



Vehículos de Dos y Tres Ruedas

Módulo 4c

Transporte Sostenible:

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

VISIÓN GENERAL DEL TEXTO DE REFERENCIA

Transporte Sostenible:

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

¿Qué es el Texto de Referencia?

Este *Texto de Referencia* sobre Transporte Urbano Sostenible trata las áreas clave de un marco de referencia de políticas de transporte urbano para una ciudad en desarrollo. El *Texto de Referencia* está compuesto por más de 31 módulos, mencionados más abajo. También está complementado por una serie de documentos de entrenamiento y otros materiales disponibles en <http://www.sutp.org> (y en <http://www.sutp.cn> para los usuarios chinos).

¿Para quién es?

El *Texto de Referencia* está dirigido a diseñadores de políticas en ciudades en desarrollo y a sus asesores. Esta audiencia está reflejada en el contenido, que provee herramientas para políticas apropiadas para su aplicación en un rango de ciudades en desarrollo. El sector académico (p. ej. universidades) también se ha beneficiado de este material.

¿Cómo debe usarse?

El *Texto de Referencia* se puede usar de distintas maneras. Debe permanecer en un solo sitio, proveyendo los diferentes módulos a funcionarios involucrados en transporte urbano. El *Texto de Referencia* se puede adaptar fácilmente a un curso de entrenamiento breve, o puede servir como guía para desarrollar un currículum u otro programa de entrenamiento en el área del transporte urbano. GIZ tiene y está elaborando paquetes de entrenamiento para módulos específicos, todos disponibles desde octubre de 2004 desde <http://www.sutp.org> o <http://www.sutp.cn>.

¿Cuáles son algunas de las características clave?

Las características clave del *Texto de Referencia* incluyen:

- Una orientación práctica, enfocada en las buenas prácticas de planificación y regulación y ejemplos exitosos en ciudades en desarrollo.

- Los colaboradores son expertos líderes en su campo.
- Un diseño en colores, atractivo y fácil de leer.
- Lenguaje no técnico (dentro de lo posible), con explicaciones de los términos técnicos.
- Actualizaciones vía Internet.

¿Cómo consigo una copia?

Se pueden descargar versiones PDF de los módulos desde la sección de documentos de nuestros dos sitios web. Debido a la actualización constante de los módulos, ya no hay ediciones impresas disponibles en idioma inglés. Una versión impresa de 20 módulos en chino se vende en China a través de Communication Press. Cualquier pregunta con respecto al uso de los módulos se puede dirigir a sutp@sutp.org o transport@giz.de.

¿Comentarios o retroalimentación?

Sus comentarios y sugerencias sobre cualquier aspecto del *Texto de Referencia* son bienvenidos, a través de e-mail a sutp@sutp.org y transport@giz.de, o por correo a:

Manfred Breithaupt
GIZ, Division 44
P. O. Box 5180
65726 Eschborn, Alemania

Más módulos y recursos

Se anticipan más módulos para las áreas de *Eficiencia energética para el transporte urbano e Integración de transporte público*. Se están desarrollando recursos adicionales, y están disponibles los CD-ROMs y el DVD de fotos de Transporte Urbano (algunas fotos están disponibles en nuestra galería de fotos en <http://www.sutp.org>). También encontrará enlaces relevantes, referencias bibliográficas y más de 400 documentos y presentaciones en <http://www.sutp.org>, (<http://www.sutp.cn> para usuarios de China).

Módulos y colaboradores

- (i) *Visión general del Texto de Referencia y temas transversales sobre transporte urbano* (GTZ)

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* (K. Fjellstrom, GTZ; Carlos F. Pardo, GTZ)
- 1f. *Financiación del transporte urbano sostenible* (Ko Sakamoto, TRL)
- 1g. *Transporte urbano de carga para ciudades en desarrollo* (Bernhard O. Herzog)

Planificación del uso del 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)
- 2c. *Gestión de estacionamientos: una contribución hacia ciudades más amables* (Tom Rye)

Transporte público, caminar y bicicleta

- 3a. *Opciones de transporte público masivo* (Lloyd Wright, ITDP; Karl Fjellstrom, GTZ)
- 3b. *Sistemas de bus rápido* (Lloyd Wright, ITDP)
- 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, ITDP)

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 Organization)
- 5b. *Seguridad vial urbana* (Jacqueline Lacroix, DVR; David Silcock, GRSP)
- 5c. *El ruido y su mitigación* (Civic Exchange Hong Kong; GTZ; UBA)
- 5d. *El MDL en el sector transporte* (Jürg M. Grütter, Grütter Consulting)
- 5e. *Transporte y cambio climático* (Holger Dalkmann; Charlotte Brannigan, C4S)
- 5f. *Adaptación del transporte urbano al cambio climático* (Urda Eichhorst, WICEE)
- 5g. *Transporte urbano y salud* (Carlos Dora, Jamie Hosking, Pierpaolo Mudu, Elaine Ruth Fletcher)

Recursos

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

Asuntos sociales y temas transversales en transporte urbano

- 7a. *Género y transporte urbano: inteligente y asequible* (Mika Kunieda; Aimée Gauthier)

Sobre los colaboradores

N. V. Iyer se graduó en Ingeniería Mecánica, y completó estudios de post-grado en el Indian Institute of Petroleum en el año 1965. Luego, siguió un entrenamiento especial de investigación en el Institut Francais du Petrole en 1969. Los primeros trece años de la experiencia laboral del señor Iyer fueron de investigación y desarrollo en la aplicación de combustibles y lubricantes en motores de combustión interna y en emisiones vehiculares en el Indian Institute of Petroleum, y, posteriormente, en el Indian Oil Corporation's Research & Development Centre. El ha estado en la industria automotriz de la India durante los últimos 24 años, principalmente en el área de investigación y desarrollo, 16 de los cuales ha estado en la industria de vehículos de dos y tres ruedas. Actualmente, es el Presidente del Subcomité Técnico de vehículos de dos y tres ruedas de la Sociedad de Fabricantes de Automóviles de la India. En la actualidad, el señor Iyer está trabajando con Bajaj Auto Ltd, Pune, India como Gerente General de Soporte Ingenieril.

El Doctor Jitendra Shah completó un programa de Master en Ingeniería Química en el año 1976, y, más tarde, un Doctorado en Ciencia Medioambiental de la Oregon Graduate Center, y un MBA de la Portland State University, en el año 1991. El Dr. Shah tiene una experiencia de más de 25 años en el manejo de proyectos e investigaciones en EE.UU. y a nivel internacional. En el Banco Mundial, por su puesto de Ingeniero Medioambiental Senior, desde 1991, su trabajo actualmente abarca desde la conceptualización hasta la implementación de programas de calidad de aire regionales que tratan con las materias de lluvia ácida en Asia y manejo de calidad del aire urbano. Él maneja partes de los proyectos de inversión medioambientales que tienen que ver con la protección contra el agujero de ozono y el cambio climático global en el sur de Asia. También ayuda y revisa las evaluaciones de impacto medioambiental de los proyectos financiados por el Banco Mundial.

Agradecimientos

La revisión del documento original, publicado en 2002, ha sido realizada por el Sr. N. V. Iyer a comienzos de 2009. Los editores reconocen con agradecimiento su labor.

Este trabajo fue patrocinado por Clean Air Initiative-Asia, UC Berkeley Center for Future Urban Transport-A Volvo Center of Excellence, y National Science Foundation. El autor desea agradecer a Adib Kanafani, Robert Cervero, Cornie Huizenga, Bert Fabian y Sophie Punte, por su apoyo durante el proceso de investigación. Agradece también a sus compañeros Jonathan Weinert, Ma Chaktan, Yang Xinmiao, Pan Haixiao, XiongJian y Ni Jie.

Módulo 4c

Vehículos de Dos y Tres Ruedas

Descargo de responsabilidad

Los hallazgos, interpretaciones y conclusiones expresados en este documento están basados en la información compilada por GIZ y sus consultores, socios y colaboradores con base en fuentes confiables. No obstante, GIZ 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.

Derechos de autor

Se permite la reproducción, total o parcial, por razones educacionales o sin ánimo de lucro, de esta publicación sin la autorización especial del portador de los derechos de autor, siempre y cuando la fuente sea citada. La GIZ agradece recibir una copia de cualquier publicación que utilice esta publicación de la GIZ como fuente. No se permite en absoluto hacer uso de esta publicación con fines comerciales o de lucro.

Autores: Jitendra Shah (Banco Mundial) y N.V. Iyer (Bajaj Auto Ltd.)

** El módulo hace uso principal de: Masami Kojima, Carter Brandon y Jitendra Shah, Mejorando la Calidad de Aire Urbano en el Sur de Asia a través de la Reducción de Emisiones de los Vehículos con Motores de Dos Tiempos. Banco Mundial, Diciembre de 2000, <http://www.worldbank.org/html/fpd/esmap/publication/airquality.html>. A menos que se indique lo contrario, el texto de la Sección 3 se basa en este documento, con material adicional adaptado y actualizado por parte de N.V. Iyer y Jitendra Shah.*

Editor: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
P. O. Box 5180
65726 Eschborn, Alemania
<http://www.giz.de>

División 44 – Agua, Energía, Transporte
Proyecto sectorial:
«Servicio de Asesoría en Política de Transporte»

Por encargo de
Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania (BMZ)
División 313 – Agua, Energía, Desarrollo Urbano

BMZ Bonn
Dahlmannstraße 4
53113 Bonn, Alemania

BMZ Berlin | im Europahaus
Stresemannstraße 94
10963 Berlin, Alemania
<http://www.bmz.de>

Gerente: Manfred Breithaupt

Equipo Editorial: Manfred Breithaupt, Karl Fjellstrom*, Stefan Opitz, Jan Schwaab

** Deseamos agradecer la ayuda brindada por 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 portada: Karl Fjellstrom
Ho Chi Minh, Viet Nam, enero de 2002

Traducción: Esta traducción ha sido realizada por Laura Varano. GIZ no puede ser responsable por esta traducción o por errores, omisiones o pérdidas que emerjan de su uso.

Diagramación: Klaus Neumann, SDS, G.C.

Edición: Este módulo es parte del Texto de Referencia sobre Transporte Urbano Sostenible para Formuladores de Políticas Públicas de Ciudades en Desarrollo, revisión abril de 2009.

