civic Exchange Hong Kong; GTZ; UBA)

Recursos

6. *Recursos para formuladores de políticas públicas* (GTZ)

Combustibles y tecnologías vehiculares más limpios

Los hallazgos, interpretaciones y conclusiones expresados en este documento están basados en la información compilada por GTZ y sus consultores, socios y contribuyentes con base en fuentes confiables. No obstante, GTZ no garantiza la precisión o integridad de la información en este libro, y no puede ser responsable por errores, omisiones o pérdidas que surjan de su uso.

Sobre los autores

Reinhard Kolke es ingeniero en ciencias ambientales y energía. Se graduó de FH Aachen con una tesis en el análisis de la cadena de combustibles para vehículos alternativos. Desde 1993 trabaja para la Agencia Federal Alemana del Medio Ambiente (UBA) como experto en tecnologías futuras para el tránsito vial y estrategias para la reducción del dióxido de carbono en el sector tránsito. Otros intereses se refieren a cumplimiento en el uso, inspección y mantenimiento. Es uno de los autores de los estudios de la UBA sobre “Automóviles para Pasajeros 2000” y “Vehículos Pesados 2000”, preparados para la discusión de los estándares de emisión europeos, EURO 3 y 4, así como autor de un estudio sobre celdas de combustible en el transporte.

Michael P. Walsh es ingeniero mecánico y ha dedicado toda su carrera a trabajar en temas relativos al control de la contaminación de vehículos a motor a nivel local, nacional e internacional. Desde la primera mitad de su carrera hasta hoy desempeñó servicios para el gobierno, inicialmente con la Ciudad de Nueva York y luego con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Con cada uno de ellos, ocupó el cargo de director en todas las iniciativas relativas a control de contaminación de vehículos. Desde que dejó su puesto con el gobierno, se ha convertido en un consultor

independiente que asesora a gobiernos e industrias en todo el mundo. Michael P. Walsh ha sido recientemente elegido como el primer galardonado con el premio que otorga la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos por su vida de logros permanentes en el control de la contaminación del aire. El premio, en honor a Thomas W. Zosel, fue otorgado por “logro destacado, liderazgo demostrado y compromiso permanente en la promoción del aire limpio”.

Autor Michael Walsh
Reinhard Kolke (Umweltbundesamt)

Editor Deutsche Gesellschaft für
Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH
P.O. Box 5180
D - 65726 Eschborn, Alemania
<http://www.gtz.de>

Division 44, Medio Ambiente e Infraestructura
Proyecto sectorial:
"Servicio de Asesoría en Política de Transporte"

Por encargo de
Bundesministerium für wirtschaftliche
Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ)
Friedrich-Ebert-Allee 40
D - 53113 Bonn, Alemania
<http://www.bmz.de>

Gerente Manfred Breithaupt

Equipo Editorial Manfred Breithaupt, Stefan Opitz,
Karl Fjellstrom, Jan Schwaab
Deseamos agradecer la ayuda brindada por el señor Karl Fjellstrom en la revisión y crítica de todos los artículos escritos, en la identificación de los colaboradores y la coordinación con ellos, y por sus aportes relacionados con todos los aspectos de la confección del Texto de Referencia, además de su supervisión editorial y organizacional durante todo el proceso de desarrollo del Texto de Referencia, desde su concepción inicial hasta el producto final.

Foto de portada Karl Fjellstrom
Una estación de servicio en Curitiba, Brasil
Febrero de 2002

Diagramación Klaus Neumann, SDS, GC

Traducción Esta traducción ha sido inicialmente realizada por Miguel Moyano, Montevideo, y revisada en 2006 por Carlos F. Pardo, Bogotá. GTZ no se hace responsable por esta traducción o por cualquier error, omisión o pérdida derivados de su uso.

Eschborn, 2006

1. Antecedentes e introducción.....	1	6. Combustibles alternativos.....	13
2. Estrategias integradas para la reducción de emisiones de vehículos	2	6.1 Gas Natural (GN).....	13
3. Estandáres de calidad del combustible.....	3	6.2 Gas Licuado de Petróleo (GLP) ...	16
4. Gasolina	3	6.3 Metanol	18
4.1 Aditivos de plomo	3	6.4 Etanol	18
4.2 Azufre	4	6.5 Biodiesel	19
4.3 Presión de vapor	5	6.6 Hidrógeno(H ₂)	20
4.4 Benceno	5	Costos, otras restricciones	20
4.5 Oxigenados	5	6.7 Vehículos eléctricos	21
Impacto del oxigenado utilizado	5	Gases de efecto invernadero y otras emisiones	21
4.6 Otras propiedades de la gasolina .	6	Costos y otras restricciones.....	21
5. Combustible Diesel	7	6.8 Celdas de combustible	22
5.1 Impacto de los motores pesados en las emisiones	7	Gases de efecto invernadero y otras emisiones	22
5.2 Impacto de los vehículos livianos sobre las emisiones	7	Costos y otras restricciones.....	22
5.3 Azufre	8	7. Conclusiones.....	26
5.4 Otras propiedades del combustible Diesel	9	Información adicional.....	28
Volatilidad	9	Números de referencia.....	28
Contenido de hidrocarburos aromáticos	10	Otras referencias.....	28
Otras propiedades	10	Páginas WEB recomendadas.....	29
5.5 Aditivos a los combustibles	11		

1. Antecedentes e introducción

Los vehículos automotores emiten grandes cantidades de monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y sustancias tóxicas como partículas finas y plomo. Cada uno de ellos, junto con otros subproductos secundarios como el ozono, puede causar graves efectos nocivos para la salud y el medio ambiente. Debido al enorme crecimiento del parque vehicular y a las altas tasas de emisión de muchos de estos vehículos, la vida moderna es testigo constante del auge de fenómenos tales como los problemas causados por la grave contaminación del aire y sus efectos en la salud humana.

En el transcurso de los últimos treinta años, los expertos en el control de la contaminación en todo el mundo se han dado cuenta de que una estrategia efectiva para lograr aire más limpio debe contar con un componente crucial: combustibles más limpios. En años recientes, esta idea se ha entendido mucho más y se ha profundizado y expandido por todo el mundo. Actualmente se ve la calidad del combustible como algo no sólo necesario para **reducir o eliminar ciertos contaminantes** (por ejemplo, el plomo) en forma directa sino también como una **condición previa para la introducción de muchas tecnologías importantes en el control de la contaminación (plomo y azufre)**. Más aún, se ha evidenciado una ventaja crucial de los combustibles más limpios: su **rápido impacto tanto en los vehículos nuevos como viejos**. (Por ejemplo, los estándares más exigentes para automóviles nuevos pueden llevar de diez a más años antes de ser totalmente efectivos, mientras que la disminución del plomo en la gasolina reducirá las emisiones de plomo de todos los vehículos en forma inmediata.)

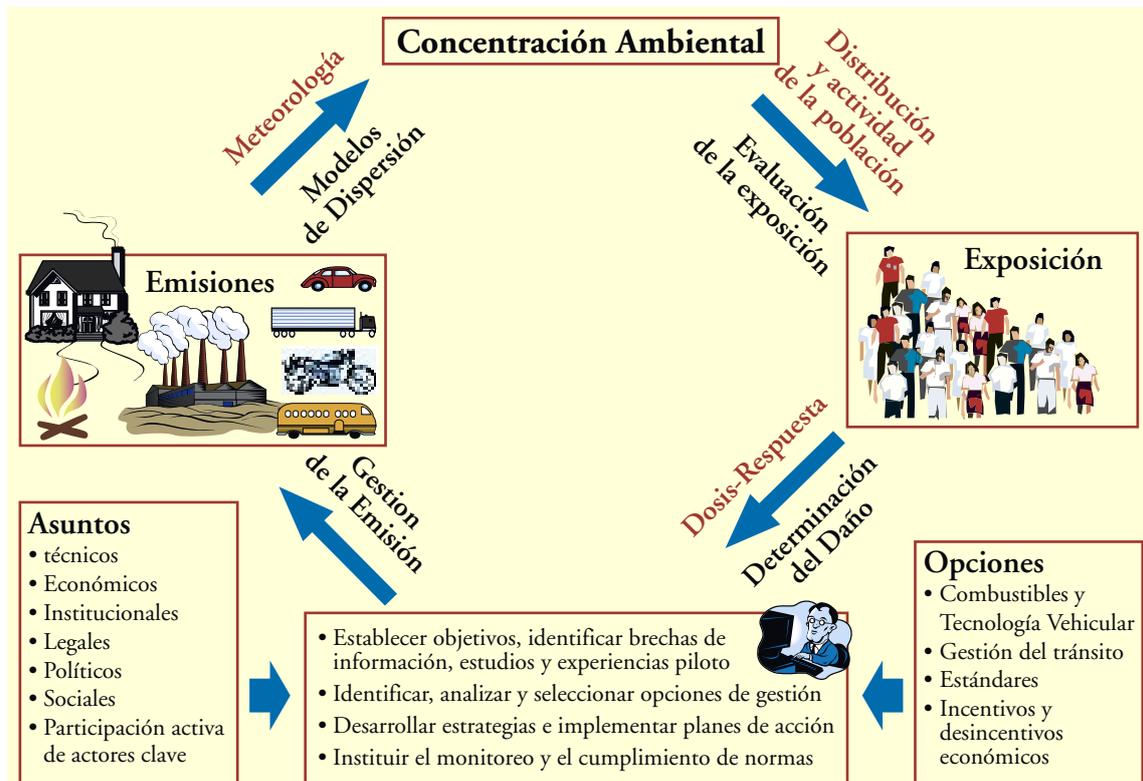
Combustibles y tecnología vehicular más limpios en Tailandia

Adaptado del mensaje de Horst Preschern a la lista de CAI-Asia, 8 de octubre de 2002

Cuando se excluyen los “países industrializados” lo que encontramos es una gran variedad de niveles con respecto a legislación sobre emisiones, calidad del combustible, capacidades de fabricación, poder de compra, etc. Sólo los más fuertes entre ellos (tales como Tailandia) han logrado realizar mejoras sostenibles en todos los sectores: Tailandia cuenta con reglamentaciones EURO en vigencia y pronto pasará a EURO 3 para las camionetas Diesel. Ha trabajado, por lo tanto, sobre la calidad del combustible (ha invertido mucho dinero en investigación local sobre combustibles y lubricantes), dispone ahora de Diesel con bajo contenido de azufre para permitir que se cumpla con los niveles de emisión EURO 3, y ha mejorado la infraestructura de fabricación junto con los fabricantes de equipos originales o sus compañías autorizadas para que una cantidad importante de vehículos se fabriquen localmente; incluyendo los motores.

¿Y los “otros”? Permítanme no nombrar países: no tienen legislación sobre emisiones en vigencia, sigue existiendo la gasolina con plomo, el Diesel con alto componente de azufre, los precios del combustible siguen siendo muy subsidiados – por lo tanto existe poco interés en una mejora de la calidad.

Fig. 1
Esquema para una gestión integrada en calidad de aire.



2. Estrategias integradas para la reducción de emisiones de vehículos

Al desarrollar estrategias para lograr vehículos más limpios, es necesario comenzar con una comprensión clara de la reducción de emisiones de los vehículos y otras fuentes que serán necesarias para lograr una calidad de aire compatible con la salud. Dependiendo de la magnitud del problema de calidad del aire y de la contribución a éste de las emisiones vehiculares, el grado de control que se requiera será diferente. Como lo ilustra la Figura 1, relativa al esquema para una gestión integrada en calidad de aire, se debería empezar con una evaluación cuidadosa de la calidad del aire y de las fuentes que están contribuyendo más al problema o problemas.

En los casos en que los vehículos automotores constituyen el principal contribuyente, se requerirá un enfoque de base muy amplio para la formulación e implementación de políticas y acciones dirigidas a reducir su efecto contaminante.

Deberán establecerse mecanismos de coordinación efectivos y eficientes para el control de la contaminación provocada por los vehículos. Esto debería incluir también una clara adjudicación de responsabilidades en funciones

específicas y tareas a las agencias y organizaciones en forma individual.

La reducción de contaminación causada por vehículos automotores va a requerir, en general, una estrategia muy amplia. Por lo general, la meta de un programa de control de contaminación vehicular es reducir las emisiones de los vehículos en uso al grado razonablemente necesario como para lograr una calidad de aire saludable lo más rápido posible o, si esto no fuera posible por no ser practicable, en los límites prácticos de la factibilidad tecnológica, económica y socialmente efectiva.

“Se debería empezar con una evaluación cuidadosa de la calidad del aire y de las fuentes que están contribuyendo más al problema o problemas.”

Una estrategia comprensiva para lograr esta meta incluye cuatro componentes claves (ver Figura 2): estándares de emisiones para vehículos nuevos que sean cada vez más rigurosos, especificaciones para combustibles limpios, programas para asegurar el mantenimiento adecuado de los vehículos en uso y una gestión de planificación y demanda de transporte. Estas metas para la reducción de emisiones deberían ser logradas en la manera más efectiva posible en lo que respecta a su costo.

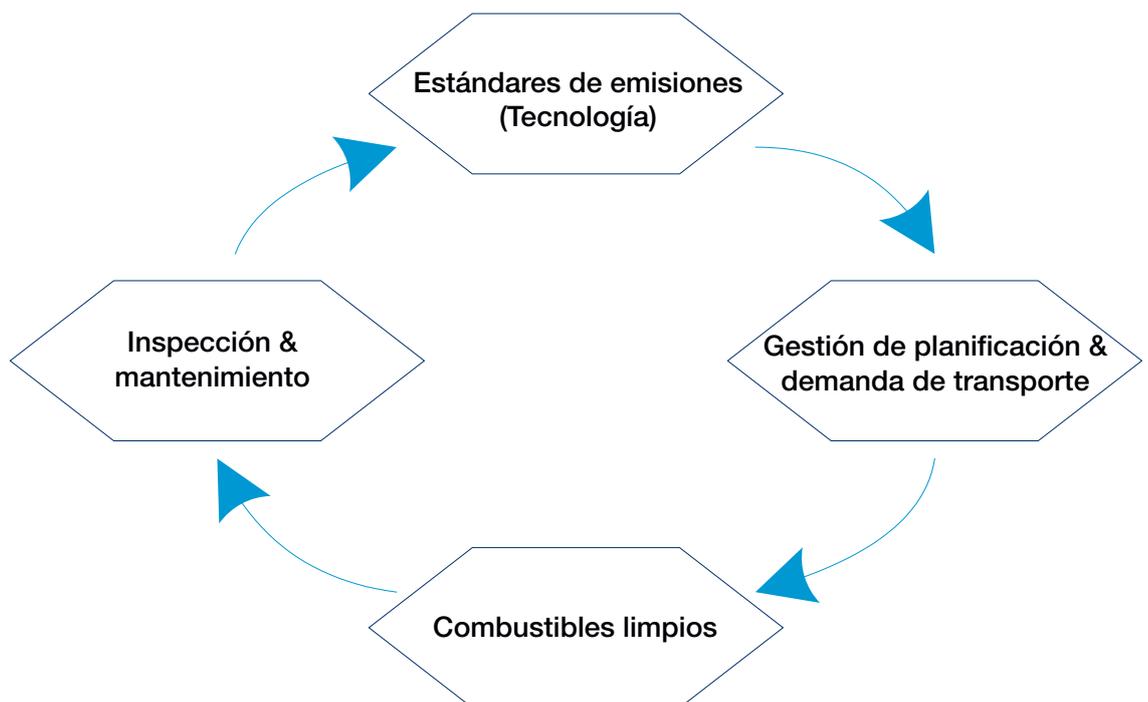


Fig. 2
Elementos de una estrategia comprensiva para el control de la contaminación vehicular.