Eschborn, diciembre de 2011
(Primera Edición de 2002)

RESUMEN

1. Introducción	1
2. Vehículos de dos y tres ruedas y sistemas de transporte urbano	1
2.1 Vehículos de dos y tres ruedas en ciudades asiáticas en desarrollo	1
2.2 Cuestiones de transporte público	4
2.3 Cuestiones de seguridad vial	6
3. El problema de las emisiones en los motores de dos tiempos	7
3.1 Tipos de emisiones	7
3.2 Factores que aumentan las emisiones	11
3.3 Efectos de las emisiones	13
3.4 Reducción de las emisiones de los vehículos con motor de dos tiempos	14
Tecnologías del vehículo	15
Mejorar la calidad de la gasolina	17
Mejorando el uso de lubricantes	19
Mejorando el mantenimiento	21
Programas de repotenciación	21
3.5 Alternativas para los motores a gasolina de dos tiempos	23
Motores a gasolina de cuatro tiempos	23
Vehículos a Gas Licuado de Petróleo	24
Vehículos a Gas Natural Comprimido	25
Características de emisiones de vehículos que operan con GNC y GLP	27
Vehículos eléctricos	27
3.6 Opciones de políticas	30
Estándares	30
Políticas basadas en las emisiones	33
Políticas específicas de tecnología	34
Instrumentos económicos y fiscales	37
3.7 Orientaciones futuras	40
3.8 Bicicletas eléctricas – Impactos de su potencial regulación sobre la movilidad y el ambiente	40
Estudios de caso – Cuáles son los impactos de la prohibición de bicicletas eléctricas en Kunming y Shanghai	41
4. Más referencias	44
4.1 Referencias citadas en el texto	44
4.2 Recursos en Internet	46

1. Introducción

Este módulo se concentrará en las ciudades en desarrollo asiáticas, pues las flotas de vehículos de dos y tres ruedas –y los desafíos asociados– son, en gran medida, mayores en Asia que en otras partes del mundo en desarrollo.

La consideración de vehículos de dos y tres ruedas está dividida en dos amplias categorías. La primera se relaciona con cuestiones de sistemas de transporte en ciudades con altas proporciones de viajes de pasajeros efectuados por medio de motocicletas. Aquellas ciudades incluyen, por ejemplo, Delhi, Hanoi, Ho Chi Minh, Dhaka, Denpasar y, en diferentes grados, muchas otras ciudades asiáticas en desarrollo. Esta sección del módulo menciona algunas cuestiones clave para los sistemas de transporte urbano en las «ciudades de motocicletas», pero no analiza en detalle las opciones de políticas ni metodologías.

La segunda amplia categoría se relaciona con asuntos de calidad del aire en las ciudades que tienen altas proporciones de uso de vehículos de dos y tres ruedas. A menos en el corto y mediano plazo, las emisiones de los vehículos de dos y tres ruedas representan el problema más serio para las ciudades en desarrollo. Luego, se presentan opciones de políticas recomendadas para las ciudades en desarrollo.

Varias secciones de este módulo están precedidas por ‘recuadros’ que proporcionan las principales recomendaciones de un Taller Regional (2001) acerca de cómo reducir las emisiones de vehículos de dos y tres ruedas. Los documentos de este taller pueden ser descargados desde el sitio web mencionado en la sección de referencias.

2. Vehículos de dos y tres ruedas y sistemas de transporte urbano

Un análisis detallado de cuestiones de sistemas de transporte relacionadas con vehículos de dos y tres ruedas va más allá del ámbito de este módulo. En esta sección se resaltan algunos temas clave.

2.1 Vehículos de dos y tres ruedas en ciudades asiáticas en desarrollo

Los vehículos de dos ruedas en ciudades asiáticas incluyen bicicletas con motor, motonetas y motocicletas y se usan principalmente para el transporte personal, aunque en Bangkok y en otras ciudades –incluyendo algunas de Vietnam e Indonesia– las motocicletas también se usan para el transporte público o paratransito. Los vehículos de tres ruedas en Asia incluyen taxis pequeños, como los auto-rickshaws en India y Sri Lanka, baby taxis en Bangladesh y tuk-tuks en Tailandia –generalmente para llevar a tres pasajeros– y vehículos más grandes como los Tempos en Bangladesh, Nepal, y partes de India, los cuales transportan hasta una docena de pasajeros. Grandes proporciones de los vehículos de dos ruedas tienen motores de gasolina de dos tiempos, aunque en años recientes ha habido un aumento significativo en la proporción de vehículos de dos ruedas con motores de gasolina de cuatro tiempos. Aunque muchos de los vehículos de tres ruedas tienen motores de gasolina de dos tiempos, hay muchos que tienen pequeños motores diesel. Una pequeña proporción de los vehículos de tres ruedas usa GLP o GNC (como en India y Tailandia).

«Vietnam, Tailandia e Indonesia: cada uno tiene ventas de motocicletas mayores a un millón de unidades al año, y una motocicleta se considera como un transporte de familia a través de la región.»

Autoasia Magazine, octubre 2002, p5

Los vehículos de dos y tres ruedas tienen un papel importante en el mercado del transporte en Asia. India, China, Vietnam e Indonesia

Fig. 1
Registro de vehículos de dos ruedas en Asia y Australia.

Federación Internacional de Carreteras (IRF), Estadísticas Viales Mundiales, 2009

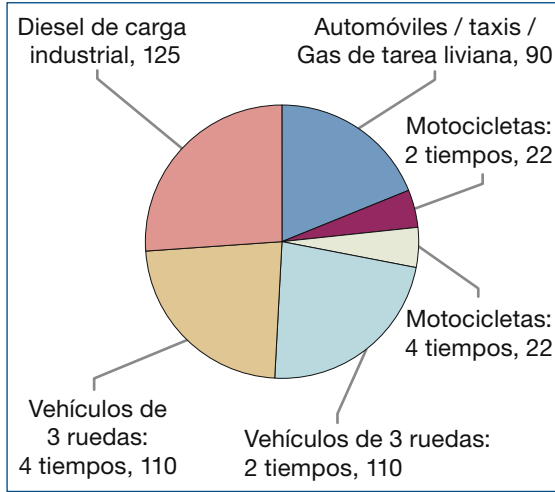


tienen un gran número de vehículos de dos ruedas que se usan principalmente para transporte personal (ver Figura 1). Los vehículos de tres ruedas son típicamente usados como taxis de corta distancia. En Sri Lanka, algunas familias están comprando vehículos de tres ruedas para uso particular, atraídas por el menor precio de los vehículos en relación con los automóviles

de pasajeros. Más de la mitad de la flota de vehículos motorizados de China, Tailandia y Malasia son vehículos de dos ruedas; en Indonesia, Vietnam y Taiwán (China) la cifra sobrepasa los dos tercios de la flota. La Figura 2 ilustra el predominio de los vehículos de dos y tres ruedas en las flotas de vehículos de Dhaka (Bangladesh), Ho Chi Minh (Vietnam), Denpasar (Indonesia)

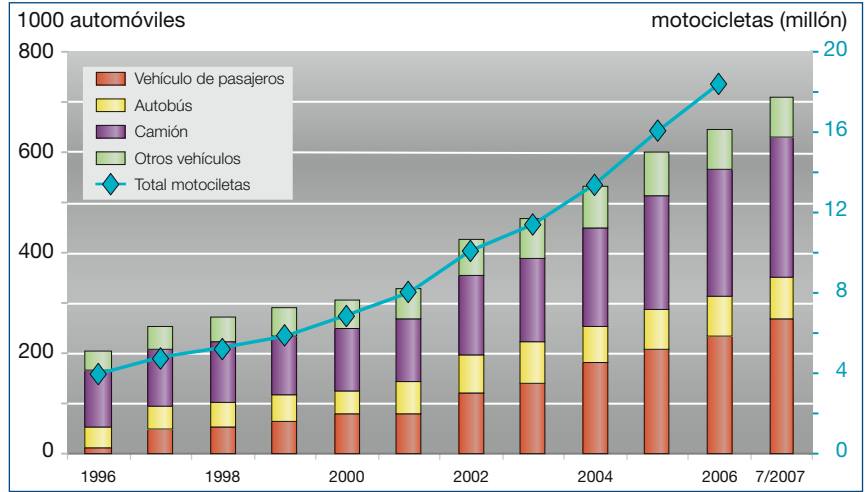
a. Uso de vehículos en Dhaka (km/día)

Walsh, 2001, del Banco Mundial, Urban Transport & EIPS Strategy Analysis (sin fechas)



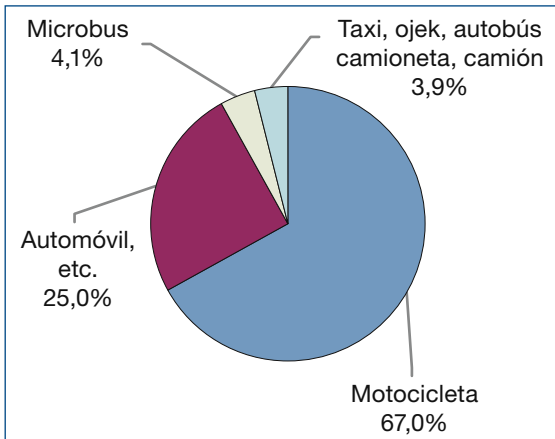
b. Número de vehículos en Vietnam, 1996-2007

Dr. Nguyen Van Tai, «EST Achievements, Progress and Future Strategies», 4.º Foro de Transporte Medioambientalmente Sostenible, Centro de las Naciones Unidas para el Desarrollo Regional, Seúl, Corea del Sur, 24-26 febrero de 2009, <http://www.unrcd.or.jp>



c. Porcentaje de viajes de personas por modo, Denpasar, Bali

BUIP, 1999



d. Población de vehículos en Delhi

Walsh, 2001 de Sengupta, diciembre 2000

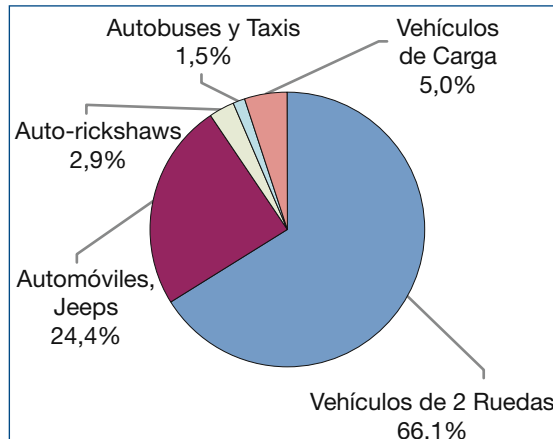


Fig. 2a, b, c, d *Varios indicadores de la preponderancia de los vehículos de dos y tres ruedas en algunas ciudades.*

y Delhi (India). Sin embargo, como muestra la Figura 3, no siempre hay una correspondencia exacta entre el número de vehículos registrados y aquellos en uso, así que es importante usar datos confiables en el análisis.

Los taxis de tres ruedas se consideran menos respetuosos de los reglamentos de tránsito, y más proclives a accidentes que los vehículos de cuatro ruedas. También son más visibles, debido a su número, y contribuyen a la congestión y a la contaminación. Por estas razones, hay un fuerte sentimiento negativo en algunos países, notablemente Bangladesh, hacia los vehículos de tres ruedas con motor de dos tiempos.