3. Estándares de calidad del combustible

Al establecer los estándares de calidad del combustible, los formuladores de políticas deberían guiarse por los siguientes principios generales:

- Debido a que las preocupaciones sobre el medio ambiente y la salud pública constituyen la fuerza que guía toda mejora en la calidad del combustible, la autoridad ambiental debería desempeñar un papel principal en el establecimiento de estándares para los combustibles.
- Todos los países deberían desarrollar una estrategia a corto y mediano plazo delineando los estándares propuestos a ser adoptados en el transcurso de los próximos años para permitir a los proveedores de combustible y a la industria automotriz suficiente tiempo de adaptación.
- El impedimento más importante para la adopción de tecnología de última generación de emisión de vehículos nuevos (equivalente a EURO 3 y 4) en muchos países es la calidad del combustible, especialmente el nivel de plomo y azufre en la gasolina y el nivel de azufre en el Diesel. Estos parámetros deberían recibir la más alta prioridad en el desarrollo de estrategias a mediano y largo plazo en materia de estándares para combustibles.
- Al desarrollar estándares para combustibles, los países deberían intentar trabajar más cerca de sus vecinos y armonizar estándares en la medida de lo posible. Esto no debería tomarse como una excusa para demorar o diluir los requisitos ya que la armonización no significa que cada país deba seguir el mismo cronograma.
- Para poner en marcha estándares de combustible más estrictos y aumentar la aceptabilidad de los costos asociados para los consumidores, los países deberían instituir más y mejores campañas de divulgación. Tales campañas deberán poner énfasis en las consecuencias que tiene para la salud pública la no mejora de la calidad de los combustibles.
- Los subsidios que favorecen a los combustibles que provocan altas emisiones deberían ser eliminados y se deberían adoptar políticas en materia impositiva que fomenten el uso de combustibles limpios.

Las mejoras en los combustibles convencionales deberían distinguir claramente entre las ▶ ▹

4. Gasolina

Los contaminantes que más preocupan en el caso de vehículos cuyo combustible es la gasolina, son el monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos (HC), los óxidos de nitrógeno (NO_x), el plomo y ciertos hidrocarburos tóxicos como el benceno. Cada uno de estos puede sufrir la influencia de la composición de la gasolina empleada por el vehículo. Las características más importantes de la gasolina con respecto a su impacto sobre las emisiones son el contenido de plomo, la concentración de azufre, la volatilidad y el nivel de benceno. Con respecto a estas características, se recomiendan las siguientes políticas.

4.1 Aditivos de plomo

El plomo no existe naturalmente en la gasolina sino que debe ser agregado a ella. Desde comienzos de 1970, sin embargo, ha habido un gradual movimiento hacia la reducción del plomo en la gasolina y cada vez más, hacia la eliminación total del plomo. Aproximadamente el 85% de toda la gasolina que se vende hoy en el mundo es sin plomo.

Se han realizado numerosos estudios detallados sobre temas de salud en el transcurso de las últimas dos décadas con el resultado de que las preocupaciones por la salud surgen cada vez más con niveles cada vez más bajos. Ahora se reconoce que el plomo desempeña un papel fisiológico en los sistemas biológicos, incluyendo la biología humana. En el siglo pasado, una gama de estudios clínicos, epidemiológicos y toxicológicos han seguido definiendo la naturaleza de la toxicidad del plomo y han identificado a los niños más pequeños como población más susceptible. En bajas dosis, el plomo es especialmente tóxico para el cerebro, los riñones, el sistema reproductivo y el cardiovascular. Sus manifestaciones incluyen discapacidades en

▶ ▹ etapas primarias – remoción del plomo de la gasolina y reducción drástica del azufre en la gasolina y el Diesel, y la incorporación de aditivos detergentes – y los pasos secundarios – tales como reducir la presión de vapor y el contenido de Benceno en la gasolina.

Reformulación de combustibles convencionales

Las modificaciones de los combustibles pueden tener efectos rápidos y tener un impacto marcadamente especial en el caso de los vehículos que ya están circulando.

En el caso de la **gasolina para motores** el objetivo es reducir:

- El contenido de plomo y azufre (los primeros pasos);
- Benceno;
- Contenido de aromáticos;
- Presión de vapor;
- Mezclas de compuestos que contienen oxígeno.

En el caso de los **combustibles Diesel** las áreas claves son:

- Reducción del contenido de azufre;
- Reducción de la densidad;
- Reducción de los poliaromáticos;
- Mejora de las propiedades de ignición (número de cetano).

la función intelectual, incluyendo problemas de aprendizaje entre los niños, daños renales, infertilidad, interrupción de embarazos e hipertensión. A exposiciones relativamente altas, el plomo resulta letal para el ser humano e incluso lleva a la muerte a través de convulsiones y hemorragia irreversible del cerebro. Las exposiciones por períodos prolongados pueden asociarse con mayores riesgos de cáncer renal.

Un estudio realizado por Schwartz estimó que en términos económicos, el beneficio total de reducir 1 microgramo por decilitro el nivel de plomo en la sangre durante un año (para una cohorte de niños en los Estados Unidos) representa US\$ 6,937 mil millones, de los cuales US\$ 5,060 mil millones debidos a pérdidas de ganancias como resultado de la pérdida de la capacidad cognitiva y logros educativos menores y el resto debido a una mortalidad infantil reducida.¹

Con una reducción en la media los niveles de plomo en la sangre en los Estados Unidos pasaron de 1980 a 1990 a 6,4 microgramos/decilitro; esto refleja un ahorro de US\$ 44,4 mil millones en este período solamente. Casi toda esta mejora se debe a la reducción del plomo en la gasolina durante el mismo período.

La tecnología de punta para la reducción de emisiones de CO, HC y NO_x de los vehículos depende del convertidor catalítico que convierte grandes porciones de las emisiones a dióxido de carbono, vapor de agua, oxígeno y nitrógeno; de hecho, aproximadamente el 90% de todos los automóviles nuevos a gasolina fabricados el año pasado, cuentan con un catalizador.

“Se debería reducir el azufre en la gasolina a un máximo de 500 ppm tan pronto se introduzcan nuevos estándares para vehículos que exijan catalizador.”

No obstante, esta tecnología no puede ser utilizada con gasolina que contenga plomo ya que el plomo contamina el catalizador. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos realizó un estudio en el cual veintinueve automóviles en uso con sistemas de control de emisiones por catalizador de tres vías recibieron, a los efectos de la prueba, gasolina con plomo

para poder cuantificar los efectos de las emisiones. Los resultados del programa indicaron que las emisiones vehiculares se ven muy afectadas por la cantidad de plomo que pasa por el motor y, en segundo lugar, por la tasa resultante de este error en la carga del tanque de gasolina. Las emisiones de HC, CO y NO_x por lo general van en aumento gradual cuando se coloca el combustible inadecuado de manera continua.²

Todos los vehículos modernos que se fabrican hoy que funcionan a gasolina pueden marchar en forma satisfactoria con combustible sin plomo y, aproximadamente un 90% de estos están equipados con un convertidor catalítico que requiere el *uso exclusivo* de combustible sin plomo. Ya no cabe ninguna duda con respecto a que el plomo es tóxico e impide el uso de tecnología limpia para vehículos a gasolina que puede reducir drásticamente las emisiones de CO, HC y NO_x. El agregado de plomo a la gasolina debería ser eliminado lo más rápido posible.

4.2 Azufre

Para los automóviles sin convertidor catalítico, el impacto del azufre en las emisiones es mínimo; sin embargo, para los automóviles equipados con catalizador, el impacto sobre las emisiones de CO, HC y NO_x puede ser de importante. Sobre la base del estudio de Auto/Oil, parece ser que el NO_x bajaría un 3% por cada 100 partes por millón (ppm) de la reducción de azufre en el caso de un automóvil tipo equipado con catalizador.³

La situación es aún más crítica en el caso de los vehículos *avanzados* con catalizador de baja contaminación. La operación en la gasolina que contiene 330 ppm de azufre aumentará las emisiones de escape de VOC y NO_x en los nuevos vehículos, actuales y futuros, de los Estados Unidos, en un promedio de entre 40% y 150%, respectivamente, en relación con sus emisiones con combustibles que contengan aproximadamente 30 ppm de azufre.

A la luz de estos impactos, no es de sorprender que Japón haya tenido niveles típicos de gasolina y azufre por debajo de los 30 ppm, durante muchos años. Los Estados Unidos también han adoptado el límite de 30 ppm de azufre y la Unión Europea exige gasolina con un contenido máximo de azufre de no más de 50 ppm para

el 2005, cuando los estándares EURO 4 entren en vigencia. Aún más recientemente, la Unión Europea ha propuesto limitar los niveles de azufre a un máximo de 10 ppm.

Para maximizar el desempeño de la actual tecnología de catalizadores, las concentraciones de azufre en la gasolina deberían ser reducidas a un máximo de 500 ppm ni bien se introduzcan nuevos estándares vehiculares que exijan catalizadores. Las tecnologías de catalizador más avanzadas que están surgiendo y que pueden lograr emisiones muy bajas, requerirán un máximo de 50 ppm o menos y se debería adoptar un plan para la introducción de esta calidad de combustible durante las etapas iniciales del desarrollo de una estrategia a largo plazo para el control de la contaminación vehicular.

4.3 Presión de vapor

Otro parámetro importante del combustible es la presión del vapor. La presión del vapor para cada estación debe ser lo más baja posible para poder minimizar la evaporación de las terminales de depósito y vehículos, pero aún lo suficientemente alta para permitir encendidos seguros en frío.

Una ventaja importante de los controles de volatilidad de la gasolina es que pueden afectar las emisiones de los vehículos ya fabricados y en uso así como a los sistemas de distribución.

La presión de vapor de la gasolina debería ser reducida a un máximo de 60 kilopascales cada vez que se anticipen temperaturas por encima de los 20°C. En los países tropicales o semi-tropicales esto, por supuesto, se dará todo el tiempo.

4.4 Benceno

El benceno es un hidrocarburo aromático que está presente como gas tanto en las emisiones de los tubos de escape y en las evaporaciones de los vehículos automotores. El benceno en el tubo de escape, expresado como un porcentaje del total de gases orgánicos (TGO), varía dependiendo de la tecnología de control (por ejemplo, tipo de catalizador) y los niveles de benceno y otros aromáticos en el combustible, pero por lo general está entre el 3–5%. La fracción de benceno en las emisiones por evaporación depende de la tecnología de control y de la composición y características del combustible (por ejemplo, el

nivel de benceno y la tasa de evaporación) y es por lo general del 1%⁴. Como regla general, los niveles de benceno en la gasolina deberían tener un tope del 1%, como se ha logrado en la Unión Europea.

4.5 Oxigenados

Al incorporar pequeños porcentajes de compuestos oxigenados como etanol, metanol, alcohol terbutílico (TBA) y metil ter-butyl éter (MTBE) a la gasolina tiene el efecto de reducir el contenido de energía volumétrica del combustible, en tanto que mejora el desempeño antidetonante y por lo tanto posibilita una reducción potencial de los compuestos aromáticos nocivos y/o del plomo. Asumiendo que no hay cambios en las especificaciones del sistema de suministro de combustible, al reducir el contenido de energía volumétrica el resultado será una mezcla aire-combustible más pobre que reducirá en consecuencia el escape de CO y las emisiones de HC.

Impacto del oxigenado utilizado

MTBE

El MTBE (metil ter-butyl éter) puede ser agregado a la gasolina hasta un 2,7% sin ningún incremento en el NO_x. Hay dos efectos opuestos que ocurren con el agregado de oxigenados: mezclas más pobres, que tiende a elevar el NO_x, y temperaturas de llama más bajas, que tienden a reducir el NO_x. Con niveles de MTBE por encima del 2,7%, el efecto de temperaturas de llama más baja parece prevalecer.

En tanto que se ha visto que el uso del MTBE es muy atractivo desde el punto de vista de la reducción de la contaminación atmosférica, evidencias recientes en los Estados Unidos han mostrado que sus filtrados y derrames constituyen una amenaza considerable al agua potable. Esto ha originado un movimiento que propende a la prohibición de su uso en la gasolina en el futuro. La Unión Europea no ha llegado a una conclusión similar pero prefiere mejorar la calidad de los tanques de almacenamiento subterráneos.

Los países que están considerando utilizar MTBE deben sopesar cuidadosamente los beneficios potenciales de la calidad del aire considerando los riesgos potenciales a la calidad de las aguas.

Número de Cetano

El número/valor/índice de cetano es una medida de la calidad de ignición del combustible Diesel. En los motores de ignición por compresión (Diesel), se refiere a la capacidad del combustible para reaccionar con el oxígeno bajo condiciones de explosión y por lo tanto posibilitar que el motor produzca potencia de eje. Cuanto más alto el número de cetano, mejor el rendimiento.

Mezcla estequiométrica

Una mezcla estequiométrica es una mezcla de sustancias que pueden reaccionar para dar productos sin exceso de reactante.

Etanol

El etanol puede ser agregado a la gasolina en niveles tan altos como 2,1% de oxígeno sin incrementar en forma significativa los niveles de NO_x aunque por encima de esto los niveles de NO_x podrían incrementarse en cierta medida. Por ejemplo, datos de pruebas realizados por la EPA sobre 100 automóviles indican que los niveles de oxígeno de 2,7% o más podrían incrementar las emisiones de NO_x en un 3–4%.⁵

El estudio Auto/Oil concluyó que existía un incremento estadísticamente significativo de NO_x de alrededor del 5% con el agregado de un 10% de etanol (3,5% O_2).

En virtud de que el etanol tiene una mayor volatilidad que la gasolina, la volatilidad de base del combustible debe ser ajustada para evitar emisiones de evaporación aumentadas. Como regla general, previo al ajuste, la volatilidad se incrementará cerca de un 1 psi cuando se le agrega etanol a la gasolina.

Los países que están estudiando el uso del etanol deberían evaluar cuidadosamente y sopesar los beneficios de CO y HC en el tubo de escape comparándolos con los incrementos potenciales de NO_x y de evaporación de hidrocarburos.

4.6 Otras propiedades de la gasolina

De acuerdo con el estudio Auto/Oil:

*Las emisiones de NO_x disminuyeron al reducir las olefinas, aumentaron cuando se redujo el T90, y aumentaron muy levemente cuando se redujeron los aromáticos.*⁶

En general, la reducción de aromáticos y de T90 produjo una disminución estadísticamente significativa en la masa de escape de NMHC y de emisiones de CO. Al reducir las olefinas se incrementa la masa de las emisiones de NMHC de los escapes, sin embargo, “el potencial de formación de ozono” de la totalidad de las emisiones vehiculares fue menor.⁷

En lo que respecta a los tóxicos, la reducción de los aromáticos del 45 al 20% produjo una reducción del 42% del benceno pero además un incremento del 23% de formaldehído, un incremento del 20% del acetaldehído y aproximadamente un incremento del 10% de 1,3-Butadieno.⁸

Tabla 1: Límites de las especificaciones de combustible de la Unión Europea

Parámetros de gasolina/nafta	2000 (Relativo a estándar vehicular EURO 3)	2005 (Relativo a estándar vehicular EURO 4)
RVP verano kPa, máx.	60	60
Aromáticos %v/v, máx.	42	35
Benceno %v/v, máx.	1	1
Olefinas %v/v, máx.	18	18
Oxígeno %m/m, máx.	2,7	2,7
Azufre, ppm, máx.	150	50

Al reducir las olefinas del 20% al 5% se produjo una reducción del 31% del 1,3-Butadieno aunque esto tuvo un impacto insignificante sobre otros tóxicos. La reducción de T_{90} de 360 a 280 F resultó en una reducción estadísticamente significativa en el benceno, 1,3-Butadieno (37%), formaldehído (27%) y acetaldehído (23%).

En la medida que la estrategia de estándares de emisión vehicular a largo plazo es la adopción de la cuarta etapa europea (llamada EURO 4) en estándares para vehículos livianos, los estándares europeos de gasolina deberían ser adoptados al mismo tiempo y como se resumen en la Tabla 1.

Los detergentes o aditivos de control de depósitos en los motores son de importancia crítica en los motores modernos y también deberían ser obligatorios.

5. Combustible Diesel

Los vehículos Diesel emiten importantes cantidades de NO_x y particulados. La reducción de emisiones de MP de los vehículos Diesel tiende a ser la principal prioridad debido a que las emisiones de MP en general son muy peligrosas y el MP del Diesel en especial podría producir cáncer. Para reducir las emisiones de MP y NO_x del motor Diesel, la característica más importante del combustible es el azufre, puesto que el azufre en el combustible contribuye directamente a las emisiones de MP y los niveles altos de azufre impiden el uso de las tecnologías más efectivas de control de MP y NO_x.