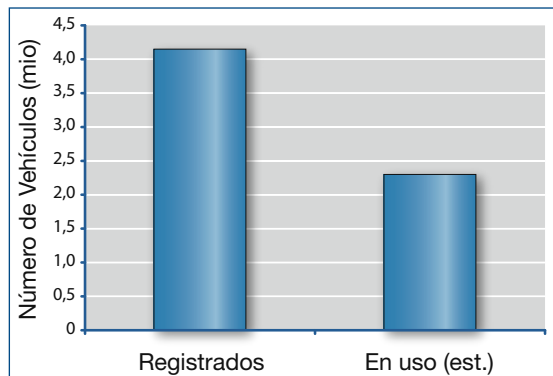


Fig. 3 *Datos registrados versus datos en uso de Bangkok.*

Shah, 2001

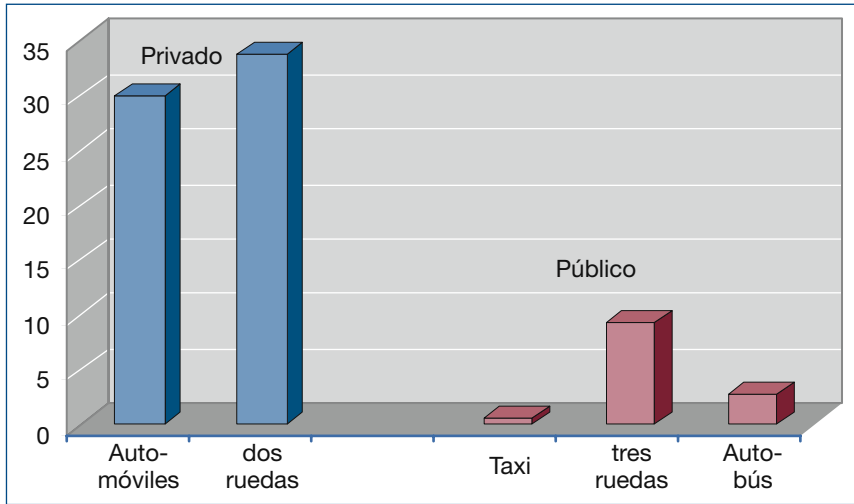
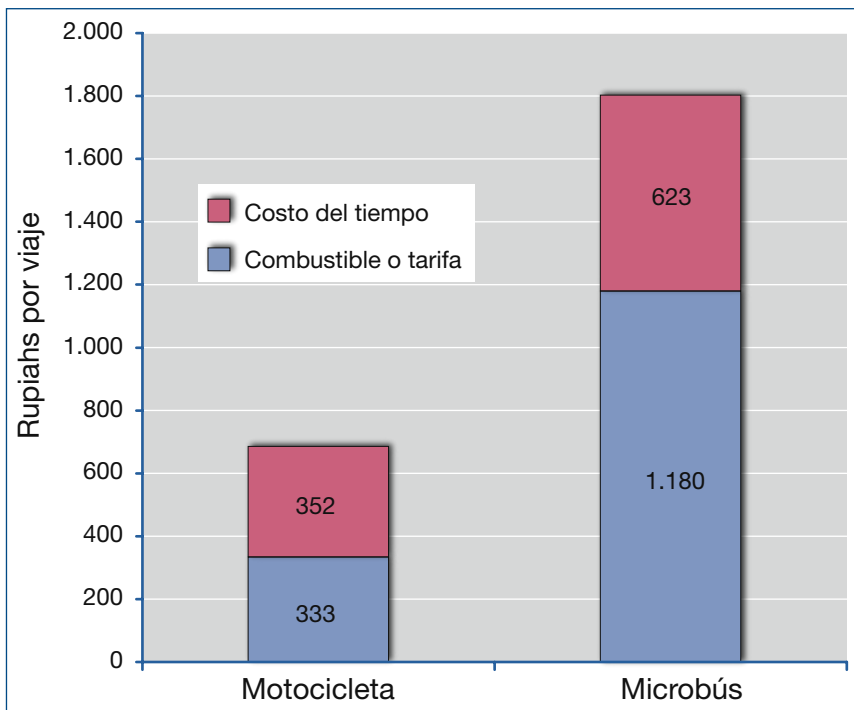


Fig. 4 ▲
Participación del transporte público y privado en Delhi, millones de vehículo-kilómetro al día.

Gobierno de la India, 2002, http://www.petroleum.nic.in/afp_con.htm.
Nota: no se menciona el año de los datos, y sólo deben considerarse como aproximados

▼ **Fig. 5**
Comparación de costos para un viaje típico de 8 kilómetros de Denpasar.

BUIP, 1999



Cuadro 1: Comparación de costos para un típico viaje de 8 km en Denpasar, Indonesia (Rupiah por persona)

Item de costo	Motor-cicleta	Microbús	Proporción bus/motocicleta
Combustible o tarifa (IDR)	333.0	1,180.0	3.5
Tiempo (minutos)	19.2	34.0	1.8
Costo del tiempo (IDR)	352.0	623.0	1.8
Costo total del viaje (IDR equivalente)	685.0	1,803.0	2.6

BUIP, 1999

Un comité de expertos nombrado por el Gobierno de India recientemente completó un estudio de tráfico de calles urbanas y contaminación del aire en las principales ciudades de India. Esto incluyó una evaluación de la proporción de las diferentes modalidades de transporte en estas ciudades (Gobierno de India, agosto 2002, http://www.petroleum.nic.in/afp_con.htm). Unos descubrimientos de este estudio respecto de Delhi, la ciudad con la mayor población de vehículos motorizados del país (con más de 3,5 millones de vehículos registrados) y que está entre las ciudades más contaminadas del mundo, se pueden ver en la Figura 4.

La Figura 4 muestra que los vehículos de dos ruedas dan cuenta de más de la mitad del transporte de las personas, y que los vehículos de tres ruedas tienen la principal proporción del transporte público de la ciudad. En comparación, la proporción de buses es muy pequeña.

2.2 Cuestiones de transporte público

En general, en las ciudades en desarrollo de Asia, las motocicletas ofrecen un modo de viaje significativamente más barato y más rápido en comparación con el transporte público. Además, debido a los poco atractivos servicios de transporte público, la gente tiende a usar motocicletas aun considerando las desventajas de la exposición al sol y a la lluvia (especialmente durante la temporada lluviosa) y el mayor riesgo de accidente en comparación con el transporte público.

Las estructuras de costo como las que se muestran en la Figura 5 y el Cuadro 1 para un viaje típico de 5 km en Denpasar, Bali, en combinación con el deteriorado servicio ofrecido por los microbuses y minibuses públicos, han llevado a una proporción de viajes de pasajeros de menos del 5% en Denpasar. Se aplican situaciones similares en otras «ciudades de motocicletas» como Hanoi y Ho Chi Minh, donde menos del 5% de los viajes son hechos en autobús.

En el corto plazo, los altos niveles de uso de motocicleta pueden no parecer un problema. Después de todo, las motocicletas son usuarios eficientes de espacio vial, con una ocupación promedio en muchas ciudades asiáticas de alrededor de 1,5, y la ocupación promedio de las motocicletas es levemente menor que la

ocupación de automóviles en ciudades como Surabaya. TERI (1993) informó que la ocupación de motocicletas promedio en ciudades de India era de 1,5; y la de los automóviles, alrededor de 2,6. Sin embargo, en el mediano y largo plazo esta «dependencia de la motocicleta» puede llevar a una congestión intolerable y su asociada contaminación del aire. Tales tendencias insostenibles son el resultado del aumento en el uso de la motocicleta y la propiedad de automóviles a medida que incrementa el ingreso.

Las perspectivas para una ciudad de motocicletas

Las predicciones hechas para Denpasar, Bali, por un estudio financiado por el Banco Mundial en 1999 ilustran el hecho de que las «ciudades de motocicletas» parecen estar en un camino insostenible. Los niveles y patrones futuros de demanda de transporte fueron pronosticados usando un modelo de planificación de transporte público desarrollado por el estudio (BUIP, 1999).

Se predijo que el número de motocicletas iba a crecer en un promedio modesto de 2,8% al año entre 1998 y 2018, y los números de automóviles en 5,2% al año. Aún así, para 2018 habrá un 72% más de motocicletas y un 173% más de automóviles en las calles. Entre 1998 y 2018 se predice que el número de motocicletas por persona aumentará de 0,32 a 0,34 y el número de automóviles de 0,07 a 0,12 por persona durante el mismo período, reflejando las alzas predichas en los ingresos de los hogares.

En ausencia de cualquier política que altere el balance entre transporte privado y público, la proporción de las motocicletas en los viajes totales disminuirá del 75,6% al 70,8%, la proporción de los automóviles aumentará del 19,9% al 24,9%, y la proporción del transporte público continuará aproximadamente en su presente nivel que es bastante bajo (Figura 6 y Cuadro 2).

Las implicaciones son claras: incluso al completar todas las vías planificadas para el 2018, todavía habrá serios problemas de saturación de tráfico y un deterioro ambiental asociado. Estos problemas tendrán lugar en las áreas que tienen menos capacidad de tratar con ellos: el centro histórico y cultural de Denpasar central y los suburbios residenciales.

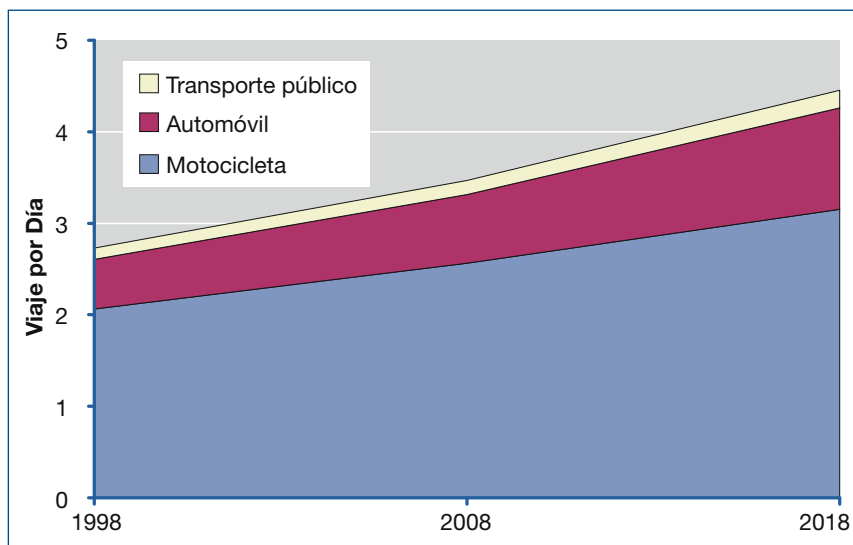


Fig. 6
Distribución modal prevista (para viajes motorizados) en Denpasar, Bali, 1998–2018.

BUIP, 1999

Además de las implicancias negativas de la dependencia en aumento de los vehículos motorizados en ciudades en desarrollo, podemos prever que la preponderancia de las motocicletas puede apoyar actividades más dispersas en áreas urbanas, lo que disminuye aún más cualquier papel futuro para una industria del transporte público viable.

El papel y la importancia de los vehículos de dos y tres ruedas como modos de transporte importantes en muchas de las ciudades asiáticas fue enfatizado durante un pre-evento organizado antes del taller Mejor Calidad del Aire – 2008 que tuvo lugar en Bangkok del 12 al 14 de septiembre de 2008. Las discusiones sacaron a la luz las siguientes recomendaciones (<http://www.baq2008.org>):

1. Los vehículos de dos y tres ruedas deben reconocerse como modos de transporte urbano importantes, ahora y en el futuro inmediato.

Cuadro 2: Viajes diarios y distribuciones modal en Denpasar, 1998, 2008 y 2018

Modo	1998		2008		2018	
	Viajes diarios	%	Viajes diarios	%	Viajes diarios	%
Motocicleta	2.062.452	75,6%	2.562.464	73,9%	3.151.977	70,8%
Automóvil	542.886	19,9%	752.669	21,7%	1.107.788	24,9%
Transporte público	123.850	4,5%	154.027	4,4%	194.626	4,4%
Total	2.729.188	100,0%	3.469.160	100,0%	4.454.391	100,0%

BUIP, 1999



Fig. 7
Las bicicletas son continuamente desplazadas del sistema de transporte en las ciudades de motocicletas, ya que las condiciones para circular en bicicleta se deterioran con el aumento del número de motocicletas.

Karl Fjellstrom, Ho Chi Minh, enero de 2002

2.3 Cuestiones de seguridad vial

El predominio de las motocicletas en los sistemas de transporte urbano en las ciudades en desarrollo da lugar a serias preocupaciones de seguridad, al menos en dos áreas:

- Las motocicletas tienden a ahuyentar a los ciclistas de la calle, literal y figurativamente. Es más evidente en una ciudad como Ho Chi Minh, pero en varios grados también en otras ciudades asiáticas, que el rápido crecimiento de las motocicletas ha coincidido con un rápido declive en el uso de las bicicletas. Parte de la razón es indudablemente que las bicicletas son reemplazadas por las motocicletas, y los ciclistas tienen más posibilidades de caerse en la eventualidad de una colisión con una motocicleta (ver Figura 7).
- En el caso de un accidente, los motociclistas tienen escasa protección en contra de lesiones, especialmente en ciudades en desarrollo asiáticas donde las leyes de seguridad vial a menudo no se cumplen (ver nota al margen de la siguiente página). En Vietnam, por ejemplo, cerca de 1.000 personas mueren cada mes por accidentes viales, siendo la gran mayoría motociclistas. Los accidentes del tráfico vial dan cuenta del 96,8% de todos los accidentes en Vietnam («Número de Muertes en Accidentes Viales se Encamina hacia el Número de Pesadilla del Año Pasado», *Vietnam News*, 30 de octubre de 2002). Algunas medidas tomadas por las autoridades vietnamitas para crear una mayor sensibilización entre los usuarios de motocicletas para cumplir las leyes de tráfico y usar cascos han ayudado a reducir el número de accidentes viales y lesiones. El número de muertes debido a accidentes viales ha permanecido estable en aproximadamente 12.000 por año durante los últimos años y ha mostrado un declive hasta aproximadamente 10.000 por año en 2008 (Tai, 2009).

2. Con el fin de mejorar la eficiencia general del sistema, deben tomarse medidas para
 - mejorar su eficiencia operacional a través de ingeniería y gestión del tráfico racionalizados con referencia particular al diseño vial y de intersecciones y clasificación de calles y vehículos para un mejor acceso a la movilidad
 - mejorar su eficiencia energética y reducir las emisiones de contaminantes a través de mejoras tecnológicas progresivas.
3. En áreas urbanas, necesitan ser promovidos como preferibles a los grandes vehículos motorizados pero no deben desplazar a los vehículos no motorizados.
4. Los vehículos de tres ruedas necesitan ser promovidos como el modo de transporte que provee la «última milla de conectividad» en el sistema de transporte urbano.

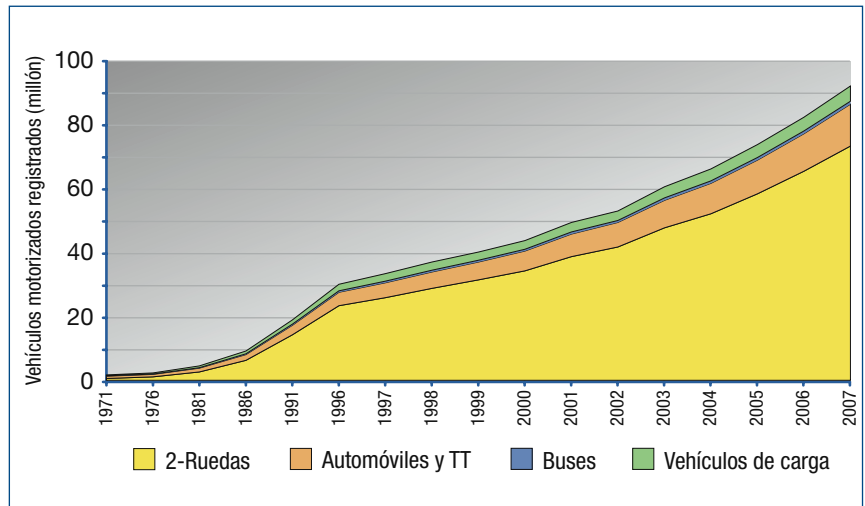
3. El problema de las emisiones en los motores de dos tiempos

La calidad del aire se está deteriorando en las ciudades en desarrollo asiáticas, como producto derivado de la rápida urbanización. La experiencia en Asia del Sur es típica de la región. De los 1,3 billones de personas que vivían en Bangladesh, Bután, India, Nepal, Pakistán y Sri Lanka en 1998, 350 millones –27% de la población combinada– vivían en áreas urbanas. El crecimiento promedio de la población en centros urbanos, 3,2% al año entre 1990 y 1998, era mucho mayor que el porcentaje de tasa de crecimiento de 1,3 para la población como un todo.

Una de las principales fuentes de contaminación del aire son las emisiones del creciente número de vehículos. En la India, el número de vehículos registrados ha estado triplicándose cada 10 años, de alrededor de 10 millones en 1986 a cerca de 30 millones en 1996 y a más de 90 millones en 2007. El número de vehículos creció rápidamente en otros países de la región, también, incrementándose a una tasa anual de 8,2% en Bangladesh (1990–96), 13,5% en Nepal (1990–99), 8,0% en Pakistán (1990–99) y 7,3% en Sri Lanka (1990–97). Con la ausencia de tecnologías más limpias y de medidas de control estrictas, se espera que el nivel de emisiones vehiculares aumente a tasas igual de altas.

Se estima que los vehículos con motor de gasolina de dos tiempos constituyen el 60% de la flota total de vehículos en Asia del Sur. La proporción es también alta en otras ciudades en desarrollo de Asia. El gran número de estos vehículos, su edad, su mantenimiento escaso, la baja calidad del lubricante y uso excesivo del mismo, y la congestión de tráfico en las grandes ciudades, hacen que los vehículos a motor de dos tiempos sean una fuente significativa de emisiones de material particulado.

Los motores de dos tiempos tienen varias ventajas sobre los motores de cuatro tiempos. Estas incluyen costos menores, excelente torque y potencia, simplicidad mecánica (menos partes móviles, lo que resulta en facilidad de mantenimiento), motores más livianos y más pequeños, mayor suavidad de operación, y menores emisiones de óxido de nitrógeno. También tienen desventajas en comparación con los vehículos a



gasolina de cuatro tiempos, incluyendo mayores emisiones de material particulado y de hidrocarburos, menor economía de combustible y ruidos más altos.

3.1 Tipos de emisiones

Los motores a gasolina contribuyen a la contaminación del aire emitiendo altos niveles de material particulado (en el caso de los motores de dos tiempos), monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, y plomo si se utiliza gasolina con plomo. Los motores diesel emiten altos niveles de material particulado, óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre (si el nivel de azufre en el diesel es alto).

El contaminante de especial preocupación en las ciudades en desarrollo de Asia es el material particulado pequeño o fino, debido a sus altas concentraciones ambientales e impactos documentados sobre la morbilidad y la mortalidad prematura. El nivel de material particulado con un diámetro aerodinámico de menos de 10 micrones (MP_{10}) sobrepasa varias veces los estándares internacionalmente aceptados en un buen número de ciudades de Asia. Dos de los mayores contribuyentes a las altas concentraciones ambientales de MP_{10} en el sector del transporte son los vehículos a gasolina con motor de dos tiempos y los vehículos diesel de carga industrial. La contribución de los vehículos de dos y tres ruedas al material particulado y otras emisiones es ilustrada en la Figura 11. Es probable que la contribución relativa de los vehículos de dos ruedas al MP ambiente y los hidrocarburos en años recientes, sin embargo,

Fig. 8
Número de vehículos registrados en Delhi, 1971–2002.

The Indian Automobile Industry
Statistical Profile 2007–2008,
Sociedad de Fabricantes
de Vehículos de la India

Recuadro 1: Antecedentes del problema

- En ningún otro lugar del mundo la concentración de los vehículos de dos y tres ruedas, tanto en términos absolutos y como una fracción de la población total de vehículos carreteros, es tan alta como en todo Asia. En muchos lugares estos vehículos constituyen más del 50 – 90% de la flota vehicular total, una situación insólita en otras partes del mundo. En consecuencia, es bastante evidente que tiene que darse prioridad al desarrollo e implementación de estrategias de control de contaminación para estos tipos de vehículos en las ciudades asiáticas que quieran tener aire limpio.
- Dos tipos de motores potencian estos vehículos: de dos y cuatro tiempos. La diferencia principal es que en el motor de dos tiempos, el aceite lubricante es mezclado con el combustible y quemado. Los principales contaminantes de los motores de dos tiempos que causan preocupación son los hidrocarburos (HC) y el material particulado (MP), mientras que los motores de cuatro tiempos producen mayores emisiones de NO_x pero menores de MP, HC, CO y consumo de combustible.
- Hay un desplazamiento en marcha desde los motores de dos tiempos a los de cuatro tiempos en algunos países de la región. Por ejemplo, en India ahora hay un rápido aumento en las ventas anuales de los vehículos de dos ruedas con motores de cuatro tiempos (Figura 9). Esto se atribuye, por una parte, a los severos estándares de emisiones, al cambio de preferencias de los clientes y, parcialmente, a la no disponibilidad de vehículos de dos tiempos, ya que los fabricantes se han cambiado cada vez más a la tecnología de cuatro tiempos. La Figura 10 muestra que la población de motocicletas de Bangkok también está logrando una rápida transición hacia los motores de cuatro tiempos.
- El consumo de combustible para uso en el transporte está aumentando en la región asiática. Un factor que alimenta este aumento es el gran y sostenido crecimiento de los vehículos de dos y tres ruedas. Los motores de cuatro tiempos tienen combustible más eficiente que los motores de dos tiempos, y el desplazamiento mencionado arriba reducirá en alguna medida la tasa de aumento. El aumento en el consumo de combustible lleva a un aumento de CO₂, el cual es un importante factor contribuyente al efecto invernadero.
- Las emisiones de MP de los vehículos de dos y tres ruedas en Asia causan o contribuyen a serios problemas de calidad de aire en las grandes ciudades, aumentando la muerte prematura y las enfermedades. Tendrá lugar un aumento en las admisiones en los hospitales por asma y otras condiciones bronquiales. El MP emitido por motores de dos tiempos está caracterizado deficientemente en términos de factores de influencia, perfil de tamaño y composición orgánica. Tal caracterización de MP en términos de tamaño es importante, ya que se cree que el MP muy pequeño es el más peligroso en términos de impacto sobre la salud. Además, la caracterización de HC en términos de toxicidad general es importante; las emisiones de los motores de cuatro tiempos también pueden contribuir a altos niveles ambientales de MP ya que los contaminantes tales como NO_x sufren transformaciones secundarias en la atmósfera.
- Aunque hay información disponible acerca de los efectos específicos sobre la salud de varios contaminantes emitidos por los vehículos de dos y tres ruedas a partir de fuentes de información fuera de Asia (y esta información indica serios impactos sobre la salud), se necesitan estudios locales para reafirmar la relación entre la salud y los contaminantes de los vehículos de dos y tres ruedas en ciudades asiáticas. También hay una gran necesidad de aumentar la sensibilización ciudadana sobre estos efectos adversos sobre la salud.
- Los factores reales de emisiones para los diferentes tipos de vehículos de dos y tres ruedas en Asia están escasamente definidos. La composición del combustible y el aceite lubricante, el mantenimiento actual y los hábitos de conducción, y los tipos de uso necesitan ser investigados en términos de su impacto sobre los factores de emisiones.
- Debido a que los países desarrollados tienen poblaciones de vehículos de dos y tres ruedas mucho menores, no están desarrollando programas agresivos para reducir las emisiones de estos vehículos. En consecuencia, será necesario que los países asiáticos den el ejemplo en el desarrollo e implementación de estrategias para hacer que estos vehículos sean más limpios.