5.1 Impacto de los motores pesados en las emisiones

Un trabajo reciente abordó el impacto de los cambios en la composición del combustible sobre las emisiones de los actuales motores Diesel **de alto rendimiento, de inyección directa** basado solamente en estudios donde no existían correlaciones significativas entre las propiedades de combustibles que guardan relación.⁹ Las conclusiones de este estudio se resumen en la Tabla 2. Como puede apreciarse, las propiedades de la composición de al menos cierta importancia con respecto a las emisiones son los contenidos de azufre, aromáticos y oxigenados; las propiedades físicas identificadas son densidad y la temperatura de destilación de T90 o T95. El número/índice de cetano también fue identificado como un factor con respecto a las emisiones. Los cambios direccionales en estas propiedades del combustible, que resultarán en un combustible “más limpio”, quedan demostradas por las flechas en la primera columna de la tabla. El impacto direccional sobre las emisiones de NO_x, MP, HC y CO resultantes de los cambios en cada propiedad en la dirección indicada, también se presenta, junto con una indicación de la magnitud relativa del efecto.

Tal como lo muestra la Tabla 2, las emisiones de motores con tasas de emisión de base alta (por lo general, diseños más viejos) tienden a ser más sensibles a los cambios en la composición del combustible que aquellos de motores con tasas de emisión de base baja (que tienden a ser de diseño más nuevo). Además, se ha encontrado

que los cambios en todas las propiedades del combustible han tenido, a lo sumo, un pequeño impacto sobre las emisiones de motores con tasas de emisión de base baja.

5.2 Impacto de los vehículos livianos sobre las emisiones

El estudio más reciente y completo sobre los impactos de la composición del combustible sobre las emisiones de Diesel en vehículos livianos se realizó como parte de los Programas Europeos sobre Emisiones, Combustibles y Tecnologías de Motor (EPEFE).¹⁰ Los resultados generalizados de este estudio se presentan en la Tabla 3. Según lo muestra esta Tabla, si bien existen algunas diferencias en términos de la magnitud de los efectos de la composición del combustible sobre las emisiones de vehículos con motores de inyección directa e indirecta, el impacto direccional sobre las emisiones es, por lo general, el mismo.

Una comparación de las tablas para motores pesados y livianos indica que existen algunas

Tabla 2: Resumen de la influencia de las propiedades del combustible sobre las emisiones de Diesel de alta resistencia

Modificación de Combustible	NO _x	Particulados
Reducir Azufre*	0	↓↓ ^D
Aumentar Cetano	↓	0
Reducir aromáticos totales	↓ ^C	0
Reducir Densidad	↓	0 ^A / ↓↓ ^B
Reducir Poliaromáticos	↓ ^C	0 ^A / ↓↓ ^b
Reducir T90/T95	↓	0

* para motores *sin* sistemas de post-tratamiento

Clave: ↓↓/↑↑ = efecto relativamente grande, ↓/↑ = poco efecto, ⇕/⇓ = muy poco efecto, 0 = sin efecto

^A) Motor que emite baja emisión.

^B) Motor que emite alta emisión.

^C) Se espera que los poliaromáticos generen mayor reducción que los monoaromáticos. Existen otros estudios que investigan estos parámetros (por ejemplo, grupo de trabajo en motores pesados de la EPA).

^D) Reduciendo el Azufre de 0,30% a 0,05% se obtienen beneficios relativamente amplios; reduciendo el Azufre de 0,05% a niveles más bajos tiene beneficios directos mínimos pero, tal como se plantea más abajo, resultan necesarios para facilitar las tecnologías avanzadas.

Se afianza la política de combustibles en la India

Adaptado de: Times of India, 28 de setiembre de 2002; lista CAI-Asia, 1º de octubre de 2002

Existen planes para que once ciudades en India cuenten con normas de emisiones vehiculares más rigurosas bajo la política de combustibles para automóviles formulada por un comité de expertos establecido el año pasado con el objetivo de estudiar las cuestiones relativas a calidad de combustibles y tecnología vehicular, cuyo informe fue presentado esta semana al ministerio de petróleo y gas natural. El informe propone dos caminos separados: uno para los nuevos vehículos y otro para los viejos, para mejorar la calidad del combustible y las emisiones vehiculares. Señala a Delhi, Kolkata, Bombay, Chennai, Hyderabad, Ahmedabad, Surat, Pune, Bangalore, Danpur y Agra como ciudades que deben contar con estándares más estrictos.

Según el cronograma que plantea el informe, los vehículos nuevos en estas ciudades tendrán que cumplir con las normas EURO 3 para el año 2005 y las normas de emisiones EURO 4 para el 2010. El resto del país recién deberá cumplir con estos estándares cinco años más tarde.

Para los vehículos de dos o tres ruedas, el comité recomienda las normas Bharat de la etapa II, el equivalente a EURO 2, para el año 2005. Los vehículos que ya estén en uso, sin embargo, serán tratados de forma más sencilla. El informe recomienda que las normas sobre emisiones para autobuses y taxis registradas antes del 2004 cumplan con las normas 1996 o con EURO 1 en ese momento, mientras que aquellos registrados antes del 2008 deberán cumplir con las normas EURO 2 en ese año.

Nota: este informe cubre muchas otras áreas de la política en materia de transporte. Para descargar una copia, visite http://www.petroleum.nic.in/afp_con.htm.

instancias donde se espera cambiar una determinada propiedad del combustible Diesel para obtener el impacto direccional opuesto sobre las emisiones dependiendo de si el combustible está siendo usado en un motor pesado o en un vehículo liviano. Los más notorios son el aumento en emisiones de NO_x de los motores de inyección directa de baja resistencia en respuesta a una reducción en la densidad del combustible y a los aumentos en emisiones de NO_x tanto de los motores de baja resistencia de inyección directa como indirecta en respuesta a una disminución en la temperatura de T95.¹¹

5.3 Azufre

Las emisiones de particulados de sulfato y SO_x, ambos contaminantes peligrosos, se emiten en proporción directa a la cantidad de azufre presente en el combustible Diesel. El MP de sulfato contribuye a las emisiones de MP₁₀ y MP_{2,5} directamente con sus efectos asociados adversos tanto para la salud como para el medio ambiente. El SO₂, una fracción del SO_x, es un agente contaminante con efectos adversos asociados. Los efectos sobre la salud y bienestar de las emisiones del SO₂ de los vehículos Diesel son quizás mucho mayores que aquellos de una cantidad equivalente emitida por una chimenea o caldera industrial, puesto que el Diesel de escape se emite cerca del nivel del suelo en la proximidad de caminos, edificios, y concentraciones de personas. Además, parte del SO_x en la atmósfera también se transforma en MP de sulfato con los efectos adversos asociados que se registraron para MP.

“La presencia del azufre en el combustible Diesel bloquea en forma efectiva el mecanismo hacia menores emisiones de contaminantes convencionales.”

El MP del Diesel se compone de tres constituyentes primarios –un núcleo carbonáceo, una fracción soluble orgánica (FSO) que se deposita en la superficie de este núcleo y una mezcla de SO_x y agua que también está en la superficie del núcleo. Al reducir el azufre del combustible se

Tabla 3: Impacto de los cambios en la composición de los combustibles sobre las emisiones de los actuales vehículos Diesel livianos

Cambio	Emisiones de NO _x		emisiones de MP	
	IDI ^a	DI ^b	IDI	DI
↓ Cetano (50 a 58)	↑	↓	Ninguna	↑
↓ Densidad (0,855 to 0,828 g/cm ³)	Ninguna	↑	↓↓	↓↓
↓ T95 (700 a 6201F)	↑	↑	Ninguna	↓
↓ Policíclicos (8 – 1 vol %)	↓	↓	↓	↓

Clave: se denotan efectos relativamente grandes ↓ / ↑↑ (cambios del 10% o más en las emisiones); se notan pocos efectos ↓ / ↑ (cambio del 5 al 10%); se notan muy pocos efectos ↑ / ↓ (cambio de aproximadamente ~1 to 5%).

^a) motores de inyección indirecta

^b) motores de inyección directa

reduce la fracción SO_x del MP, de esta forma disminuyendo la masa total de MP emitido. Las evaluaciones del combustible Diesel realizadas en Europa muestran el beneficio que produce la reducción de sulfuros en el combustible Diesel en términos de la reducción de los particulados. Por ejemplo, al reducir el nivel de azufre del combustible Diesel de 2.000 ppm a 500 ppm se reduce el particulado para vehículos livianos en un 2,4% y para vehículos Diesel pesados en un 13%.¹² La relación entre los particulados y el nivel de azufre se encontró que era lineal: por cada 100 ppm de reducción de azufre habrá 0,16% de reducción de particulados en vehículos livianos y 0,87% en vehículos pesados.

El azufre en el combustible Diesel tiene un efecto de potenciación tecnológica como lo tiene el plomo y el azufre en la gasolina. Los convertidores catalíticos o adsorbentes de NO_x pueden eliminar gran parte de las emisiones de NO_x de los motores Diesel nuevos, pero el azufre los desactiva de forma muy parecida a como el plomo envenena los catalizadores de tres vías. Por lo tanto, la presencia de azufre en el combustible Diesel efectivamente bloquea el camino a las bajas emisiones de contaminantes convencionales. El gobierno alemán declaró en una petición a la Comisión Europea en apoyo a los combustibles de bajo tenor de azufre:

Un contenido de azufre de 10 ppm comparado con 50 ppm aumenta el rendimiento y durabilidad de los convertidores catalíticos oxidantes, convertidores catalíticos de NO_x y filtros de particulado y, por lo tanto, reduce el consumo de combustible. También hay emisiones de particulado más bajas (debido a emisiones más bajas de sulfato) con los convertidores catalíticos oxidantes. En algunos filtros de partículas de regeneración continua, se requiere un contenido de azufre de 10 ppm por la simple razón de que de otro modo las partículas de sulfato solas (sin hollín) superarían el valor (europeo) futuro de partículas de 0,02 g/kWh.

Además de su rol como facilitador de tecnología, el combustible Diesel de bajo azufre es beneficioso al producir una reducción en la corrosión inducida por el azufre y una acidificación más lenta del aceite lubricante de motores, que lleva a intervalos de mantenimiento más largos y menores costos de mantenimiento. Estos beneficios pueden significar importantes ahorros al propietario del vehículo sin necesidad de la adquisición de nueva tecnología.

5.4 Otras propiedades del combustible Diesel

Volatilidad

El combustible Diesel consiste en una mezcla de hidrocarburos con diferentes pesos moleculares

Tabla 4: Niveles actuales y propuestos de azufre en Diesel para Asia, Unión Europea y Estados Unidos

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Bangladesh							5,000									
Cambodia					2,000											
Hong Kong, China		500					50									
India	5,000				2,500					500					350	
Indonesia	5,000															
Japón	500				100					50		10				
Malasia	5,000		3,000				500 en mercado									
Pakistan	10,000						5,000									
Filipinas	5,000					2,000			500							
PRC	5,000		2,000													
Republic of Korea	500							430			30				10	
Singapur	3,000		500													
Sri Lanka	10,000							3,000								
Taipei, China	3,000			500			350					50				
Thailand	2,500			500					350							
Viet Nam	10,000							2,000		500						
Unión Europea					350					50				10		
Estados Unidos	500															15

> 500 ppm 51–500 ppm < 50 ppm

y puntos de ebullición. Como resultado, en tanto que parte del mismo se evapora al calentarlo, el punto de ebullición del restante aumenta. Este hecho es utilizado para caracterizar la gama de hidrocarburos en el combustible bajo la forma de una “curva de destilación” que especifica la temperatura en la cual se han evaporado el 10%, 20%, etc., de los hidrocarburos. Un punto de ebullición bajo de 10% se asocia con un contenido importante de hidrocarburos relativamente volátiles. Los combustibles con estas características tienen tendencia a producir emisiones de HC más altas que los demás.

Contenido de hidrocarburos aromáticos

Los hidrocarburos aromáticos son compuestos de hidrocarburo que contienen una o más estructuras de anillos “tipo bencénicos”. Se diferencian de las parafinas y naftenos, los otros principales hidrocarburos constituyentes del combustible Diesel, que carecen de estas estructuras. Comparado con estos otros componentes, los hidrocarburos aromáticos son más densos, tienen una peor calidad de auto-ignición y producen más hollín al quemar. Por lo común, el Diesel de nafta virgen producido por destilación simple del petróleo crudo tiene un contenido relativamente bajo de hidrocarburos aromáticos. El craqueo catalítico del petróleo residual para incrementar la producción de gasolina y Diesel produce un contenido aromático, sin embargo, mayor. Un Diesel típico de nafta virgen puede contener 20 – 25% de aromáticos por volumen en tanto que un Diesel mezclado a partir de lotes craqueados catalíticamente podría tener 40 – 50% de aromáticos.

Los hidrocarburos aromáticos tienen una pobre capacidad de auto-ignición, de manera que los combustibles Diesel que contienen una proporción alta de aromáticos tienen tendencia a tener números de Cetano más bajos. Los valores típicos de Cetano para el Diesel de nafta virgen se encuentran entre 50 – 55; aquellos de los combustibles Diesel con alto contenido de aromáticos son típicamente 40 – 45 y pueden ser inclusive más bajos. Esto produce una mayor dificultad en el arranque en frío y un ruido de combustión, HC y NO_x aumentados, debido al aumento del retardo en la ignición.

El aumento del contenido aromático también se correlaciona con mayores emisiones de

particulado. Los hidrocarburos aromáticos tienen una tendencia mayor a formar hollín al quemar y la calidad de combustión más pobre también parece incrementar las emisiones de la fracción orgánica soluble (FOS) de particulado. Un incremento del contenido aromático también puede estar relacionado con un incremento de la propiedad mutagénica del FOS. Existe además alguna evidencia con respecto a que los combustibles con mayor contenido de aromáticos tienen una mayor tendencia a formar depósitos en los inyectores de combustible y en otros componentes críticos. Estos depósitos pueden interferir con la mezcla adecuada combustible/aire, incrementando en forma importante las emisiones de MP y HC.

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) están incluidos en el gran número de compuestos del grupo de contaminantes emitidos por vehículos que no están regulados. Las emisiones de escape de los PAH (aquí definidos como de tres anillos o mayores) se distribuyen entre las fases particuladas y semi-volátiles. Algunos de estos compuestos en el grupo del PAH son mutagénicos en la prueba de Ames y aún en algunos casos producen cáncer en animales después de experimentos de pintado de piel. Debido a este hecho, es importante limitar las emisiones de PAH de los vehículos, especialmente en áreas urbanas densamente pobladas y de alto tráfico. Un factor importante que afecta las emisiones de PAH de los vehículos es la selección del combustible y los componentes del mismo. Existe una relación lineal entre el contenido de PAH del combustible y las emisiones de PAH. Las emisiones de PAH de los escapes consisten del PAH no quemado así como los PAH formados en el proceso de combustión. Al seleccionar una calidad de combustible Diesel con un contenido bajo de PAH ($\leq 4\text{mg/l}$, total de PAH) las emisiones de escape de PAH se reducirán en aproximadamente 80% comparado con las de los combustibles Diesel con contenidos de PAH mayores de 1 g/l (suma total de PAH). Al reducir los contenidos de PAH de los combustibles Diesel comercialmente disponibles, las emisiones de PAH al medio ambiente serán reducidas.¹³

Otras propiedades

Otras propiedades de los combustibles pueden también tener un efecto sobre las emisiones. La

Tabla 5: Límites de especificación de combustibles en la Unión Europea

Parámetro de combustible Diesel	2000 (Relacionado con los estándares para vehículos de EURO 3)	2005 (Relacionado con los estándares para vehículos de EURO 4)
Número Cetano (min.)	51	51
Densidad (15°C kg/m ³ , máx.)	845	845
Destilación (95%, v/v °C, máx.)	360	360
Poliaromáticos (%v/v, máx.)	11	11
Azufre (ppm, máx.)	350	50

densidad del combustible, por ejemplo, puede afectar la masa de combustible inyectada a la cámara de combustión y, por lo tanto, la relación aire/combustible. Esto se debe a que las bombas de inyección de combustible suministran el combustible por volumen, no por su masa, y los combustibles más densos contienen una masa mayor en el mismo volumen. La viscosidad del combustible puede afectar también las características de inyección del mismo y, por lo tanto, la tasa del mezclado. La corrosividad, limpieza y propiedades lubricantes del combustible pueden afectar la vida útil del equipo de inyección de combustible, y posiblemente contribuyan a emisiones excesivas durante el uso si el equipo tiene un desgaste prematuro.

En la medida que las estrategias a largo plazo para estándares de emisión adopten la etapa cuatro europeo (llamado EURO 4) para vehículos livianos y el paso cinco (llamado EURO 5) para vehículos pesados, los estándares Diesel europeos, como se resume en la Tabla 5, deberán ser adoptados en los mismos plazos.

5.5 Aditivos a los combustibles

Varios tipos genéricos de aditivos para los combustibles Diesel pueden tener un efecto significativo sobre las emisiones. Estos incluyen potenciadores de Cetano, supresores de humo y aditivos detergentes. Además, la investigación de algunos aditivos se ha dirigido específicamente a la reducción de emisiones en los últimos años.

Los potenciadores de Cetano se utilizan para mejorar la calidad de auto-ignición del combustible Diesel. Estos componentes (habitualmente nitratos orgánicos) se agregan, por lo general, para reducir el impacto adverso de combustibles con alto tenor aromático en el arranque en frío y el ruido de combustión. Estos compuestos también parecen reducir los efectos adversos de los hidrocarburos aromáticos sobre las emisiones de HC y MP, aunque las emisiones de MP con el potenciador de Cetano son, por lo general, todavía algo más altas que las de un combustible de mejor calidad que sea capaz de llegar a la misma tasa de Cetano sin el aditivo.

¿Vehículos ambientalmente amistosos?

El grupo de trabajo de medio ambiente y transporte de la Conferencia Permanente Alemana de Ministros de Medio Ambiente formuló los requisitos para vehículos aceptables ecológicamente (Tabla 6).

A los efectos del presente módulo, un vehículo ecológicamente aceptable es un vehículo familiar equipado con la mejor tecnología existente para mitigar el impacto ambiental sin sacrificar la seguridad, el confort y la conveniencia. Ofrece los siguientes beneficios ambientales:

- Bajo consumo de combustible
- Bajas emisiones de contaminantes y ruido
- Fabricación ambientalmente razonable
- Diseño liviano y compacto que asegure un uso óptimo de materiales y reciclado
- Extras ambientalmente relevantes.

Las resoluciones adoptadas fueron publicadas en UBA (1999©). El tipo de vehículo satisface plenamente los requisitos para un vehículo de pasajeros ecológicamente aceptable.

Los fabricantes ya han anunciado sus planes para producir autos en serie con motores de combustión interna y un consumo de combustible de 3 litros por 100 kms (78,4 millas por galón). Estos vehículos serán vendidos a precios razonables y satisfarán los requerimientos para uso cotidiano, al permitir espacio para cuatro a cinco adultos e incorporar la conveniencia, confort y estándares de seguridad de un vehículo de tamaño mediano.

Tabla 6: Propuesta de la Conferencia Permanente Alemana de Ministros del Medio Ambiente para una introducción por etapas de automóviles ecológicamente aceptables

Criterio	Unidad	1999 – 2004	desde 2005
Emissiones de CO ₂ 93/116/EEC	g/km	120 g CO ₂ /km	90 g CO ₂ /km
Consumo (gasolina / Diesel)	l/100 km mpg	5,15 / 4,46 45,5 / 52,7	3,88 / 3,42 60,6 / 68,8
Emisión estándar ¹		EURO 4	EURO 4
	CO	g/km	1,0
	HC	g/km	0,1
	NO _x	g/km	0,08
MP	g/km	0,025	0,025
Ruido (vehículo en movimiento) ²	dB (A)		
Elección de materiales ambientalmente compatibles	–	Sí	Sí
Reciclado (posibilidad de reciclar)	(% en peso)	Sí (85%)	Sí (95%)
Eco-auditoría	–	Sí	Sí

¹) Como se establece en 98/69/EC incluyendo requisitos de baja temperatura, vida útil y diagnósticos a bordo.

²) Los niveles de ruido serán re-definidos por la Unión Europea luego de la revisión del método de prueba.

“El uso de aditivos detergentes para reducir los depósitos sobre los componentes de inyección es altamente recomendable, especialmente en los motores más modernos.”

Los aditivos para la supresión del humo son compuestos orgánicos de calcio, bario y (ocasionalmente) magnesio. Al ser agregados al combustible Diesel, estos compuestos inhiben la formación de hollín durante el proceso de combustión y, por lo tanto, reducen considerablemente las emisiones de humo visible. Sin embargo, tienen la tendencia de incrementar en forma significativa el número de partículas muy pequeñas y ultra finas que se sospecha sean aún más peligrosas para la salud. Sus efectos sobre la FOS del particulado no están completamente documentados, pero un estudio ha mostrado un incremento significativo del contenido de PAH y la propiedad mutagénica de la FOS con el aditivo de bario. Las emisiones de partículas de sulfato aumentan en gran medida con estos aditivos, dado que todos ellos forman rápidamente sulfatos metálicos sólidos estables que se emiten en el escape. El efecto global de reducir el hollín y aumentar las emisiones de sulfato metálico puede ocasionar tanto un aumento como una disminución de la masa total de partículas, dependiendo del nivel inicial de emisiones de hollín y la cantidad de aditivo utilizado.

En tanto que los aditivos para la supresión del humo podrían parecer atractivos, su uso no es recomendado debido a las emisiones potencialmente más peligrosas de partículas ultra finas y la propiedad mutagénica.

Los aditivos detergentes (habitualmente envasados en combinación con potenciadores de Cetano) ayudan a prevenir y remover los depósitos de coque de los extremos de los inyectores de combustible y otras localizaciones vulnerables. De esta forma, al mantener características de motor nuevo en la inyección y mezclado, estos depósitos pueden ayudar a disminuir las emisiones de MP y HC durante el uso. Un estudio hecho para la Junta de Recursos Atmosféricos de California estimó que el incremento en las emisiones de MP debido a problemas en la inyección de combustibles en los camiones actualmente en uso, es 50% mayor que los niveles de emisión de los nuevos vehículos. Una fracción significativa de este exceso es indudablemente debido a los depósitos en la inyección de combustible. El uso de aditivos detergentes para reducir depósitos en los componentes de los inyectores es altamente recomendado, especialmente en los motores más modernos.

6. Combustibles alternativos

Además de los combustibles convencionales, la gasolina y el Diesel, muchos países en todo el mundo han identificado beneficios significativos asociados a un cambio a combustibles alternativos, especialmente el gas natural comprimido (GNC), gas licuado de petróleo (GLP o propano) y etanol.

Los combustibles alternativos incluyen gas natural comprimido (principalmente compuesto de metano), metanol, etanol, hidrógeno, electricidad, aceites vegetales (incluyendo biodiesel), gas licuado de petróleo (compuesto de propano o butano), combustibles líquidos sintéticos derivados del carbón y varias mezclas de combustibles tales como el gasohol.

6.1 Gas Natural (GN)

El gas natural (85 – 99% de metano) quema en forma limpia, es barato y abundante en muchas partes del mundo. En virtud de que el gas natural es principalmente metano, los vehículos a gas natural (VGNs) tienen emisiones de hidrocarburos no-metano mucho más bajas que los vehículos a gasolina, pero emisiones más altas de metano. Como el sistema de combustible es sellado, no hay emisiones por evaporación y las emisiones de recarga de combustibles son despreciables. Las emisiones de ignición en frío de los VGNs son también bajas en virtud de que el enriquecimiento para arrancado en frío no es necesario. Además, esto reduce tanto las emisiones de VOC y CO. Las emisiones de NO_x de VGNs no controlados, pueden ser más altas o más bajas que las de los vehículos similares a gasolina dependiendo de la tecnología de sus motores. No obstante, por lo general son ligeramente más bajas. Los VGNs de servicio liviano equipados con sistemas modernos de control electrónico de combustible y convertidores catalíticos de tres vías, han logrado emisiones de NO_x mayores de un 75%, por debajo de los rigurosos estándares del Vehículo de Emisión Ultra-baja de California (ULEV).

Como sustitutos del Diesel, los VGNs deberían tener emisiones algo reducidas de NO_x y sustancialmente menores de MP, exceptuando cuando el vehículo Diesel utiliza Diesel con niveles ultra bajos de azufre y está equipado con un filtro de MP.

Para una eficiencia energética equivalente las emisiones de gases de efecto invernadero de los VGNs será aproximadamente 15 – 20% menor que la de los vehículos a gasolina, en virtud de que el gas natural tiene un contenido de carbono menor por unidad de energía que la gasolina. Los VGNs tienen aproximadamente los mismos gases de efecto invernadero que los vehículos Diesel. Para el uso de GN que, de otra manera sería quemado en la refinería o desperdiciado, la reducción de gases de invernadero podría llegar casi al 100% en comparación con el uso de cualquier otro combustible de base fósil, tal como la gasolina o el Diesel que de esta manera podrían ser evitados.

Una comparación del uso de energía primaria en los procesos de producción de GNC y gasolina muestra que el consumo primario de energía para ambos combustibles es comparable. En su proyecto de demostración del uso de GNC, la UBA – Agencia Federal Alemana del Medio Ambiente – tomó en cuenta un escenario de 10% de vehículos pesados con GN en Alemania y calculó un leve aumento de emisiones de gases de efecto invernadero equivalentes de +0,07%. Es claro que el uso de GN en vehículos pesados no dará como resultado un aumento significativo de los gases de efecto invernadero.

Más aún, la emisión de ruidos de los autobuses a GN está en el orden de 3 – 5 dB(A) más bajos, mientras que la molestia subjetiva es mucho menor, puesto que el motor a gas funciona mucho más suavemente.

Entre los obstáculos que encuentra el rápido avance de los vehículos a GN encontramos la ausencia de infraestructura de transporte y depósito, costos, pérdida de espacio de carga, aumento de los tiempos de recarga de combustible y una menor autonomía para los mismos.

La recarga y depósito del gas deben ser consideradas cuidadosamente para que cumplan con los requisitos operativos y de seguridad. Se necesita un tanque muy amplio para depositar el gas natural comprimido a una presión de 200-bar. El tipo de vehículo pesado para el cual el gas natural presenta más ventajas es el autobús urbano que, por lo general, tiene su tanque colocado en el techo. Pero los vehículos pesados también llevan a veces ciertas piezas instaladas

EURO 4

El estándar europeo etapa cuatro, conocido como EURO 4, es el estándar de emisión determinado por la directiva 98/69/EC del Parlamento Europeo y del Consejo de los 13 de octubre de 1998, relativo a las medidas a tomar en contra de la contaminación ambiental producida por los motores vehiculares. Será aplicable a partir de enero de 2005. El texto completo del preámbulo y del estándar puede ser bajado en http://europa.eu.int/eur-lex/en/consleg/main/1998/en_1998L0069_index.html.

Información adicional acerca de vehículos a gas natural

Favor referirse al Módulo 4d: "Vehículos a gas natural" para una discusión más detallada de los aspectos prácticos relacionados con las aplicaciones a vehículos a gas natural. La aplicación de GN a vehículos de tres ruedas se debate en el Módulo 4c: "Vehículos de dos y tres ruedas".

Comparación de diferentes estándares de emisión

Los estándares de emisión de California se reconocen como los más exigentes del mundo. Desde que se han introducido y promovido nuevos tipos de vehículos, en respuesta no a la legislación europea sino a la legislación de California, debemos considerar sus principales diferencias.

En tanto que la reducción de las emisiones directas determinadas por EURO 4 (ver nota al margen) para vehículos a gasolina, será suficiente para satisfacer los requisitos de objetivos de calidad del aire en Alemania y que, por lo tanto, en Alemania no van a ser necesarias las reducciones de las emisiones directas de gas de escape de estos vehículos en un futuro cercano, los límites para los automóviles Diesel en Europa serán muy superiores que los de sus contrapartes con motores a gasolina, aún bien entrado el milenio. Las siguientes comparaciones, por lo tanto, se refieren solamente a los requisitos europeos para automóviles a gasolina, que incorporan las mejores técnicas de baja emisión disponibles.

La legislación sobre aire limpio de California es bastante diferente. No propone un estándar universal para todos los nuevos vehículos a partir de una fecha específica sino que determina diferentes límites que serán introducidos paso a paso con un promedio de flota que se reduce año a año. Los fabricantes deben cumplir con un promedio de flota para gases orgánicos no-metano (NMOG).

La comparación de los límites de emisión ajustados al ciclo FTP75 de los Estados Unidos indica que el estándar EURO 4 para vehículos a gasolina es comparable con el estándar ULEV (vehículo de emisión ultra baja) en la legislación LEV I (Figura 3). La gráfica también muestra que los límites LEV y ULEV actualmente válidos para el NO_x (ver Figura 3: LEV I) permiten niveles de emisión cuatro veces más altos que aquellos de un vehículo EURO 4. La legislación LEV II, por lo tanto, hizo más rigurosos los límites de NO_x y particulado y es sustancialmente más exigente que EURO 4. Las características distintivas del LEV II incluyen un requisito de durabilidad de uso de por lo menos 120.000 millas y requisitos OBD expandidos suplementarios a los estándares FTP que limitan las emisiones bajo condiciones de alta aceleración, niveles de evaporación de HC muy bajos y un requisito de que todos los autos y vehículos comerciales livianos, ya sean a gasolina o Diesel cumplan con los mismos límites de NO_x y MP.

Las tan conocidas exigencias con respecto a ciertas tecnologías automotrices, tales como los vehículos de emisión de nivel cero (ZLEV), es decir autos eléctricos, ya no son justificadas por los requisitos de aire limpio en el sector de transporte de la Unión Europea.

Que los vehículos de emisión nivel cero u otros vehículos de tecnología avanzada sean o no necesarios en cualquier país, dependerá de una cuidadosa evaluación del problema de la calidad del aire en dicho país.

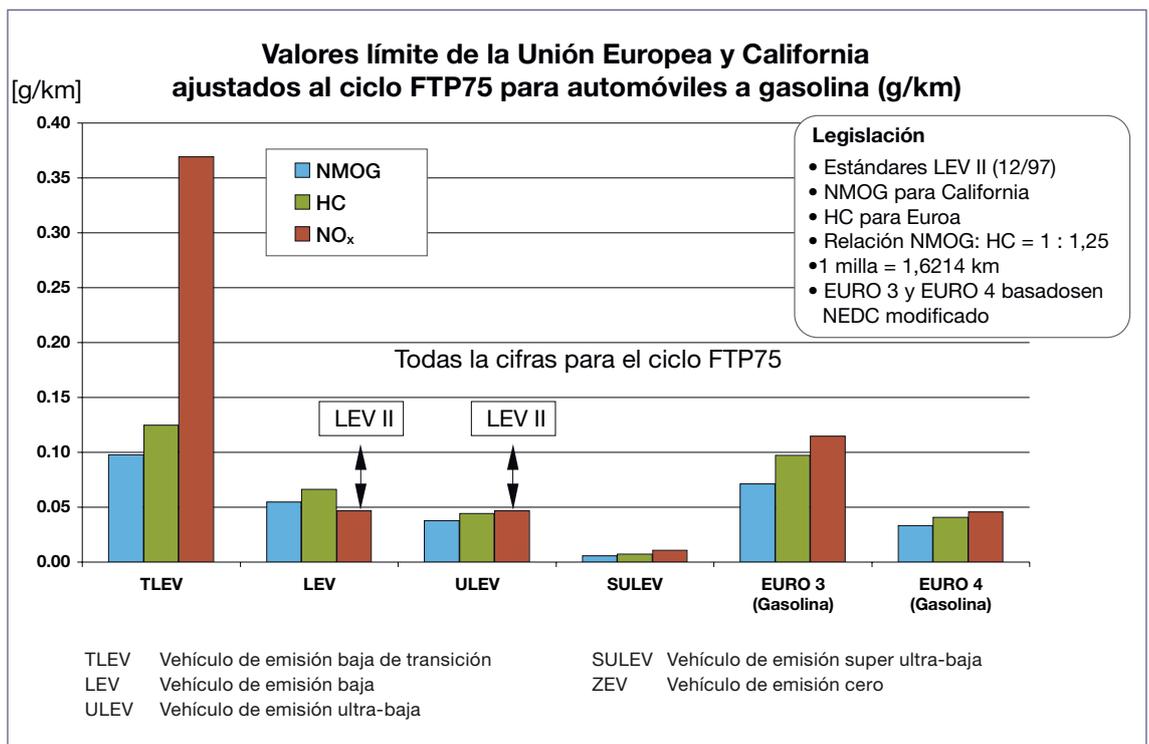


Fig. 3
Comparación de límites de emisión para automóviles con motor a gasolina, entre Europa y LEV II, California.

bajo el piso. El empleo de GNC en automóviles para pasajeros podría significar la reducción de espacio útil dentro del baúl del coche ya que allí debe instalarse el tanque de depósito del combustible.