Synthesis, Taller Regional, 2001
<http://adb.org/vehicle-emissions>

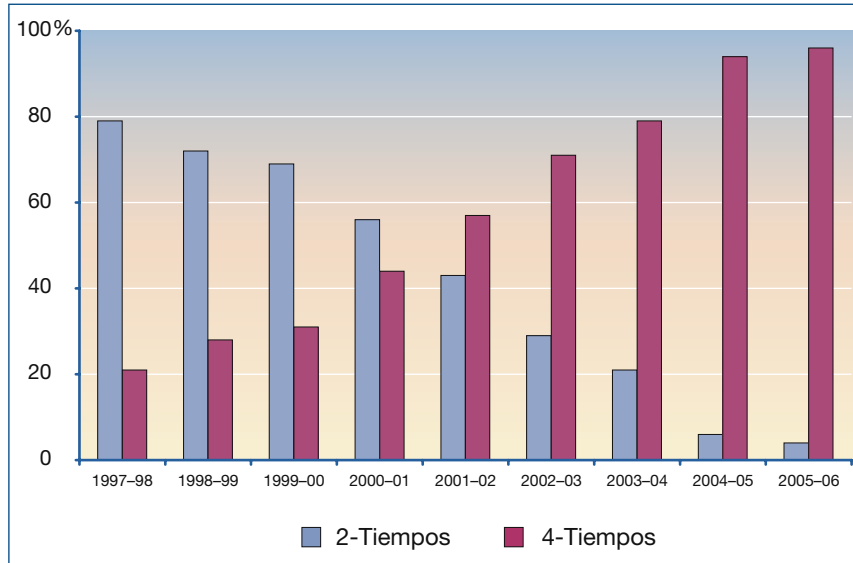


Fig. 9
Proporción en aumento progresivo de los vehículos de dos ruedas con cuatro tiempos en la India (volumen anual de ventas).

Fuente: M. N. Muralikrishna, «Indian Two-Wheelers», International Seminar on Fuel Efficiency, Petroleum Conservation Research Association, Chennai, 6-7 diciembre de 2007, <http://www.pcr.org>

se haya reducido significativamente. Una de las principales razones para esto es que ha habido un rápido aumento en la proporción relativa de vehículos de dos ruedas con motor de cuatro tiempos (ver Figura 9), los cuales tienen emisiones de MP e hidrocarburos mucho más bajas que aquellos con motor de dos tiempos. La segunda razón es que la mayoría de los vehículos de dos ruedas con motor de dos tiempos recientes utilizan convertidores catalíticos de oxidación que pueden ocasionar una reducción grande, de hasta el 50%, en las emisiones de MP y HC (ver Palke y Tyo, SAE 1999). La otra razón para las menores emisiones de MP es el

uso en aumento de aceites lubricantes sintéticos de dos tiempos en proporciones reducidas (Rudolf *et al.*, 2005).

Las emisiones son más altas en los motores de dos tiempos debido al diseño del motor. El gas es intercambiado a través de puertos localizados en el cilindro, generalmente uno frente a otro. Una mezcla fresca de combustible y aire comprimido en el cárter del cigüeñal entra a través de la abertura de entrada, mientras los gases de escape salen a través del puerto de escape. Mientras los puertos de entrada y de escape estén abiertos, parte de la mezcla fresca de combustible y aire se pierde a través del puerto de

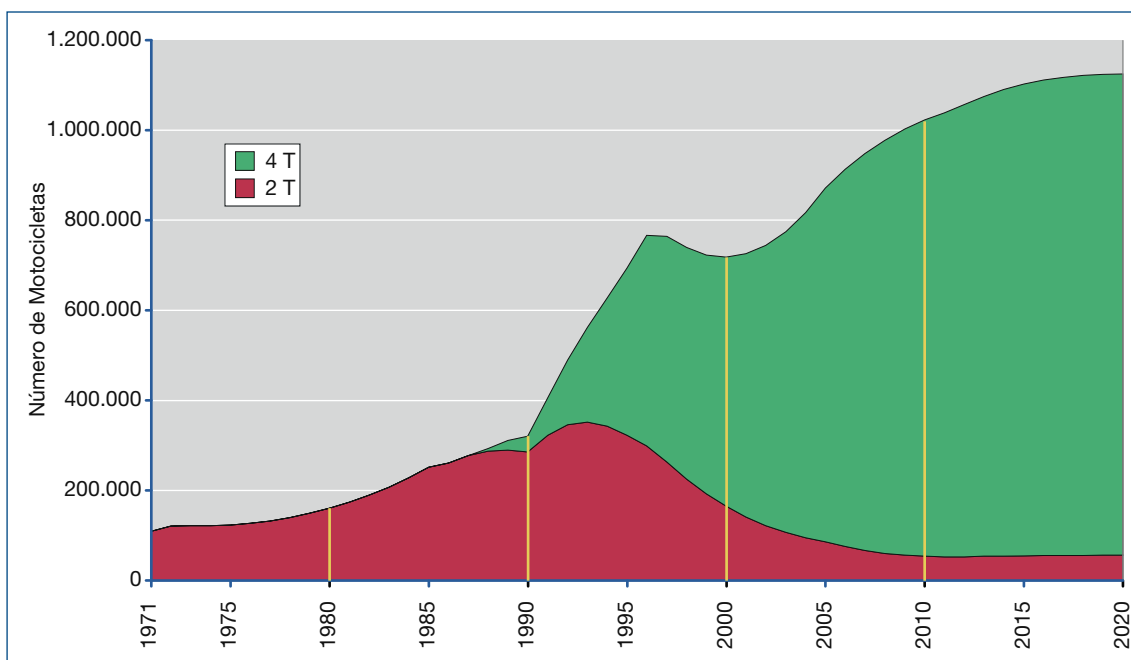
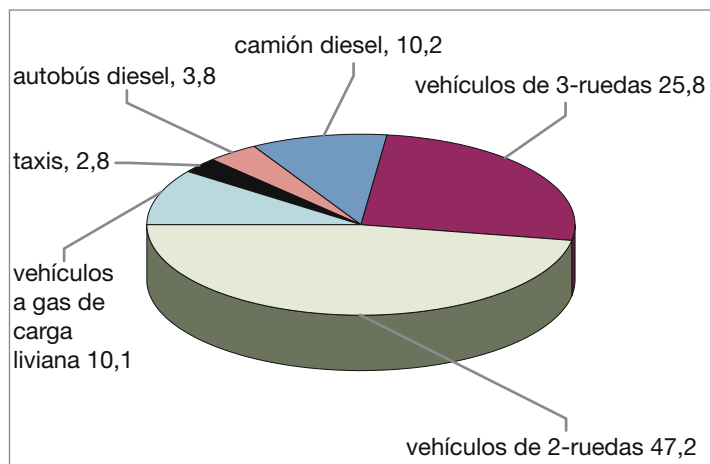


Fig. 10
Población de motocicletas en Bangkok.

Shah, 2001

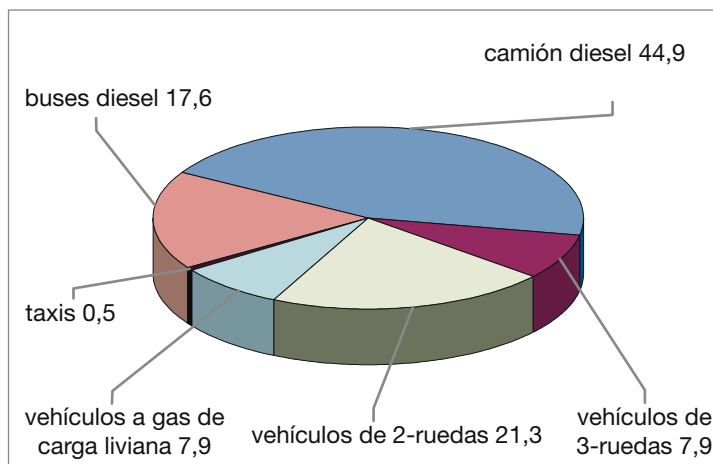
a. Emisiones de MP₁₀ en Delhi (%)

Walsh, 2001, de Jitu Shah y Jian Xie, 2000



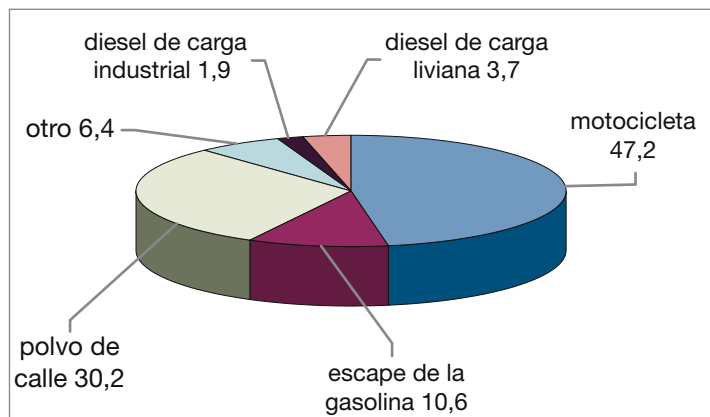
b. Emisiones de HC en Delhi (%)

Walsh, 2001, de Jitu Shah y Jian Xie, 2000



c. Fuentes de emisiones de particulado (%) en áreas de alto tráfico en Bangkok (1996): Odeon Circle

Walsh, 2001, de Estrategia de Mitigación de MP para el Área Metropolitana de Bangkok, Borrador del Informe Final, Radian International



d. Fuentes de emisiones de particulado (%) en áreas de alto tráfico de Bangkok (1996): Intersección de Pratunam

Walsh, 2001, de Estrategia de Mitigación de MP para el Área Metropolitana de Bangkok, Borrador del Informe Final, Radian International

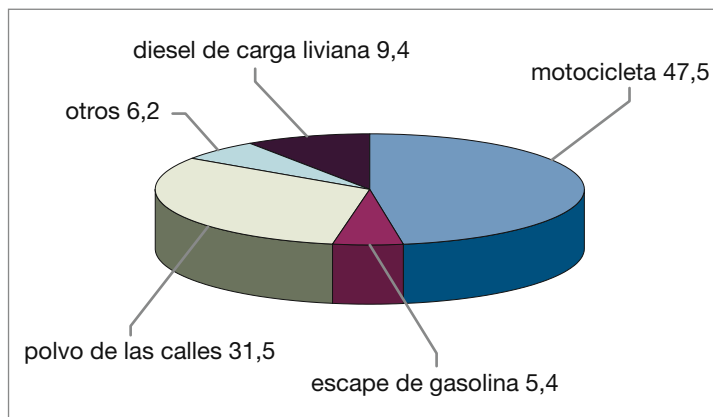


Fig. 11a, b, c, d
Contribución de los vehículos de dos y tres ruedas a emisiones de particulado y de hidrocarburos en Delhi, y emisiones de particulado fino en dos áreas con alto tráfico de Bangkok.

escape. Como resultado de estas «pérdidas por expulsión», que pueden alcanzar un 15 – 40% de la carga fresca no combustionada, el escape contiene un alto nivel de combustible y lubricante no quemado. Las emisiones de óxido de nitrógeno tienden a ser menores porque una porción significativa de los productos de combustión queda en el cilindro.