Los motores a gas natural provocan costos de capital adicional debido al motor del vehículo y al sistema para el tanque de almacenamiento y más costos para la compresión del gas natural, que cubren la inversión, operación y mantenimiento de la estación surtidora.

Para almacenar gas natural, éste debe comprimirse a 200 bar (2.900 psi) en la estación surtidora. La configuración de la estación surtidora según las demandas individuales de los clientes resulta de gran importancia al minimizar costos. La calidad del gas natural y la presión previa a su provisión constituyen importantes factores también. Una presión previa alta reduce la potencia de compresión necesaria y de allí que surjan los costos operativos. La pre-presión de una estación surtidora tiene influencia en la proporción de los costos específicos por volumen de gas natural comprimido.¹⁴

Los costos adicionales de una flota de autobuses con GN se calcularon en un 7% en el proyecto THERMIE, incluyendo todos los costos de personal adicional, estación surtidora, etc.¹⁵ La Figura 4 muestra que el costo extra de los

autobuses a GN comparados con los Diesel, bajará en la medida que esta tecnología se consolide en los nuevos mercados en el transcurso de la próxima década (ver nota en el margen derecho). Para ir haciendo más fácil el camino y que la tecnología de energía a gas pase a una producción en serie a través de las pruebas de la flota y la verificación de que esté apto para ser usado en condiciones prácticas, el Ministerio Federal Alemán del Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear y la UBA han tomado medidas promocionales en la forma de proyectos de inversión que proveen importantes fondos pagaderos a los operadores de nuevos vehículos a GN, para compensarlos por los costos extra en que incurrieron, en comparación con los vehículos a Diesel.¹⁶ En Alemania, unas 80 estaciones surtidoras de gas natural se encuentran a disposición del público. Los vehículos a GN, por lo tanto, están siendo operados principalmente en flotas que tienen sus bases cerca de las estaciones surtidoras.

En relación con a los proyectos de inversión antes mencionados, "Operación modelo de vehículos a GN", la UBA elaboró una lista basada en información proporcionada por los fabricantes. Esta lista muestra los Vehículos a GN disponibles en todas las categorías, que satisfacen los requisitos en materia de emisiones en relación con los vehículos que participan (Tabla 6).

Costos diferenciales entre autobuses a GNC y autobuses estándar

El costo extra que los vehículos pesados tenían en Europa en el año 2000 debido a sus motores a gas natural y un tanque de GNC, se situaba entre 20.500 y 35.800 Euros. Esto representa entre el 8% y el 16% del precio de venta de un autobús de servicio estándar. En el año 2002, el diferencial de costos ya había bajado a 25.000 Euros. En el largo plazo, será posible reducir el costo extra de los autobuses a gas natural pues esta tecnología está ganando terreno en nuevos mercados.

En numerosos mercados de los principales países en desarrollo, los autobuses se están fabricando localmente, ya sean los regulares o a GNC, a precios mucho más bajos que en Europa. Los nuevos autobuses Diesel que cumplen con los estándares de emisión EURO 2 se pueden adquirir – según informes – por menos de 50.000 Euros en China e India, países que también fabrican autobuses GNC para el mercado interno a un precio mucho más bajo que en Europa.

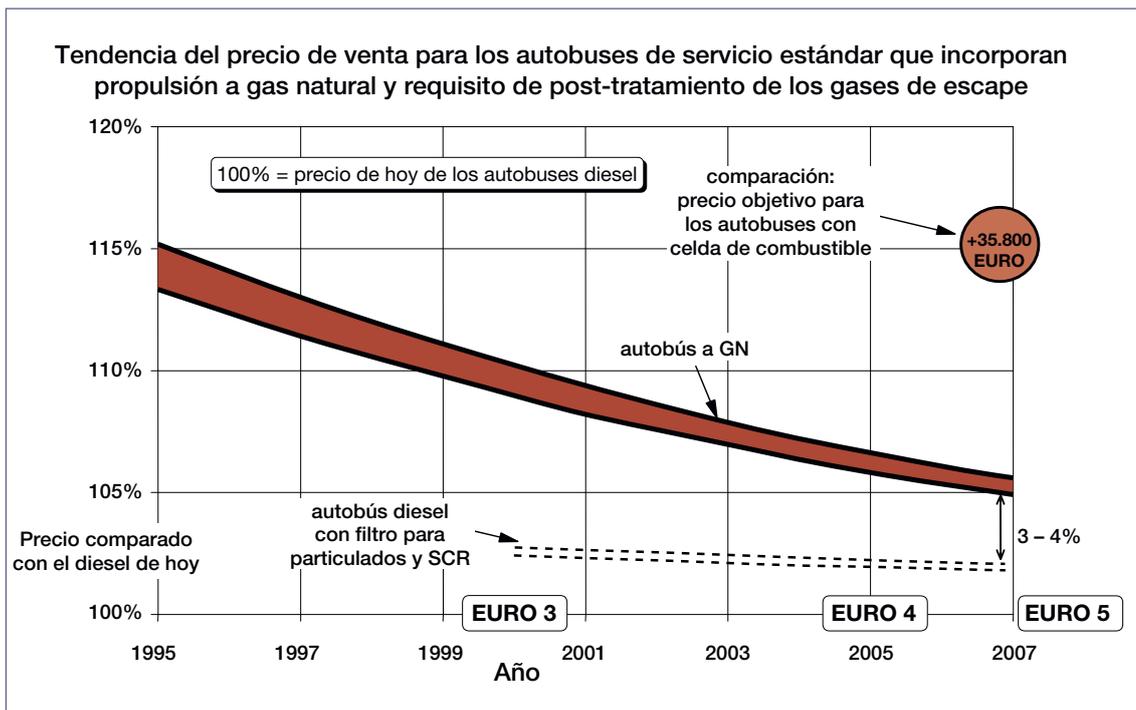


Fig. 4 Precio de venta de los autobuses a gas natural comparados con los actuales autobuses a Diesel.

6.2 Gas Licuado de Petróleo (GLP)

La tecnología de los motores de los vehículos a GLP es muy similar a la de los vehículos a gas natural. Como combustible para los motores de encendido a chispa cuenta con muchas de las mismas ventajas del gas natural con la ventaja adicional de ser más fácil de llevar a bordo del vehículo. El GLP tiene muchas de las mismas características de emisiones que el gas natural. El hecho de que es principalmente propano (o una mezcla de propano/butano) en vez de metano, afecta la composición de las emisiones VOC de escape y su reactividad fotoquímica, y su potencial para el calentamiento global. Aparte de ello, ambos combustibles son similares.

El empleo del GLP en el transporte, en lugar de quemarlo como gas residual en los campos petroleros o en la refinería, tendrá como resultado un ahorro inmediato de combustible fósil. El uso de GLP ofrece eficiencia energética en la cadena de explotación, refinación y uso de la energía, comparable a la de la gasolina y el Diesel.

Las emisiones durante el uso de GLP en el vehículo son comparables a las emisiones de los motores a gasolina. En los Países Bajos se realizaron pruebas de cumplimiento en el uso con automóviles de pasajeros que funcionaban con GLP¹⁷. La conclusión de estas pruebas fue que la situación de mantenimiento para los

vehículos probados era, de hecho, muy buena. Los vehículos a GLP cumplían fácilmente con los límites actuales de emisión. Las tecnologías de los motores ya están en su tercera generación y se describen en el programa de cumplimiento en el uso de la siguiente manera:

a) 1ª generación:

Sistema mecánico con control mecánico del medidor; sin circuito cerrado.

b) 2ª generación (análogo):

Sistema mecánico con control mecánico. Control de circuito cerrado adicional mediante sensor lambda. Este control de circuito cerrado trabaja relativamente despacio.

c) 2ª generación (digital):

Sistema mediante el cual el flujo ocurre como antes vía el venturi, pero mediante el cual el medidor se regula con un microprocesador con “mapas de motor” pre-programados. El control de circuito cerrado también es a través de un sensor lambda. El control puede ser más preciso pero el circuito cerrado es aún relativamente lento.

d) 3ª generación:

Este sistema se distingue del de 2ª generación en el sentido de que es un sistema de auto-adaptación. Las desviaciones observadas en la relación aire/combustible se almacenan en la memoria y se procesan en el medidor de

Tabla 7: Panorama de los vehículos a GN disponibles que cumplen los requisitos del proyecto de inversión “Operación modelo de vehículos a GN” (2/1998)

	Vehículos Nuevos				Adaptados	
	Autos	Vehículos livianos	Camiones	Autobuses	Autos	Vehículos livianos
Fabricantes	6	5	5	3	2	1
Tipos	18	15	9	7	13	6
Potencia en kW	44 – 95	44 – 105	75 – 175	140 – 228	44 – 85	51 – 95
Máx. peso permitido en toneladas	1,4 – 2,8	1,6 – 3,5	4,3 – 26	11,5 – 28	1,4 – 2,0	2,8 – 3,5
Formación de mezcla: lambda = 1	18	15	7	3	13	6
combustión pobre	-	-	2	4	-	-
Operación: Monovalente	1	1	9	7	4	4
Bivalente	5	1	-	-	-	-
Opcional	12	13	-	-	9	2
Costos extra en Miles de US-\$	1,3 – 5,4	3,2 – 7,3	5,5 – 51,0	38,8 – 52,0	3,1 – 6,9	3,3 – 3,6

control digital. En la práctica, se trata muchas veces de inyecciones multi-punto.

Las emisiones de las diferentes generaciones de sistemas GLP aparecen en la Figura 5.

Las emisiones de GLP en motores de vehículos pesados están muy por debajo de los estándares de emisiones para los vehículos pesados de la EURO 3, que se implementan en Europa para el año 2000.¹⁸

El vehículo pesado fue equipado con un sistema de combustible de circuito cerrado y un catalizador de tres vías. El motor de 6 cilindros y 135 kW con mezcla estequiométrica y aspiración natural cuenta con una relación de compresión de 10:1. La eficiencia máxima del motor es alta, se ubica entre 33 y 37% con carga máxima. Por encima de la prueba de 13 modalidades, el motor muestra valores de emisión favorables con un catalizador viejo (30.000 km), como se resume en la Tabla 8.

Con un sistema de combustible más sofisticado (por ejemplo, inyección de combustible controlada electrónicamente) existe un potencial para lograr una mayor reducción de emisiones.

Los costos de una conversión de gasolina a propano son considerablemente menores que los de conversiones a gas natural debido más que nada al bajo costo de los tanques de combustible. Como en el caso del gas natural, el costo de la conversión de vehículos de alto uso puede ser recuperado a través de costos más bajos de combustible en el transcurso de unos pocos años.

Tabla 8: Emisiones en la prueba de 13 modalidades para un motor a GLP de 7,4 litros que opera con un catalizador viejo (lambda = 1)

g/kWh	HC	CO	NO _x	MP
GLP	0,5	1,8	0,5	-
Límites de emisión para los motores Diesel				
EURO 1 1992	1,25	5	9	0,4
EURO 2 1996	1,1	4	7	0,15
EURO 3 2000	0,6	2	5	0,1

El GLP se produce en la extracción de líquidos más pesados del gas natural, y como sub-producto en la refinería del petróleo. Actualmente, la provisión de GLP supera la demanda en la mayoría de los países que refinan petróleo. Es por esto que el precio es bajo comparado con el de otros hidrocarburos. Dependiendo de lo local, sin embargo, los costos adicionales de almacenamiento y transporte del GLP podría llegar incluso a revertir esta ventaja.

El gas licuado de petróleo ya está siendo muy usado como combustible para vehículos en los Estados Unidos, Canadá, los Países Bajos, Japón y otros. En Japón, 260.000 taxis, el 94% del total de taxis, emplean GLP como combustible. Muchos taxis Diesel de Hong Kong han cambiado a GLP.

La flota más grande de autobuses a GLP se encuentra operando en Viena. Los costos adicionales para un autobús que funciona con

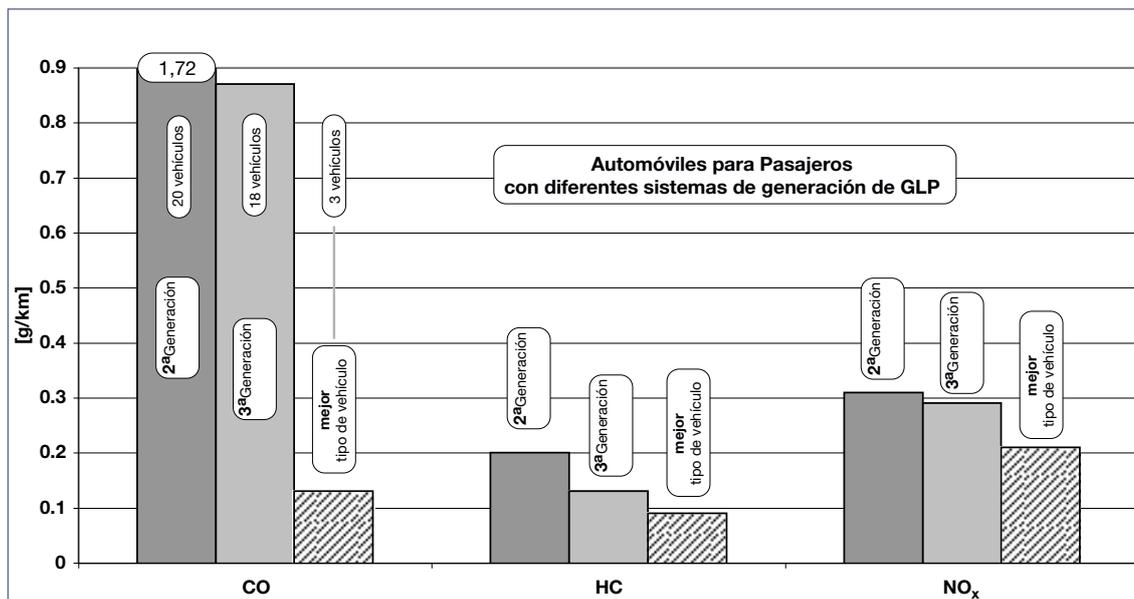


Fig. 5
Emisiones de vehículos a GLP en el nuevo Ciclo de Conducción Europeo (NEDC).

Rijkeboer, Binkhorst 1998

un motor a gas licuado se han calculado a unos 22.000 dólares, lo que significa costos adicionales del 9% comparados con el autobús Diesel estándar y en comparación con los 20.500 a 35.800 dólares adicionales que se requieren para el motor a gas natural.¹⁹

Para el uso del GLP no existen otros costos adicionales altos en lo que respecta a la estación surtidora, en comparación con la estación surtidora que requiere el combustible Diesel, en el caso de una flota de autobuses (Vagt, 1995). El autor calculó, para una flota alemana de 40 autobuses Diesel, costos generales de \$ 1,60/km con respecto a los costos de los vehículos, costos operativos y costos de las estaciones de combustible. Para una flota comparable con vehículos a gas licuado se calcularon costos generales de \$ 1,60/km, que son costos adicionales de sólo 0,3%.

El GLP puede, como ocurre con el GNC, convertir los costos adicionales en una inversión efectiva porque las bajas emisiones de los vehículos a gas contribuyen significativamente a la mejora de la calidad del aire en comparación con los motores Diesel – generalmente usados – en los vehículos pesados.

La principal desventaja del GLP es la provisión limitada, cosa que podría descartar cualquier conversión a combustibles GLP a *gran escala*.

6.3 Metanol

El metanol tiene muchas características deseables de combustión y emisiones, incluyendo capacidad de combustión de la mezcla combustible/aire, baja temperatura de llama (que lleva a bajas emisiones de NO_x) y baja reactividad fotoquímica. También es un líquido, lo que hace que su almacenamiento y manejo sean más simples que los de los combustibles gaseosos. A los precios actuales y futuros, la materia prima más económica para la producción de metanol es el gas natural, especialmente el gas natural que se encuentra en regiones remotas donde no existe un mercado preparado. El combustible de metanol más común es el M-85, una mezcla de metanol y gasolina.

Los vehículos livianos a metanol tienen emisiones de NO_x y CO similares a los vehículos a gasolina. Las emisiones de VOCs son, grosso modo, la mitad de aquellas de los vehículos a

gasolina y la baja reactividad de ozono de los VOC da como resultado impactos de ozono más bajos. Las emisiones de formaldehído (un producto de combustión primaria de metanol) son más altas que aquellas de la gasolina u otros vehículos que usan combustibles alternativos, pero puede ser controlado con un catalizador.

“Hay pocas posibilidades de que (el metanol) sea competitivo en precio con otros combustibles convencionales, salvo que el precio del petróleo suba en forma considerable.”

El potencial que tiene el metanol para reducir los gases de invernadero depende de la materia prima de la que provenga. Quemar M-85 derivado del metano da como resultado emisiones de gases de invernadero de ciclo total de vida que son apenas más bajas que las de un vehículo a gasolina. Pero las emisiones de gases de invernadero de ciclo de vida de metanol proveniente de la madera o celulosa, son aproximadamente 60% más bajas que para la gasolina. Lo que más limita un uso extendido del metanol es su alto costo y volatilidad de precio. Hay pocas posibilidades de que sea competitivo en precio con otros combustibles convencionales, salvo que el precio del petróleo suba en forma considerable.

6.4 Etanol

El etanol se produce primariamente por la fermentación de almidón de granos (principalmente maíz) o azúcar de la caña de azúcar. Su uso más frecuente es el de oxigenado en la gasolina reformulada y en la mezcla de gasolina llamada “gasohol”. Estos combustibles pueden ser quemados en motores a gasolina. Se necesitan motores especializados para quemar etanol puro.

En los motores que queman gasolina reformulada y emplean etanol, los VOCs y CO se reducen pero el NO_x tiende a aumentar levemente.

Los vehículos que queman gasohol emitirán apenas más emisiones de gases de invernadero que los vehículos convencionales cuyo combustible es la gasolina. Las reducciones asociadas con

la quema de etanol puro dependen de la materia prima que lo origina. El etanol producido del maíz tiene emisión de gases de invernadero de ciclo de vida de un 15% menos que los vehículos a gasolina. El etanol producido de biomasa de madera (E-100) tiene emisiones de gases de invernadero 60 – 75% por debajo de la gasolina convencional.

Un automóvil cuyo combustible sea gasohol cuesta no más que un vehículo a gasolina similar. Puesto que el etanol proviene de granos y azúcares, la producción de etanol como combustible está en competencia directa con la producción de alimentos en casi todos los países. Esto hace que los precios de etanol sean relativamente altos, lo que de hecho ha impedido su uso como combustible de motores, excepto en aquellos lugares donde, como es el caso de Brasil y los Estados Unidos, se encuentra fuertemente subsidiado.

El programa brasileño “Proalcool” (Figura 6) que promueve el uso de etanol como combustible en vehículos automotores ha atraído la atención a nivel mundial como un programa exitoso en materia de combustible alternativo. A pesar de la disponibilidad de un recurso de biomasa amplio y poco costoso, este programa aún depende de considerables subsidios del gobierno que permiten su viabilidad.

El alto costo de producir etanol (comparado con los combustibles de hidrocarburo) sigue siendo la principal barrera que impide su uso más extendido.

6.5 Biodiesel

El biodiesel se produce haciendo reaccionar grasas vegetales o animales con metanol o etanol para producir un combustible de baja viscosidad similar en sus características físicas al Diesel, y que puede ser usado puro o en mezcla con Diesel de petróleo en un motor Diesel.

En el transcurso de los años, muchos factores han estimulado el interés en los bio-combustibles, incluyendo el biodiesel. Por ejemplo, la motivación inicial primera del programa brasileño de Alcohol fue la preocupación acerca de la energía. Sin embargo, parece ser que la mayor motivación hoy día que lleva a un mayor interés en los combustibles basados en biomasa



Fig. 6
Una variedad de combustibles más limpios, tanto convencionales como alternativos, están a disposición del cliente en Curitiba, Brasil.

Karl Fjellstrom, Feb. 2002



en muchos países, es la preocupación ambiental, especialmente con la contaminación del aire urbano y el calentamiento global. Además, existe un interés creciente en crear un mercado rentable para el exceso de producción granjera.

El biodiesel es un combustible Diesel con cero azufre. Por lo tanto, muchos de los puntos mencionados anteriormente, especialmente en lo que respecta al impacto potencial sobre las tecnologías de control Diesel más avanzadas, se aplican igualmente al biodiesel.

En general, mediante el tiempo el biodiesel ablandará y degradará ciertos tipos de elastómeros y compuestos de caucho natural. El empleo de mezclas de alto porcentaje puede impactar los componentes del sistema de combustibles (principalmente las mangueras de combustible y los cierres de los surtidores de combustible) que contienen compuestos elastómeros incompatibles con el biodiesel. Los fabricantes recomiendan que no se permitan gomas naturales o de butilo en contacto con biodiesel puro puesto que eso causaría la degradación de estos materiales con el tiempo, si bien el efecto se amortigua con las mezclas de biodiesel.

El consenso general es que el biodiesel mezclado o puro tiene el potencial de reducir las emisiones de CO del Diesel (si bien éstas ya son bajas), la opacidad del humo y las emisiones medidas de HC. Sin embargo, muchos estudios muestran un aumento en emisiones de NO_x para combustible biodiesel cuando se comparan con el combustible Diesel en condiciones normales de motor. Mientras que las investigaciones muestran una reducción en las emisiones de HC cuando se emplea biodiesel, el efecto de los ácidos orgánicos y/o compuestos oxigenados que se encuentran en el biodiesel podría estar afectando la respuesta del instrumento que mide el HC, el detector de ionización de la llama, subestimando así las emisiones reales de HC. Los datos sobre particulados se contraponen. Casi todos los estudios muestran una reducción pero algunos muestran aumentos bajo ciertas condiciones. Por ejemplo, un estudio encontró que:

El biodiesel, por lo general, daba mayores emisiones de particulados y los niveles más altos de particulados asociaban fracción orgánica soluble para todos los ciclos de conducción.²⁰

El alto costo del combustible de biodiesel es una de las principales barreras que lo hacen menos atractivo como sustituto del combustible Diesel.

6.6 Hidrógeno(H₂)

El hidrógeno, por lo general, se emplea como hidrógeno comprimido (CH₂) con 200 bar o hidrógeno líquido (LH₂) a -252°C (-422 F). El hidrógeno es una energía secundaria lo que significa que tiene que ser producido a partir de otras fuentes energéticas, fósiles o no fósiles.

Frecuentemente se propone utilizar hidrógeno en el transporte vial en lugar de gases que contienen carbono para mejorar la ventaja de CO₂. Sin embargo, al evaluar el ciclo total de combustible se ve que utilizando otra energía primaria de tipo fósil para la producción de H₂, esto no resulta en una ventaja neta de CO₂. El hidrógeno como combustible para aplicaciones viales resultará más ventajoso cuando se produce a partir de recursos renovables tales como electricidad producida por energía renovable o de biomasa.

El hidrógeno puede ser utilizado en motores de combustión interna (CI) o celdas de combustible. Si el hidrógeno es utilizado en motores de CI para trabajo pesado, la emisión de los motores GNC se compara con los motores de hidrógeno para NO_x, y para emisiones de escape bajas en MP. Todavía no hay datos disponibles para motores de CI en vehículos de pasajeros. En lugar de utilizar un motor de combustión, las investigaciones se han concentrado en el uso de hidrógeno para celdas de combustible en vehículos, lo cual puede ser más eficiente que el uso de metanol en las mismas.

“El ciclo de vida completo del combustible muestra que utilizar otra energía primaria fósil para la producción de H₂ no resulta en una ventaja neta de CO₂.”

Costos y otras restricciones

El hidrógeno a partir de recursos renovables tendrá costos adicionales además de los costos necesarios para generar electricidad renovable. Un estudio realizado en 1997 demostró que el

contenido energético del hidrógeno gaseoso se reduce al 65% de la producción de electricidad solar. Además, los costos que incluyen el transporte fueron dos veces más altos que los costos de la electricidad solar en ese momento. El uso del hidrógeno líquido resultó en una reducción del 50% de la electricidad solar y en una cifra de costo más de cuatro veces más alta que la de la electricidad solar.²¹

6.7 Vehículos eléctricos

Un amplio estudio de campo sobre Vehículos Eléctricos (VE) fue realizado con alrededor de 60 vehículos en la isla Báltica alemana de Rügen en 1996. El Instituto Alemán IFEU-Instituto para Investigaciones Ambientales y Energéticas de Heidelberg, llevó a cabo un estudio de equilibrio comparativo. Los pasajes siguientes son un breve resumen de Daug (1996).

Gases de efecto invernadero y otras emisiones

El consumo de energía y las emisiones de los vehículos dependen de un gran número de parámetros. Los parámetros de consumo energético más importantes son la *energía de empuje* y el *consumo de batería* (consumo de resistencia interna, calentamiento de la batería, energía de recarga, eficiencia de carga, auto-descarga), el *consumo de energía secundario* (convertidor de carga) y el *calentamiento adicional*.

La comparación de vehículos a motor eléctricos con los vehículos convencionales depende en gran medida de la capacidad de generación eléctrica en cada país, y varía en forma sustancial aún dentro del mismo país. Por ejemplo en 2005 más del 50% de la electricidad de Alemania será generada por plantas alimentadas a carbón y 5% de la electricidad será renovable. En Brasil, por otro lado, una gran parte de la electricidad proviene de energía hidráulica renovable.

La ventaja del automóvil eléctrico sobre el automóvil convencional incluye el hecho de que el vehículo eléctrico no genera emisiones tóxicas para los humanos ni dañan los activos físicos directamente en el lugar de su uso. Los autos eléctricos producen menos ruido y contribuyen menos a crear el smog de verano y la introducción de nitrógeno a los suelos y cuerpos de agua, dependiendo de la fuente de la electricidad. Las

desventajas del automóvil eléctrico incluyen el hecho de que podría tener un potencial de acidificación más alto y un impacto mayor sobre el clima si la electricidad se genera, por ejemplo, mediante la quema de carbón. Estas desventajas pueden aumentar si disminuye el rendimiento en km/día y pueden solamente ser compensadas bajo condiciones especiales de uso, tales como desplazamientos muy frecuentes de corta distancia.

Costos y otras restricciones

Desde el punto de vista de la UBA, los VEs deben ser comparados con la mejor tecnología disponible de los motores de combustión interna. En virtud de la ventaja de los VEs en términos de cero emisión local, la comparación entre los costos adicionales de un VE – principalmente costos de baterías – y los costos adicionales para el estándar de vehículos de emisión ultra baja (ULEV), comparados con el entonces (1996) actual vehículo de emisión estándar TIER I.

El costo incremental adicional de un ULEV se estimó en entre US\$ 84 y US\$ 200, dependiendo del tamaño del motor (Carb, 1996). Los costos incrementales fueron estimados en 2,7 a 5,3 centavos/milla para la batería, dependiendo del tipo y los costos específicos de la misma. UBA calculó a partir de estos datos costos de US\$ 2.700 a US\$ 6.400 para la vida útil incremental adicional de la batería para un VE en ese momento (Kolke, 1995).

La UBA concluyó que, basado en un vehículo TIER I, el costo incremental adicional de un solo vehículo podría financiar los costos incrementales adicionales de hasta 75 vehículos ULEV. Desde el punto de vista del medio ambiente urbano, la efectividad de costo de una introducción completa del estándar ULEV para todos los vehículos fue estimada como más alta que la de tener 10% de VE, 15% de ULEV y 75% de Vehículos de Transición de Baja Emisión (VTBE = TLEV).

El uso de VEs tiene sentido en áreas ecológicamente sensibles o instalaciones encerradas bajo techo que tienen una necesidad comprobada de cero emisiones locales. En situaciones de tráfico típicas, según el estudio de la UBA de 1996, puede ser más efectivo – en términos de costos – introducir rigurosos límites de emisión tales como el estándar ULEV o el estándar EURO 4 para vehículos a gasolina.

“Tomando como base un vehículo TIER 1, el incremento adicional de costos para un único vehículo eléctrico, podría financiar los incrementos de costos adicionales de hasta 75 vehículos ULEV.”

6.8 Celdas de combustible

Los vehículos a celdas de combustible (FC) están siendo estudiados en la actualidad como una de las tecnologías más prometedoras para el futuro. Se estudia el hidrógeno, metanol y aún la gasolina, como combustibles para estos vehículos. Se debe realizar una diferenciación aún mayor en virtud de las diferentes posibilidades de producir el combustible.

Desde el punto de vista de la UBA, el primer paso de un programa de investigación y desarrollo debe ser un estimado detallado y realista de los efectos ambientales y el costo de las aplicaciones comparándolas con la mejor tecnología convencional disponible. Sólo si un análisis transparente muestra que las FC compiten en costo, asumiendo que lleguen a una reducción sostenible de emisiones, debería considerarse la aplicación de FC como una solución tecnológica alternativa realista para la reducción de emisiones en el sector del transporte vial.

Gases de efecto invernadero y otras emisiones

La eficiencia de los vehículos a FC será uno de los principales problemas en su camino de convertirse en el “auto del futuro”. La UBA realizó investigaciones para distintos autos del futuro, basadas en su propio diagnóstico de los desarrollos más probables. Las comparaciones fueron realizadas con un vehículo competitivo y de uso eficiente del combustible con un motor a gasolina que está disponible como prototipo: el concepto SMILE desarrollado con la ayuda de Greenpeace en 1996. Este auto tiene espacio para cuatro pasajeros, un peso de 650 kilos, un consumo de combustible de 3,25 litros cada 100 kms. (72 mpg) y puede llegar a niveles de emisión ULEV. Los cálculos de los costos incrementales fueron realizados para un ULEV eficiente con un motor de 40 kW y para un ve-

hículo FC con una potencia mecánica de 15 kW, una potencia nominal de motor de alrededor de 18 kW (máximo alrededor de 32 kW) y una potencia de FC de 40 kW. Dos tipos de vehículo fueron examinados:

- El vehículo FC con almacenamiento de hidrógeno comprimido;
- El vehículo FC con metanol y reformador.

Los cálculos mostraron que el peso del sistema de almacenamiento y de los componentes de propulsión (motor, FC, reformador, etc.) será entre dos y tres veces más altos que los del vehículo del futuro con propulsión a gasolina.

La principal ventaja actual del vehículo FC está constituida por sus muy bajas emisiones. La UBA calculó que las emisiones para el eficiente ULEV y los vehículos FC en los cuales se estudiaron las emisiones en relación con la producción de combustibles, y los comparó con un vehículo a nafta de 1996 EURO 2 (consumo de combustible de 6 litros cada 100 kms o 39 mpg). Los datos de consumo y combustible para los vehículos FC fueron suministrados por Daimler (1997) con 20 kWh/100 kms y 26 kWh/100 kms (hidrógeno, metanol) para un vehículo de 730 kilos.

Los ULEV eficientes ya producen una reducción notoria de las emisiones de entre el 50% y el 85%. La reducción de las emisiones directas es suficiente para lograr los objetivos de calidad de aire en Alemania. En Alemania no será necesaria una reducción adicional de las emisiones directas si todos los vehículos cumplieran con éste o con un estándar de emisión comparable. Al comparar las emisiones producidas directa o indirectamente, los vehículos FC con datos de consumo de combustible muy optimistas, pueden reducir aún más las emisiones en todos los casos.

El principal parámetro de clasificación estará dado por la relación de los costos adicionales de la nueva tecnología con los beneficios, es decir, la reducción de las emisiones y la utilización de energía primaria comparado con un vehículo que logre el EURO 2 con 39 millas por galón. Estos parámetros describirán el ahorro específico de costos de emisión. En la sección siguiente se da un resumen de los cálculos adicionales.

Costos y otras restricciones

Para calcular los costos de la reducción de emisiones para autos de pasajeros, en compa-

ración con un vehículo estándar EURO 2, la reducción de emisión debe ser relativizada a los costos adicionales del vehículo. Los costos extra del vehículo están integrados por varios componentes de costo, que incluyen mayoritariamente los costos de conducción y depósito, así como los costos energéticos de la operación. La determinación de los costos de conducción se calcula sobre la base del análisis y cálculo de los costos específicos. La Figura 7 muestra la base para el cálculo de la distribución de costos con costos de FC de 50 Euros/kW. A continuación se resumen los cálculos adicionales.