En los motores de dos tiempos el cárter del cigüeñal no se usa como una reserva de aceite, como es el caso en los motores de cuatro tiempos. En vez de eso, una pequeña cantidad de aceite lubricante se adiciona al combustible, o es introducida continuamente de forma mecánica. Debido a que la lubricación va sobre una base de pérdida total (proceso directo), el lubricante y otros hidrocarburos pesados quemados de forma incompleta son emitidos como pequeñas

gotitas de aceite. Estas gotitas de aceite aumentan el humo visible y las emisiones de material particulado, con graves impactos sobre la salud pública debido a su bien documentada relación con la morbilidad y la mortalidad prematura.

«Dos de los mayores contribuyentes a las altas concentraciones ambientales de MP₁₀ en el sector del transporte son los vehículos a gasolina con motor de dos tiempos y los vehículos diesel de carga industrial.»

Los datos (Cuadro 3) de pruebas hechas en el otoño de 2000 en ARAI (Automotive Research Association of India), indican que los niveles

Cuadro 3: Emisiones de vehículos seleccionados de 3 ruedas y 2 tiempos en Bangladesh (gr/km)

Edad del vehículo	Tipo de lubricante	Porcentaje de lubricante	Hidrocarburos	Monóxido de carbono	Óxidos de nitrógeno	Material particulado
7 años	puro	8%	23	25	0,03	2,7
7 años ^{a)}	2T	3%	16	17	0,09	0,9
4 años	puro	8%	9	8	0,08	0,6
4 años	2T	3%	9	10	0,09	0,2

Fuente: ARAI, Noviembre 2000, las mediciones son preliminares y requieren de mayor análisis.

Nota: ^{a)} Datos tomados después de llevar a cabo procedimientos sencillos de mantenimiento en el vehículo.

de las emisiones de material particulado de los vehículos de tres ruedas en uso en Dhaka (tamaño de motor de 150 cm³) muestran que los vehículos de 7 años de edad que usan excesivo «petróleo puro» emiten hasta diez veces más material particulado, y que los vehículos de cuatro años de edad que usan «petróleo puro» emiten aproximadamente dos a tres veces más material particulado que los valores típicos que se obtenían en los Estados Unidos en la década de 1970. Para ambas edades del vehículo, las emisiones de material particulado son mucho menores si se usa la cantidad correcta de aceite 2T, formulado específicamente para el uso en vehículos con motor de dos tiempos.

Debido a que los vehículos con motor de dos tiempos emiten una cantidad significativamente mayor de gasolina sin quemar que los motores de cuatro tiempos, emiten más plomo orgánico si se usa gasolina con plomo. El plomo orgánico es mucho más dañino para la salud pública que el plomo inorgánico formado por la combustión de aditivos de plomo. Bangladesh terminó de descartar gradualmente el plomo de la gasolina en julio de 1999, India en febrero de 2000. Solo hay gasolina sin plomo disponible en Sri Lanka desde el año 2002 y en Pakistán desde 2001.

Sin embargo, las emisiones de plomo pueden ser un problema en países en los que aún hay gasolina con plomo disponible. Un mayor análisis de los resultados obtenidos en este proyecto se informa en *Bangladesh: Reducing Emissions from Baby-Taxis in Dhaka*, ESMAP Report 253/02, enero 2002, <http://www.esmap.org>. Las conclusiones más importantes incluyen:

- Las emisiones de masa de MP eran altas, yendo de 0,16 a 2,7 gr/km, y obteniendo como promedio 0,7 gr/km. En la construcción de un inventario de emisiones para el MP, la contribución de los motores a gasolina

de dos tiempos puede ser sustancial si se utilizan estos números. Sin embargo, la naturaleza de las partículas es fundamentalmente diferente entre los motores diesel y los de gasolina de dos tiempos; por lo tanto, juntarlas puede conducir a error. Para el propósito de desarrollar una estrategia de mitigación de emisiones, puede tener mucho más sentido mantener estas dos categorías de emisiones de MP en forma separada.

- La condición mecánica del vehículo (reflejando tanto la tecnología como su mantenimiento) tuvo, en gran medida, el mayor impacto sobre las emisiones. El más antiguo de los vehículos probados tenía las mayores emisiones de MP, hidrocarburos y CO.
- Las emisiones de masa de material particulado seguían la tendencia esperada, con la excepción del servicio de los vehículos – es decir, con el uso de petróleo puro, aumento de la concentración de lubricante agregado, y uso de gasolina adquirida en Dhaka (la cual, a menudo, es adulterada con kerosene) las emisiones aumentaban.

3.2 Factores que aumentan las emisiones

El mantenimiento escaso del vehículo, el mal uso de lubricante, la adulteración de la gasolina, y la falta de convertidores catalíticos aumentan las emisiones de los motores de dos tiempos, lo que produce emisiones bastante por encima de los estándares aplicables. Además muchos conductores usan lubricantes y combustibles de baja calidad.

Mal uso del lubricante

Tanto la cantidad como la calidad del lubricante utilizado afectan el nivel de emisiones de hidrocarburos y de material particulado de

Uso de cascos

Muchos países en Asia tienen legislaciones que hacen obligatorio el que los motociclistas usen casco de seguridad. Aunque en India tales leyes han estado en vigencia por muchos años, el esfuerzo para asegurar su cumplimiento es extremadamente débil, con la excepción de unas pocas ciudades como Delhi y Chandigarh.

De manera similar, en Indonesia, incluso en los lugares donde las leyes se hacen cumplir, los motociclistas a menudo usan cascos de plástico delgado que se usan sueltos. Estos cascos de plástico baratos cuestan alrededor de USD 1,50, pero dan muy poca protección en la eventualidad de un accidente.

Para un análisis más detallado de materias de seguridad vial, por favor vea el Módulo 5b: *Seguridad Vial Urbana*.

Reducir la contaminación al mismo tiempo que se ahorra dinero

Muchos conductores en Bangladesh usan aceite mineral en vez de aceite 2T porque es menos caro. Pero cambiarse al aceite 2T, de hecho, le ahorraría dinero a la mayoría de los conductores. El aceite mineral puro en Dhaka se vende por alrededor de 50 takas el litro mientras que el aceite 2T se vende por alrededor de 90 takas el litro. El conductor de baby taxi que use 6 litros de gasolina al día y que conduzca 280 días al año gastaría típicamente 6.700 takas al año, acondicionando aceite mineral puro en una concentración del 8%. Un conductor que se cambiara a una concentración del 3% gastaría tan solo 4.500 takas al año — un ahorro anual de 2.200 takas. El desplazamiento hacia el aceite 2T también reduciría las emisiones y ayudaría a mantener los vehículos.

Fuente: Encuesta informal del Banco Mundial, 1999.

los motores de dos tiempos. Los fabricantes de vehículos recomiendan agregar lubricante al 2% para los vehículos de dos ruedas, y lubricante al 3% para los vehículos de tres ruedas. Pero muchos conductores de vehículos de tres ruedas agregan mucho más lubricante por varias razones:

- Falta de conocimiento acerca de la cantidad correcta a agregar;
- Falta de conocimiento acerca de los efectos adversos de un exceso de lubricante;
- Adición de lubricante excesivo a la gasolina por parte de los empleados en la estación de llenado en el punto de venta;
- Percepción de que más lubricante proporcionará mayor protección contra el atascamiento del pistón;
- Percepción de que más lubricante aumentará la economía de combustible;
- Menor miscibilidad del petróleo puro y aceite de motor convencional con la gasolina comparado con el aceite 2T.

El uso excesivo de lubricante aumenta los depósitos en la cámara de combustión y ensucia las bujías de encendido. Cuando los pistones y los aros están muy usados, el exceso de lubricante puede posponer el atascamiento del pistón por un rato. Pero los efectos adversos cuando las emisiones son mucho mayores, descompensan en gran medida los beneficios para los propietarios de los vehículos.

Los requerimientos de lubricantes para los motores de dos tiempos difieren de aquellos para los motores a gasolina de cuatro tiempos: buena lubricación; limpieza del pistón; bajos depósitos, especialmente en el sistema de escape; y menor emisión de humo. Los vehículos con motor de dos tiempos deberían usar aceite 2T especialmente formulado. Debido a que el polyisobuteno de peso molecular moderado tiende a descomponerse sin dejar depósitos grandes, el densificador de polyisobuteno en un stock de baja ley está siendo usado más y más en el lubricante. Japón ha tomado la iniciativa de desarrollar nuevos aceites de motocicletas denominados lubricantes de bajo humo o sin humo. Muchos vehículos de tres ruedas no usan el aceite 2T recomendado por los fabricantes de vehículos. En vez de ello, usan petróleo puro o aceite de motor nuevo o reciclado, que produce mayor acumulación de depósitos y mayores emisiones

(ver nota al margen). La razón principal para usar estos aceites es su menor costo, aunque algunos conductores pueden tener la impresión de que estos aceites más viscosos proporcionan mayor protección al motor. En algunos países, como Bangladesh y Sri Lanka, el aceite 2T no está todavía disponible en las estaciones de gasolina.

«Los vehículos de tres ruedas son conducidos en mucha mayor cantidad que los de dos ruedas y requieren de mantenimiento frecuente.»

Los aceites de motor convencionales no combinan bien con la gasolina. Su uso en los vehículos con motor de dos tiempos produce lubricación insuficiente cuando el aceite no alcanza al motor y provoca altas emisiones cuando sí lo hace. El uso a largo plazo de lubricantes convencionales tiene como resultado un desgaste prematuro del motor y mayores costos de mantenimiento.

Mantenimiento inadecuado del vehículo

Debido a que principalmente tienen un uso comercial, los vehículos de tres ruedas son conducidos en mucha mayor cantidad que los de dos ruedas y requieren mantenimiento frecuente. Pero los conductores, a menudo, no cumplen con mantener adecuadamente sus vehículos. El problema del mantenimiento es especialmente serio cuando los conductores arriendan sus vehículos con compromiso de compras, porque ni el conductor ni el dueño se hacen responsables por la condición mecánica del vehículo.