Como en el largo plazo la consideración más importante será la reducción de las emisiones de CO₂ relevantes para el efecto invernadero, los siguientes resultados resumen los cálculos para la reducción de gases de invernadero. La UBA también consideró los datos de objetivos de los Estados Unidos para la tecnología de FC, que se caracterizan por los costos publicados por el programa Ford/DOE y son resumidos por Sims (1997), con US\$ 18-24 por kW de costos de manufactura para el banco de FC. Se realizó otro cálculo con el objetivo de desarrollo de US\$ 50/kW para la estrategia de implementación de una propulsión completa a FC.

Aún asumiendo que el desarrollo exitoso de la tecnología FC para el transporte (US\$ 50/kW FC Drive Line) los costos para la reducción de emisiones del gas de invernadero CO₂ pueden elevarse a US\$ 200 por tonelada métrica. La posibilidad de evitar costos es de por lo menos US\$ 83 más por tonelada métrica de CO₂ que los costos de reducción de un vehículo eficiente con motor de combustión interna a gasolina y emisiones ultra bajas.

La UBA realizó comparaciones adicionales de los costos y las posibles reducciones de emisión de autobuses FC con propulsión a hidrógeno y autobuses con motores de combustión interna y gas natural (GN). En tanto que el primer sistema puede reducir los componentes críticos de emisión de NO_x y MP comparados con un autobús a Diesel, el autobús a gas natural puede reducir el NO_x en un 85% y las MP en más del 99%. La comparación de costos muestra que la tecnología FC no es una tecnología competitiva en costos para autobuses públicos en el futuro cercano, tal vez en los próximos 20 años.

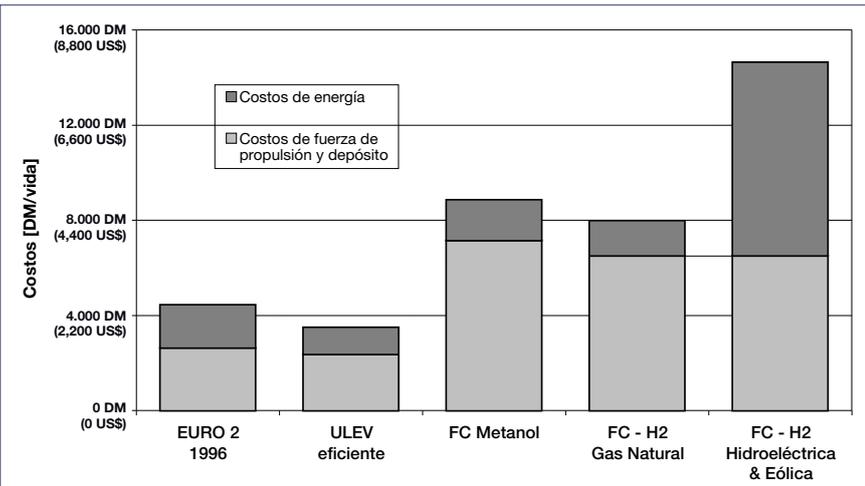


Fig. 7
Tasa de distribución de costos para conceptos de nuevos automóviles (para pasajeros) con una vida útil de diez años.

Como no existen datos reales para los costos futuros de los autobuses disponibles de FC, la comparación debe ser realizada basada en la mejor tecnología competitiva disponible que es el autobús GN. La producción completa y disponible de tecnología GN tiene costos adicionales de US\$ 22.000 – 39.000 que podrá ser reducida a US\$ 14.000 en los próximos diez años (ver nota en el margen).

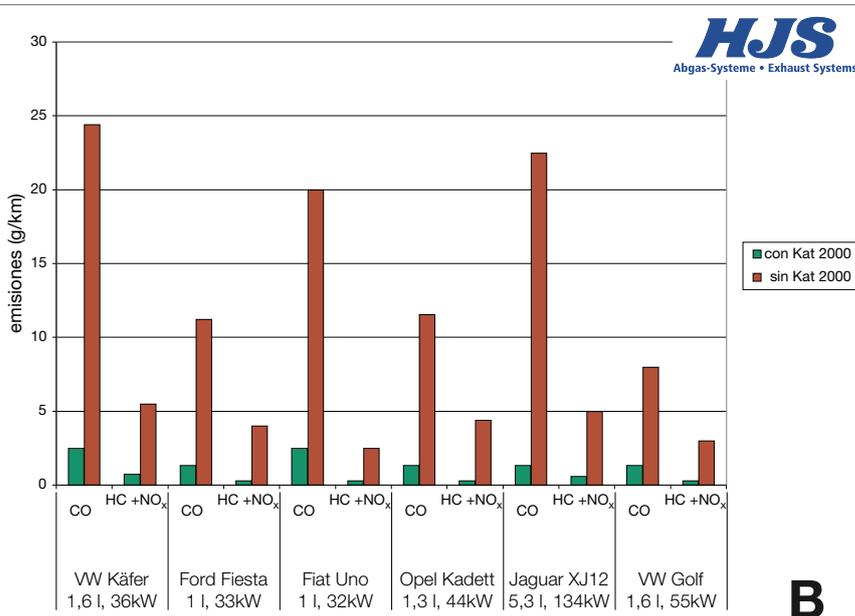
“La posibilidad de evitar costos es de por lo menos US\$ 83 más por tonelada métrica de CO₂ que los costos de reducción de un vehículo eficiente con motor de combustión interna a gasolina y emisiones ultra bajas.”

Sin embargo, la tecnología FC es una tecnología prometedora para el futuro. Aún así, es necesario un estudio diferencial del uso de las FC desde el punto de vista del medio ambiente, en virtud de los servicios de energía que van a proveer y la disponibilidad de alternativas previsibles en cada caso. El uso de FC en el área estacionaria parecería ser razonable y factible de ser desarrollado en vista de que ellos ya pueden convertir fuentes de energía fósil (por ejemplo, gas natural) a electricidad y calor o estar asociados a la producción de refrigerante en forma mucho más eficiente que las anteriores plantas generadoras o productoras de calor.

Los sistemas de adaptación (retrofit) están disponibles para:

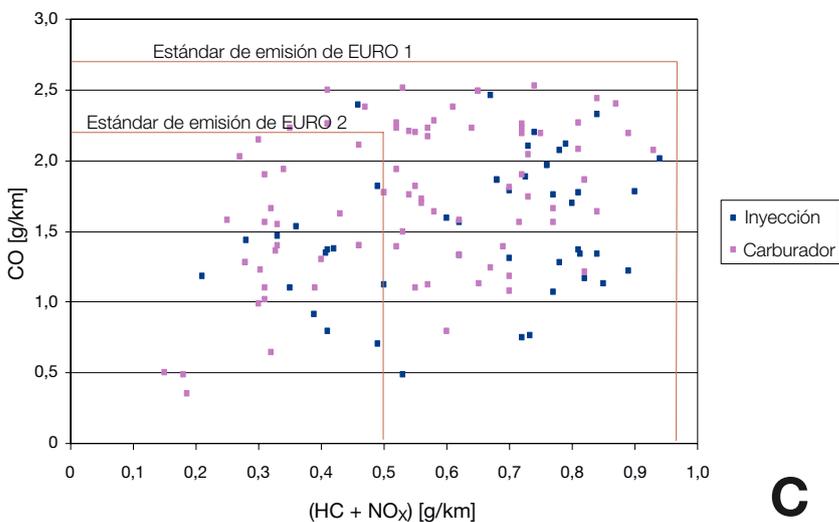
- Automóviles a gasolina (catalizadores de tres vías con circuito cerrado)
- Motocicletas (catalizador de oxidación para motores de dos tiempos y motores más pequeños de cuatro tiempos, catalizadores de tres vías y circuito cerrado para motocicletas más grandes, de cuatro tiempos)
- Autobuses y camiones (filtros de partículas, GN y LPG con catalizadores de circuito cerrado de tres vías)
- Autos Diesel y LDT (filtros de partículas, en breve a disposición)

A



B

Emisiones de CO y (HC + NO_x)



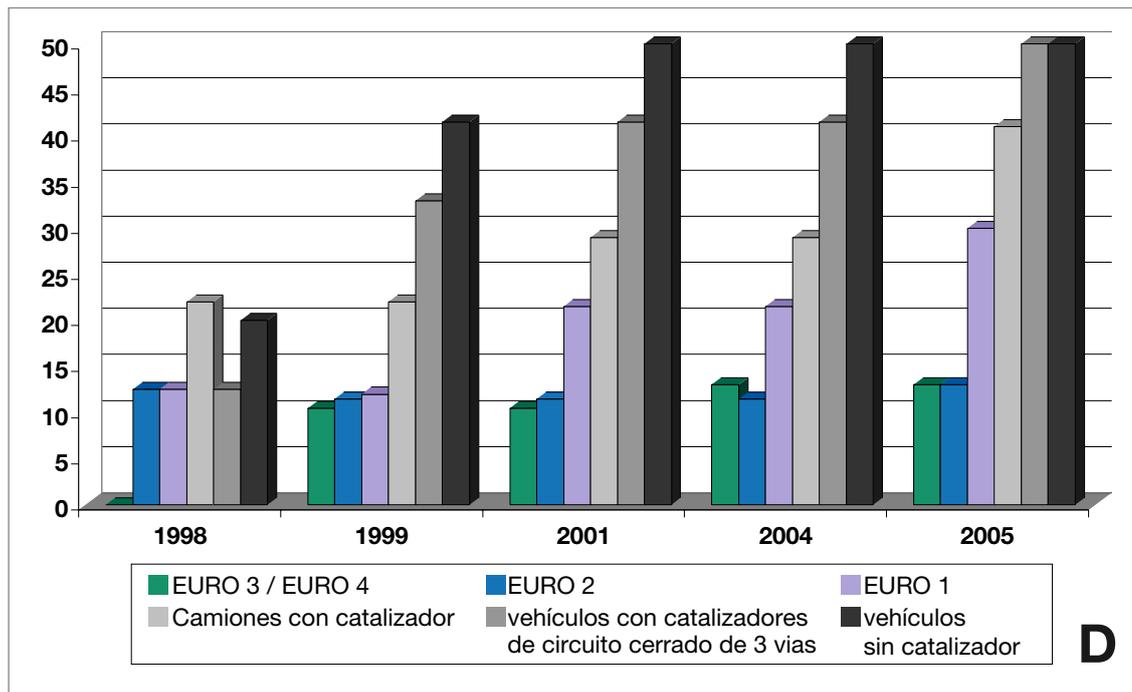
C

Política y experiencias con la adaptación (retrofit) en Alemania

Fuente: Axel Friedrich, Agencia Federal Ambiental de Alemania
Nota: 1 DM es aproximadamente 0,5 Euros

La adaptación para vehículos actualmente en uso (Figura "A") es uno de los principales instrumentos disponibles para reducir las emisiones del sector transporte en el corto plazo. A pesar de este hecho, la mayoría de los intentos realizados en distintas partes del mundo no han sido muy exitosos. En Alemania la alta percepción de los problemas ambientales causada por los informes de la muerte de los bosques y otros efectos nocivos de la contaminación del aire, llevaron a una legislación ambiciosa para reducir las emisiones de la industria y el transporte. Al principio de la década de 1980 la adaptación de plantas generadoras de energía requirió depuradores de gases y catalizadores para la reducción de dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno (NO_x). Posterior a la introducción de los catalizadores de tres vías a mediados de los 80, hubo pedidos para que se utilizara la adaptación en vehículos a gasolina con catalizadores de tres vías de circuito abierto o recirculación de gases de escape (RGE). El catalizador de tres vías de circuito abierto reduce las emisiones de un auto a gasolina con carburador en aproximadamente un 50%. Los vehículos con la adaptación de RGE reducen el NO_x en alrededor de 30% dentro de la franja de velocidades más bajas donde las emisiones de NO_x son menores. Este programa de adaptación fue apoyado por incentivos impositivos. Los dispositivos tenían que ser aprobados para cada familia de vehículos. En virtud de que no se establecieron requisitos para la duración de los mismos, también fueron utilizados sistemas inadecuados.

En la segunda fase, además de los catalizadores de tres vías de circuito abierto, se incluyeron límites de emisión que requieren la instalación de catalizadores de tres vías con control lambda. Los equipos de adaptación capaces de cumplir con los estándares de emisión vehicular EURO 1, no debían pagar la patente anual de rodado hasta que el monto total llegara a DM 1.250 (alrededor de US\$ 650) y luego el propietario debía pagar una tasa anual de impuesto reducida para un vehículo EURO 1. El requisito legal incluyó el mismo procedimiento para las aprobaciones tipo, así como para los vehículos nuevos. Después de la instalación, cada auto debía ser verificado individualmente en centros de prueba autorizados y se realizaba un cambio en la tarjeta de identificación del vehículo por las autoridades. En virtud de este requisito legal, la industria desarrolló kits de adaptación que cumplieran con los estándares EURO 1 y los costos de instalación y adaptación para un auto



de tamaño mediano se redujeron a aproximadamente DM 1.250 (alrededor de 640 Euros).

El equipo de adaptación incluye el catalizador de tres vías (comprendiendo tubos de acero inoxidable), la unidad de control electrónico, incluyendo el sensor lambda, así como todas las partes necesarias para la introducción de aire adicional debajo del carburador y, en caso de ser necesario, un adaptador para el carburador. Se agregaron los documentos de certificación. Los talleres recibieron una unidad de calibración para el ajuste correcto del motor y del valor lambda.

En la Figura "B", se muestran las emisiones antes y después de la adaptación para algunos vehículos de diferente tamaño y antigüedad. Uno de los vehículos más viejos equipados con adaptación fue el Fiat Topolino modelo 1936! La conversión logró reducción de emisiones del orden del 90%.

En la Figura "C", se muestran los datos de aprobación de muchos vehículos diferentes. Se puede ver que un número considerable de vehículos también cumplieron con los estándares EURO 2 para los tres contaminantes.

En el año 1998 la patente anual de rodados fue modificada para reflejar el comportamiento de emisiones en el costo de la misma. Debido a las implicaciones sociales de este cambio impositivo – los autos más contaminantes pertenecían a la gente más pobre – la adopción de este impuesto llevó algún tiempo y debió ser diluida. La estructura de impuestos se muestra en a Figura "D". Estos cambios se realizan en dos pasos, a los efectos de permitir a los propietarios de vehículos anti-

guos más contaminantes instalar la adaptación o desechar el vehículo. El objetivo de la reforma también fue que los cambios en impuestos fueran fiscalmente neutrales. Un número total de alrededor de 800.000 autos han sido equipados con adaptación. Para un auto promedio es necesario un plazo de alrededor de 2 a 2,5 años para pagar el costo del catalizador con la reducción de impuestos. Hoy en día es muy difícil vender un auto antiguo sin un catalizador de tres vías de circuito cerrado. Por este motivo los revendedores de vehículos son quienes realizaron la mayoría de las adaptaciones más recientes.

Además de los incentivos a partir de impuestos se utilizan otros instrumentos para promover la instalación de adaptación en autos. En diferentes leyes y ordenanzas las restricciones de conducir vinculadas a altos niveles de contaminantes del aire (en la última década smog invernal, ahora smog de verano) (ozono) y en cañones de calles) se aplican solamente a vehículos altamente contaminantes. Esto significa que los vehículos con adaptación también están exentos. Para facilitar la identificación de los mismos, los vehículos con catalizador de circuito cerrado deben llevar un adhesivo en el parabrisas. A pesar del hecho de que hasta el momento actual estos instrumentos han sido utilizados solamente dos veces en Alemania, la adopción de esta legislación influyó considerablemente en la tasa de descarte y de adaptación de vehículos. Los equipos de adaptación que cumplen con los criterios adicionales tienen derecho a utilizar la etiqueta ambiental (Umweltzeichen) en su publicidad.

7. Conclusiones

Está actualmente bien establecido que el uso de combustibles más limpios debe ser una parte integral de un esfuerzo más amplio y efectivo para el control de la contaminación producida por vehículos automotores. La eliminación del plomo en la gasolina, así como la reducción drástica sino completa eliminación del azufre tanto de la gasolina como del Diesel, son elementos actualmente bien establecidos de todo programa de combustibles limpios. La lección más importante de los últimos veinticinco años con respecto a estos componentes es que esta tarea debe realizarse rápidamente.

Hoy en día el motor de combustión interna alimentado por combustible líquido es el utilizado en la amplia mayoría de los vehículos en todo el mundo. Esta tecnología está avanzando rápidamente y, especialmente en los lugares donde están disponibles combustibles ultra bajos en azufre, es capaz de lograr niveles muy bajos de contaminantes convencionales. Además, es posible que haya incrementos de eficiencia en los combustibles y podrían reducir la tasa de incremento de las emisiones de gases de invernadero y, en algunos casos, reducir la cantidad total de gases de efecto invernadero emitida por el sector transporte.

Sin embargo, los combustibles y tecnologías alternativas ofrecen oportunidades para la reducción significativa de las emisiones e incrementos en la eficiencia de algunas categorías especiales de vehículos. Los distintos combustibles y tecnologías alternativas se encuentran en diferentes estadios de desarrollo y cada uno de ellos tiene un rendimiento y características de emisión únicas. Teniendo en cuenta el estado actual del desarrollo y el potencial de reducción de emisiones, las siguientes conclusiones en términos de políticas parecen apropiadas:

En los lugares donde el gas natural comprimido está fácilmente disponible en una determinada localidad, y donde el Diesel de azufre ultra bajo no está disponible en forma fácil y confiable, debe estudiarse seriamente la posibilidad de reemplazar los autobuses Diesel con autobuses CNG. Otras flotas alimentadas centralmente tales como camiones de desechos o de reparto local también presentan interesantes posibilidades de reemplazo.

En los lugares donde el gas natural comprimido o LPG es fácilmente obtenible en una determinada localidad, se debe dar una fuerte consideración al reemplazo de otros tipos de vehículos altamente contaminantes tales como las motocicletas con motor de dos tiempos por CNG o LPG. La conversión tanto a LPG como a CNG está bien establecida como una tecnología viable. En lo que respecta a la reducción de emisiones de HC y MP, la estrategia más exitosa para los triciclomotores es reemplazar el motor de dos tiempos a gasolina por un motor de cuatro tiempos a CNG o LPG.

Existen varios obstáculos para el uso generalizado de vehículos a gas natural y LPG que incluyen la ausencia de una infraestructura de transporte y almacenamiento, los costos adicionales (principalmente de los tanques de almacenamiento de combustible), la pérdida de espacio de carga, el incremento del tiempo de recarga de combustible, y una menor autonomía. Por lo tanto, los incentivos económicos tales como impuestos más bajos sobre los combustibles y otros incentivos deben ser tenidos en cuenta como medio para estimular la introducción y aceptación de los mismos.

En los lugares donde el LPG está fácilmente disponible y donde el Diesel de azufre ultra bajo no es fácil y confiablemente disponible, se debe estudiar seriamente el reemplazo de los taxis a gasolina o Diesel por LPG.

La conversión de los vehículos Diesel existentes en la actualidad a gas natural es difícil y problemática y, muy a menudo, resulta en un incremento de las emisiones de NO_x . Por lo tanto, para los vehículos Diesel el reemplazo debe ser preferido a la conversión.

La conversión de los vehículos a gasolina actualmente existentes a CNG o LPG no es muy difícil y si es realizada correctamente puede resultar en una reducción de las emisiones.

Una ventaja inherente de los combustibles gaseosos es la seguridad de que no se plantea el problema de la adulteración.

Dependiendo de la fuente y el proceso utilizado para fabricar estos combustibles, puede haber emisiones muy bajas o muy altas de gases de efecto invernadero. Por ejemplo, el metanol hecho a partir de carbón duplicaría

aproximadamente las emisiones de gases de efecto invernadero, comparadas con la gasolina convencional, en tanto que el metanol fabricado a partir de gas natural sería algo menor que la gasolina y, si es fabricado a partir de la celulosa, sería un 60% menor.

Con vistas al futuro, es claro que la flota vehicular continúa creciendo rápidamente en muchas partes del mundo y aumentando su presión sobre el medio ambiente tanto a nivel local como global. Tras más de cuarenta años de esfuerzo para reducir la contaminación producida por los vehículos, más de 100 millones de personas en los Estados Unidos continúan viviendo en áreas donde uno o más de los parámetros de calidad del aire que afectan la salud, son superados. En lo que respecta al calentamiento global, el sector transporte es el contribuyente de más rápido crecimiento a los gases de invernadero y el rápido crecimiento de CO₂ de este sector continúa sin ser abatido a pesar de los esfuerzos significativos en regiones tales como Europa. Aún en Europa, donde se persigue en forma muy agresiva la reducción del CO₂ a través del uso cada vez mayor de la tecnología Diesel, las evidencias recientes indican que las emisiones de carbón de esos vehículos pueden estar socavando sus modestos logros. En tanto que las tecnologías convencionales tienen cada vez más habilidad de demostrar la capacidad de lograr niveles cada vez más bajos de CO, HC, NO_x y MP están rápidamente consumiendo las limitadas reservas de petróleo del mundo.

Por lo tanto, si se consideran estos temas en forma agregada, en conjunto con otros aspectos como la contaminación sonora, la contaminación del agua, etc., debemos preguntarnos si es prudente expandir las opciones tecnológicas y de combustibles disponibles para las futuras generaciones de propietarios de vehículos. La cuestión es si dedicar todos los recursos disponibles a las tecnologías y combustibles existentes constituye una buena política pública, los cuales son muy maduros y que continúan realizando progresos incrementales, o si, por el contrario, algunos recursos deben ser re-direccionados a combustibles y plantas de producción que son sumamente costosas hoy en día en sus etapas tempranas de desarrollo pero que son

prometedora y atractiva en el futuro no tan lejano. Con respecto a los países en desarrollo cuyos recursos son sumamente limitados, el problema es aún más agudo. Sin embargo, en algunos de estos países como China, donde se está dando un crecimiento explosivo de la producción de vehículos, los tomadores de decisiones han llegado a la conclusión de que algunas inversiones (del orden de los \$ 100 millones) en tecnologías de más largo plazo son lo suficientemente prometedoras como para ser justificables. Cada país debe responder a estos interrogantes por sí mismo, considerando los desafíos ambientales, sus recursos, sus costos de importación de petróleo, su capacidad tecnológica y otros.

Información adicional

Números de referencia

1. "Societal Benefits of Reducing Lead Exposure", Schwartz, *Environmental Research* 68, 105-124, 1994.
2. *Misfueling Emissions of Three-Way Catalyst Vehicles*, R. Bruce Michael, Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, presentado a la Sociedad de Ingenieros Automotrices, Reunión de Combustibles y Lubricantes, Octubre 8-11, 1984, Documento SAE #841354.
3. Programa Auto/Oil de Investigación para el Mejoramiento de la Calidad del Aire, Boletín Técnico N° 2, *Los efectos de los niveles del azufre en el combustible en las emisiones de escape en masa*, Febrero 1991.
4. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) (1999), *Analysis of the Impacts of Control Programs on Motor Vehicle Toxic Emissions and Exposure in Urban Areas and Nationwide: Volume I*. Preparado para la EPA por Sierra Research, Inc y Radian International Corporation/Eastern Research Group, Noviembre 30, 1999. Informe número EPA420-R-99-029.
5. Comunicación personal.
6. Programa Auto/Oil de Investigación para el Mejoramiento de la Calidad del Aire, Boletín Técnico N° 1, *Resultados iniciales de las emisiones de escape en masa en gasolinas reformuladas*, Diciembre 1990.
7. *El Programa Auto/Oil de Investigación para el Mejoramiento de la Calidad del Aire--¿Qué es y qué se ha aprendido?*, Colucci & Wise, Junio 7, 1992. Presentado en el XXIV Congreso de Fisita, Londres, Inglaterra.
8. Es importante destacar que los niveles de formaldehído en la atmósfera varían según el clima y los hidrocarburos presentes. El formaldehído se forma en la atmósfera a través de transformaciones secundarias.
9. Lee, R., Pedley, J., y Hobbs, C., *Fuel Quality Impact on Heavy Duty Diesel Emissions: A Literature Review*, Sociedad de Ingenieros Automotrices, Serie de Documentos Técnicos, Documento N°982649, 1998.
10. Hublin, M., Gadd, P.G., Hall, D.E., y Schindler, K.P., *European Programmes on Emissions, Fuels and Engine Technologies (EPEFE)-Light Duty Diesel Study*, Sociedad de Ingenieros Automotrices, Serie de Documentos Técnicos, Documento N° 961073, 1996.
11. Rickeard, D.J., Bonetoo, R., y Signer, M., *European Programme on Emissions, Fuels and Engine Technologies (EPEFE) - Comparison of Light and Heavy Duty Diesel Studies*, Sociedad de Ingenieros Automotrices, Serie de Documentos Técnicos, Documento N°961075, 1996.
12. Programa Auto/Oil, Presentación Informal, Bruselas, 21 de marzo de 1995.
13. R. Westerholm, Universidad de Estocolmo (1995). *Fuel related PAH Emissions from Heavy Duty Diesel Vehicles*.
14. Wahl, R.E. (1995)
15. THERMIE (1997)
16. Para una perspectiva consultar Rodt *et al.*, (1998)
17. (Rijkeboer, Binkhorst, 1998) (?)
18. Nylund, N.O., Eklund, T. (1994)
19. Vagt, A. (1995)
20. *Emissions from a Diesel vehicle operated on alternative fuels in Copenhagen*, SAE 1990-01-3603, Schramm, Gratz, Foldager y Olsen, Octubre 1999
21. Nitsch, J. *et al.* (1997)

Otras referencias

- Carb (1994), Staff Report, *Low Emission Vehicle and Zero Emission Vehicle Program Review*, April 1994 (California: California Environmental Protection Agency, Air Resources Board, Mobile Source Division)
- Carb (1996), *Low-Emission Vehicle and Zero-Emission Vehicle Program Review*, Staff Report, State of California, Nov. 1996 (El Monte: California Environmental Protection Agency)
- Daimler (1997), *Neue und alte Antriebskonzepte gegenübergestellt, Weniger Energie - weniger Emissionen - große Reichweite, Presstext und Grafiken*, Mai 1997 (Stuttgart: <http://www.daimler-benz.com>)

- Daug (1996), *Testing of Electric Vehicles of the Latest Generation on Rügen Island and Supply of Electric Vehicles with Solar Energy and Provision of Charging Stations*, subsidised by Federal Ministry of Education, Science, Research and Technology, TV 9225 and 329376 A, December 1996 (Braunschweig, Zirkow: Deutsche Automobilgesellschaft mbH)
 - Glockel, T. (1997), *Alternativ betriebene Fahrzeuge in Österreich*, eine Bestandsaufnahme, Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, R-141, Wien: Umweltbundesamt)
 - Greenpeace (1996), *Inoffizielle Messung der Abgasprüfstelle der Ingenieurschule Biel*, Kontroll-Nr. 401799-6 vom 02.08.1996 aus: Das SmILE-Konzept, Information der Greenpeace e. V., August 1996 (Hamburg: Greenpeace)
 - Kolke, R. (1995), *Elektro-Otto-Diesel-Pkw Systemvergleich*, internal Study, 20.01.1995 (Berlin: Umweltbundesamt)
 - Nitsch, J. et al. (1997), *Entwicklung für solare Energiesysteme und die Rolle von Wasserstoff am Beispiel der Bundesrepublik Deutschland*. VDI-Bericht 1321 (1997). Fortschrittliche Energiewandlung und Anwendung (Düsseldorf: VDI). 767-782
 - Nylund, N, and Eklund, T. (1994), *Low emission heavy duty vehicles for urban services*, Technical Research Centre of Finland, ISATA 94 EL 040
 - Rodt, S. et al., (1998), *Country Programs Natural Gas - Experiences in Germany*, NGVs Becoming a Global Reality - Country Programs, 6. International Conference for Natural Gas Vehicles, Köln, May 26-28, 1998
 - Sims, R. (1997), *Ford's Fuel Cell Research & Development Activities*, Conference "Commercialising Fuel Cell Vehicles 97", 20.-22. October 1997 (Frankfurt/Portland: Intertech Conferences)
 - THERMIE (1997), *Das Erdgasbusprojekt Berlin*, 5. Zwischenbericht, Band 1: Projektbericht, September 1997 (Berlin: SenBWV, EuroTeam, SenVuB, BVG, InnoTec, IAV, TEWET)
 - UBA (1999b), *Technical Options for Abating Road Traffic Impacts – Comparative study of fuel cell vehicles and vehicles with internal combustion engines*, UBA Texte 93/99 (Berlin: Umweltbundesamt)
 - UBA (1999c), *Fahrzeugwesen, Handbuch Umweltfreundliche Beschaffung*, 4. völlig neubearbeitete Auflage, Umweltbundesamt (Hrsg.), Verlag Franz Vahlen, 1999, Seite 170-178
 - Wahl, R.E. (1995), *Konzeption und Kosten von Tankstellen*, Arbeitsgespräch: Gasbetriebene Nutzfahrzeuge in Ballungsräumen, Umweltbundesamt, Berlin, 6.9.1995
 - Vagt, A. (1995), *Erdgas oder Autogas? - Eine Diskussion aus Sicht der Flüssiggas-Industrie*, Arbeitsgespräch: Gasbetriebene Nutzfahrzeuge in Ballungsräumen, Umweltbundesamt, Berlin, 6.9.1995
- Páginas WEB recomendadas**
- http://www.adb.org/Documents/Events/2001/RETA5937/New_Delhi, ADB-Fuel Quality & Alternative Fuels Workshop, May 2001, New Delhi, India
 - <http://www.adb.org/Vehicle-Emissions>, ADB-Reducción de Emisiones Vehiculares en Asia
 - <http://www.aqmd.gov>, South Coast Air Quality Management District; agencia de control de contaminación del aire en California del Sur
 - <http://www.arb.ca.gov>, California Air Resources Board
 - <http://www.bts.gov/smart>, Departamento de Transporte de los Estados Unidos, Biblioteca Nacional del Transporte
 - <http://www.epa.gov/oms>, Transporte y Calidad del Aire, Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos
 - http://www.gein.de/index_en.html, Red Alemana de Información Ambiental
 - <http://www.umweltbundesamt.de/index-e.htm>, Umweltbundesamt
 - <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten-e/daten-e/brennstoffzelle.htm>; estudio de célula combustible

Algunas abreviaturas empleadas

APU	unidad de energía auxiliar
BET	mejores tecnologías existentes
CNG	gas natural comprimido
CH ₄	metano
CO	monóxido de carbono
CO ₂	dióxido de carbono
EURO 1	estándar de emisión 91/441/EEC
EURO 2	estándar de emisión 94/12/EEC
EURO 3	estándar de emisión 98/69/EC
EURO 4	estándar de emisión 98/69/EC
FC	celda de combustible
FCV	vehículo con celda de combustible
FTP75	ciclo de conducción de los Estados Unidos
H ₂	hidrógeno
HC	hidrocarburos
ICE	motor de combustión interna
LEV	Vehículo de Baja Emisión
mpgge	millas por galón de gasolina equivalente
MTBE	metil ter-butil éter; un aditivo antide-tonante sin plomo de la gasolina
NEDC	Nuevo Ciclo de Conducción Europeo
NG(V)	gas natural (vehículo)
NMOG	gas orgánico no-metano
NMVOG	compuestos orgánicos volátiles no-metano
NO _x	óxidos de nitrógeno
PAH	hidrocarburos aromáticos policíclicos; una clase de moléculas orgánicas muy estables compuestas solamente de carbón e hidrógeno
PM	material particulado
PNGV	Asociación para una Nueva Generación de Vehículo
psi	libras por pulgada cuadrada
SO ₂	dióxido de azufre
SOF	Fracción Orgánica Soluble; porción de partículas emitida en el escape Diesel que puede ser extraída en solución
SULEV	Vehículo de Emisión Súper Ultra Baja
TLEV	Vehículo de Emisión Baja de Transición
THC	total de hidrocarburos

TWC	catalizador de tres vías
UBA	Agencia Federal Alemana del Medio Ambiente (Umweltbundesamt)
ULEV	Vehículo de Emisión Ultra Baja
UMK	Conferencia Permanente de Ministros del Medio Ambiente de Alemania (Umweltministerkonferenz)
ZEV	Vehículo de Emisión Cero
ZLEV	Vehículo de Emisión Nivel Cero



Deutsche Gesellschaft für
Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5
P. O. Box 5180
65726 ESCHBORN / GERMANY
Phone +49-6196-79-1357
Telefax +49-6196-79-7194
Internet <http://www.gtz.de>