Las emisiones vehiculares aumentan con la edad de la flota vehicular y el pobre estado de mantenimiento del vehículo. Un estudio en los Estados Unidos encontró que los vehículos pobremente mantenidos, que representan el 20% de todos los vehículos en las calles, contribuían en aproximadamente el 80% del total de las emisiones vehiculares (Auto/Oil Air Quality, 1997). Recientemente, tres baby taxis en Dhaka, Bangladesh, de cuatro a siete años de edad fueron seleccionados al azar para una inspección mecánica. Los ingenieros que inspeccionaron los motores encontraron evidencia de considerables reparaciones y modificaciones ad hoc, sin autorización. Una combinación de mantenimiento

inadecuado y reparaciones por parte de mecánicos con escasa preparación contribuye al bajo estado mecánico de muchos vehículos en ciudades en desarrollo asiáticas.

Adulteración de la gasolina

Las emisiones de todos los vehículos a gasolina se ven aumentadas por la adulteración de la gasolina con kerosene. El kerosene tiene un mayor punto de ebullición que la gasolina y, por lo tanto, es más difícil de quemar. Como resultado se acumulan más depósitos en el motor y se emiten más hidrocarburos no quemados en los gases de escape. Basándose en evidencia anecdótica, la adulteración de la gasolina es generalizada en el sur de Asia, por ejemplo, por el precio minorista significativamente menor del kerosene. Las pruebas y muestreos limitados de gasolina por parte del Banco Mundial en Dhaka, 1998, también indicaban que una fracción significativa de la gasolina había sido adulterada.

Falta de convertidores catalíticos

Los convertidores catalíticos –instalados en los automóviles de pasajeros en muchas partes del mundo donde la gasolina sin plomo ya está disponible– no pueden ser usados para convertir una alta proporción de hidrocarburos en los motores de dos tiempos, debido a que el diseño de los motores actuales resulta en mayor exotermia (calor de reacción) y la sinterización de los metales preciosos, lo que desactiva al catalizador. La tendencia de los motores de dos tiempos a fallar bajo condiciones de baja carga agrava todavía más el problema de la desactivación del catalizador. A pesar de estas limitaciones, los catalizadores de oxidación –que disminuyen los niveles de emisión de los hidrocarburos y el monóxido de carbono y, hasta cierto punto, reducen la cantidad de las partículas finas emitidas en forma de pequeñas gotitas de aceite– han sido usados en Taiwán (China) para cumplir con estándares de emisiones cada vez más severos. Desde el año 2000, estos convertidores están instalados en todos los vehículos nuevos de dos y tres ruedas con motor de dos tiempos en la India, también para cumplir con los estrictos estándares de emisiones aplicados allí.

3.3 Efectos de las emisiones

Efectos sobre la salud

La investigación en varias ciudades y países ha demostrado que el MP_{10} , y especialmente el $MP_{2,5}$ (partículas con diámetros de no más de 2,5 micrones, llamadas material particulado fino), son extremadamente dañinos para la salud pública. Estas partículas están asociadas con síntomas respiratorios, aumentos de asma, cambios en la función pulmonar, y muerte prematura (para más información ver el Módulo 5a: *Gestión de Calidad del Aire*).

El efecto sobre la salud del material particulado aumenta a medida que el tamaño de las partículas disminuye. Partículas muy finas –como las emitidas por la combustión de combustibles de transporte– son consideradas especialmente dañinas. Asimismo, el hecho de que ellas sean emitidas a nivel del suelo, a poca distancia de donde la gente vive y trabaja, sugiere que las emisiones vehiculares son incluso más dañinas de lo que podría indicar su participación en las cargas totales de emisiones. El efecto sobre la salud de las partículas basadas en gotitas de aceite no está del todo entendido. La mayoría de los estudios de impactos sobre la salud se han llevado a cabo en países que no tienen grandes números de vehículos con motor de dos tiempos, lugares donde las fuentes principales de emisiones de material particulado son los vehículos diesel y las fuentes estacionarias. En todos estos estudios, se calcula la regresión de los casos de enfermedades y muerte comparándolos con las concentraciones totales de material particulado ambiental medidas en términos de partículas suspendidas totales o MP_{10} , no con emisiones de material particulado vehicular. La mayoría del material particulado de los motores de dos tiempos es materia orgánica soluble, mientras que el material particulado de los vehículos diesel y fuentes estacionarias contiene una significativa cantidad de carbón grafito. Su conducta en la atmósfera en términos de nucleación, aglomeración, dispersión, y condensación podría ser bastante diferente. Esta área de investigación necesita de aún más análisis.

Efectos sobre el calentamiento global

Se cree que tres gases de efecto invernadero emitidos por los vehículos –dióxido de carbono,

metano y óxido nitroso— tienen el potencial de incrementar el calentamiento global. Sin embargo, los motores de dos tiempos no son una fuente principal de estas emisiones. El sector del transporte es responsable de un estimado de 13% de emisiones de dióxido de carbono en el sur de Asia, yendo de un 10% en Bangladesh a un 48% en Sri Lanka (International Energy Agency, 1997). Las emisiones de los vehículos con motor de dos tiempos son responsables por un 11% de las emisiones vehiculares de dióxido de carbono (un 8% por parte de los vehículos de dos ruedas y un 3% por los de tres ruedas) y tienen una muy pequeña participación de emisiones de metano y óxido nitroso.

Solo un 1 a 2% de los gases de invernadero totales del sur de Asia puede, por lo tanto, ser relacionado con los vehículos con motor de dos tiempos. Esta contribución (muy reducida) de los vehículos con motor de dos tiempos a las emisiones de gases de invernadero sugiere que los esfuerzos para reducir tales emisiones deberían enfocarse en otros tipos de vehículos, como los autobuses y camiones de carga pesada, y otros sectores aparte del transporte. No obstante, las medidas de mitigación que reduzcan la contaminación local de los motores de dos tiempos también pueden llevar a la reducción de emisiones de gases de invernadero. Algunos ejemplos de tales medidas incluyen cambiarse hacia motores de cuatro tiempos más eficientes con el combustible y hacia vehículos eléctricos, especialmente donde la electricidad que se usa para cargar los vehículos se genere usando un combustible limpio, como es el caso del gas natural. Debe hacerse notar que varios países en la región asiática están cambiándose rápidamente de motores de dos tiempos hacia motores de cuatro tiempos para la mayoría de los vehículos de dos ruedas. Notables entre estos son Tailandia, Taiwán (China) e India. Vietnam ya ha tenido una preferencia por vehículos de dos ruedas con motores de cuatro tiempos. La introducción de estándares de emisión cada vez más estrictos y los cambios en las preferencias de los clientes han llevado a estas tendencias.

Los vehículos eléctricos a batería de pequeñas capacidades están volviéndose cada vez más populares en China con un mercado que alcanzó los 20 millones en 2007 (Cherry,

Weinert, Xinmiao, 2008). Un estudio detallado del consumo de energía y emisiones del ciclo de vida de las bicicletas eléctricas chinas demostró que, en comparación con una motocicleta, las bicicletas eléctricas son mucho más eficientes con respecto a la energía y tienen emisiones menores por órdenes de magnitud de la mayoría de los contaminantes. El estudio, sin embargo, encontró que las bicicletas tienen mejor rendimiento que todos los demás modos en términos de impactos ambientales. Una consideración principal en el caso de las bicicletas eléctricas es el impacto ambiental del plomo utilizado en las baterías. La contaminación de plomo de la producción de baterías para bicicletas eléctricas y procesos de eliminación de residuos es dos órdenes de magnitud mayor que la de los buses en una base por pasajero-km (Cherry, Weinert, Ma, 2006). Una sección de este módulo tratará los impactos ambientales de las bicicletas eléctricas con estudios de caso de China.

«Las bicicletas tienen mejor rendimiento que todos los demás modos en términos de impactos ambientales.»

Los desarrollos recientes en inyección directa de combustible en el motor de dos tiempos parecen ser promisorios no solo para bajar la emisión de contaminantes, sino también para reducir el consumo de combustible y las emisiones de CO₂ (Johnson, 2001). La aplicación limitada de esta tecnología en pequeños vehículos de dos y tres ruedas ya ha comenzado en Italia, China e India.

3.4 Reducción de las emisiones de los vehículos con motor de dos tiempos

Con la excepción de India, Taiwán (China) y Tailandia, la mayoría de los países asiáticos aún no ha adoptado medidas fuertes para mitigar las emisiones de los motores de dos tiempos. Estas incluyen el uso de lubricantes de bajo humo, instalación de catalizadores de oxidación, y medición mecánica del lubricante. Esta sección examina las formas de mejorar el funcionamiento de los motores de dos tiempos. La sección siguiente considera alternativas para los motores a gasolina de dos tiempos.

Tecnologías del vehículo

Recientes declinaciones en las emisiones

Los factores de emisiones de los vehículos de dos ruedas nuevos y con mantenimiento apropiado que usan la cantidad correcta de lubricante han declinado en los últimos años. La Figura 12 muestra la reducción progresiva en la última década de varios contaminantes de los vehículos de dos ruedas con motor de dos y de cuatro tiempos en la India. Las pruebas han mostrado que una motoneta equipada con un catalizador, por ejemplo, emitía solo 0,015 gramos de material particulado por kilómetro en una prueba reciente, pero este factor de emisiones es varias veces mayor que aquel de una motoneta de cuatro tiempos comparable.

Pero los datos sobre factores de emisiones para el material particulado deben ser interpretados con precaución. No hay metodología establecida que sea aceptada por toda la industria para medir las emisiones de material particulado de los motores de dos tiempos. Casi todo el trabajo llevado a cabo en los vehículos con motor de dos tiempos se ha enfocado en reducir los hidrocarburos (o la suma de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno), el monóxido de carbono y el humo visible. No se ha conducido ningún estudio en profundidad acerca de las emisiones de material particulado.

«No se ha conducido ningún estudio en profundidad sobre material particulado (MP) de vehículos con motor de dos tiempos.»

La medición de emisiones de material particulado de los motores de dos tiempos es difícil, porque las gotitas de aceite del lubricante adicionado a la gasolina en una base de pasar a través dan cuenta de una gran fracción del material particulado en el gas de escape. Dependiendo de la tasa de dilución y la temperatura a la cual la línea flujo abajo del tubo de escape (incluyendo el túnel de dilución) haya sido calentada, esas gotitas pueden condensarse antes de ser recolectadas en el papel de filtro. Las muestras de aceite condensadas sobre papeles de filtro pueden también perderse como resultado del paso del gas a través del filtro. Un estudio

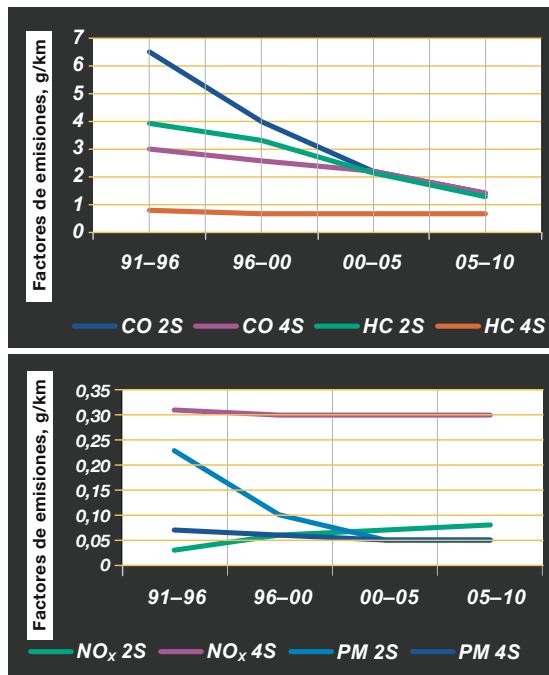


Fig. 12
Reducción progresiva de factores de emisiones debido a estrictas normas de emisiones en India.

Calidad del Combustible del Transporte para el Año 2005, CPCB, diciembre de 2000

reciente patrocinado por la Comisión Europea ha confirmado el hecho de que es probable que las tecnologías actuales utilizadas para medir las emisiones de MP de motores diesel no sean adecuadas para mediciones reproducibles de MP de dos tiempos en futuros vehículos de dos ruedas. Los vehículos diseñados para cumplir estándares de emisiones estrictos, tal como aquellos en India, Taiwán y Euro 3, exhiben menos emisiones de MP – hasta un 90% más bajo que los vehículos sin controles. El estudio concluyó además que un entendimiento adecuado de los efectos sobre la salud de las emisiones de MP producidas por motores debería ser la base de cualquier limitación legal de tales emisiones (Rudolf *et al.*, 2005).

Instalación de convertidores catalíticos

Los convertidores catalíticos para los vehículos de dos y tres ruedas son catalizadores de oxidación, los que reducen el nivel de monóxido de carbono (CO) y las emisiones de hidrocarburos (HC), pero no los óxidos de nitrógeno (NO_x), a diferencia de los catalizadores de tres vías comúnmente instalados en los automóviles de pasajeros, que también reducen las emisiones de óxido de nitrógeno. Los convertidores catalíticos para motores de dos tiempos no están diseñados para lograr un nivel tan alto de conversión de CO y HC como aquellos para los automóviles de pasajeros con motor de cuatro tiempos,

debido a la mayor cantidad de HC y lubricante en el gas de escape. Típicamente reducen las emisiones de escape a la mitad. Los convertidores catalíticos, básicamente diseñados para reducir las emisiones de CO y HC, también reducen las emisiones de MP de los motores de dos tiempos. El alcance de la reducción varía desde la mitad (Palke *et al.*, 1999) hasta un tercio (Kojima *et al.*, 2002).

«Los catalizadores se desactivan más rápidamente en los vehículos con motor de dos tiempos... y necesitan ser reemplazados con frecuencia.»

Los catalizadores se desactivan más rápidamente en los vehículos con motor de dos tiempos, parcialmente debido a la mayor temperatura del gas de escape, y necesitan ser reemplazados con frecuencia. Taiwán (China) ha tenido requerimientos de durabilidad del catalizador para las motocicletas ya desde hace algún tiempo, inicialmente establecido a los 6.000 km, y a los 15.000 km hoy en día.

Una disposición reciente del Gobierno de India especifica un Factor de Deterioro fijo de 1,2 para los vehículos de dos y tres ruedas equipados con convertidores catalíticos de oxidación que regula la durabilidad del catalizador. El fabricante del vehículo tiene la opción de llevar a cabo una prueba de durabilidad para 30.000 km. Para los vehículos de tres ruedas del sur de Asia, los cuales a menudo cubren 120 km por día, 15.000 km son equivalentes a menos de seis meses de operación. Para un vehículo conducido por 10 años o más, como muchos vehículos de dos tiempos en las ciudades asiáticas en desarrollo, los catalizadores tendrían que ser reemplazados hasta 20 veces para mantener el nivel original de emisiones de material particulado. Esto es claramente un problema.

En India, todos los fabricantes de vehículos de dos y tres ruedas ofrecen a sus clientes una garantía de emisiones de 30.000 km. Aunque esto fue inicialmente propuesto por los fabricantes para enfrentar el requerimiento de durabilidad de los convertidores catalíticos, ahora es ofrecido sin considerar si los vehículos están equipados con convertidores catalíticos o no.

La durabilidad del catalizador de 30.000 km haría posible que los conductores reemplacen sus catalizadores a los mismos intervalos en que sus motores son revisados totalmente. Como lo hace notar la *Síntesis* del Taller Regional (2001), para hacer que estas garantías se cumplan se requeriría de condiciones específicas en cuanto a los combustibles, lubricantes y mantenimiento, que sean realistas en términos de condiciones corrientemente en uso. Se necesitará que el gobierno monitoree el funcionamiento de los catalizadores en uso, con el potencial de posibles programas costosos de retiros del mercado.

Para cumplir con los estándares de emisiones del año 2000, los vehículos de tres ruedas fabricados en India están equipados con convertidores catalíticos para los diseños de motores de dos y de cuatro tiempos.

El costo después de deducir los impuestos del convertidor catalítico puesto sobre los vehículos de tres ruedas para ambos motores es de

Recuadro 2:
Reducir las pérdidas por expulsión en los motores de dos tiempos

Se están probando varias tecnologías para reducir las emisiones de los motores de dos tiempos. El objetivo es retener las ventajas de los motores de dos tiempos y al mismo tiempo ganar control sobre la proporción aire-a-combustible y eliminar la pérdida de aire-combustible a través del puerto de escape.

Inyectar combustible dentro del motor en vez de introducirlo a través del carburador puede reducir de forma importante, o eliminar, las pérdidas por expulsión. La inyección directa del combustible dentro del motor también hace posible usar mezclas más livianas de aire-combustible.

La eficiencia de una variedad de sistemas que podrían ser apropiados para los motores pequeños ha sido demostrada en laboratorios, aunque solo uno de ellos ha sido desarrollado comercialmente en una escala limitada (Johnson, 2001). Todas estas medidas requerirían de un sistema de manejo de motor electrónico para un control preciso del temporizador de inyección de combustible y de la cantidad, dependiendo de la carga y velocidad del motor. De esta forma, se agregarían al costo del vehículo.

Adaptado de Kojima *et al.*, 2000

aproximadamente INR 1.100, o aproximadamente USD 25. Los precios de los convertidores catalíticos dependen de los precios de los costosos metales nobles que se usan en su fabricación. La introducción de estándares de emisiones cada vez más estrictos necesita del uso de mayores cantidades de metales nobles con un impacto adverso sobre sus precios. Sin embargo, los recientes desarrollos de tecnologías de sustrato metálico turbulento altamente eficientes transforman el flujo laminar del escape en un flujo turbulento, mejorando significativamente el comportamiento de mezcla del gas del escape en el catalizador, lo que resulta en una mejora de la actividad catalítica y conversión de contaminantes. Estas tecnologías pueden explotarse para reducir el tamaño y volumen del catalizador, resultando así en una disminución de los costos del sistema debido al uso reducido de metales preciosos costos (Shivraj, 2008).

Reduciendo las pérdidas del barrido

Un área principal de investigación y desarrollo ha sido el intento de reducir las pérdidas del barrido para incrementar la economía de combustible y reducir las emisiones (ver Recuadro 2). Se han logrado reducciones sustanciales diseñando mejores configuraciones de puertos. En India, por ejemplo, las pérdidas de combustible por cortocircuito han sido reducidas desde un 35% en 1991 a un 14% para el modelo del año 2000 como resultado de cambios de diseño (Iyer, 1999).

Mejorar la calidad de la gasolina

Es probable que la adulteración de la gasolina con kerosene aumente las emisiones de hidrocarburos y de material particulado. Ya que parte de la gasolina se desvía efectivamente de la cámara de combustión y es emitida sin quemar por el motor de dos tiempos, eliminar o reducir tales componentes tóxicos como el plomo orgánico y la bencina de la gasolina –un paso meritorio en cualquier circunstancia– es especialmente importante para aplacar los efectos sobre la salud de las emisiones tóxicas de los motores de dos tiempos.

El alto contenido de resina y el bajo nivel de octanaje de la gasolina también aumentan las emisiones. Si la gasolina es inestable, el contenido de resina puede hacerse inaceptablemente alto, llevando al deterioro de ajustes del

carburador y aumento de depósitos, los cuales alteran la proporción de aire a combustible. Esto, a su vez, podría causar que el motor falle, causando daño al vehículo y aumentando en forma significativa las emisiones de hidrocarburos y de material particulado que constituyen las gotitas de aceite. La experiencia en India ha demostrado que el uso de gasolina con un alto contenido de resina en el motor de cuatro tiempos de los vehículos de dos y tres ruedas lleva a una acumulación acelerada de depósitos en la válvula de entrada y puede llevar a atascamiento valvular y, en casos extremos, a torcedura valvular y su posterior daño al motor. El requerimiento mínimo de número de octanaje de investigación (RON) [research octane number] para los vehículos de dos y tres ruedas en el sur de Asia es de 87. La mayoría de los países en la región del sur de Asia tienen gasolina RON por encima del requerimiento de 87. El RON de la gasolina regular en India es 87 y el de la Premium es 91. La gasolina sin plomo está disponible a través de Sri Lanka y, desde diciembre de 2003, la venta de gasolina con plomo (contenido de plomo excediendo 0,013 gr/litro) está prohibida. El RON de la gasolina regular en Sri Lanka es 90 y el de la gasolina Premium es 95. Pakistán también descartó gradualmente el plomo en el año 2001. Dos graduaciones de gasolina con 87 RON y 90 RON respectivamente están disponibles. Nepal también descartó gradualmente el plomo de la gasolina en el año 2000 y la gasolina allí tiene un RON de 88. En julio de 1999, Bangladesh tomó una decisión de referencia para descartar gradualmente el plomo, aunque el RON se mantuvo en 80. Un número de octanaje bajo puede afectar adversamente al rendimiento del vehículo debido al severo golpeteo del motor, que puede llevar a un aumento en las emisiones (Gota, 2009)¹⁾.

Mejorar el cumplimiento de la ley

No es suficiente regular la calidad del combustible. En algunos países en desarrollo los combustibles de transporte son frecuentemente adulterados. Por ejemplo, la adición de kerosene (de menor costo) a la gasolina en el sur de Asia, la contaminación cruzada de diesel con petróleo crudo, y la adición de aditivos con plomo a la

¹⁾ Gota Sudhir, Clean Air Initiative – Asia, «Personal Communication» marzo de 2009

gasolina de flujo abajo de las refinerías o terminales de Asia Central y del Cáucaso, aumentan las emisiones de los vehículos. El monitoreo regular de la calidad del combustible, acompañado de costosas multas por el no cumplimiento, podría ayudar a cumplir con los estándares de combustibles de una manera más eficiente, aunque es posible que siga siendo muy difícil prevenir la adulteración local, siempre que haya un incentivo financiero para comprometerse en esa práctica.

La experiencia de Tailandia (Banco Mundial, 2001, citando a J. Shah) muestra la dificultad de evitar la alteración del combustible a la luz de incentivos financieros contrarios. La adulteración de la gasolina, que tenía mucho impuesto, con kerosene, que estaba altamente subsidiado, era un problema serio en Tailandia a principios de la década de 1980. El gobierno introdujo una serie de medidas, que incluían:

- Teñir el kerosene de color azul;
- El requerimiento de venderlo solo en contenedores de 20 litros;
- Intensos esfuerzos de parte de la policía para hacer cumplir estas disposiciones.

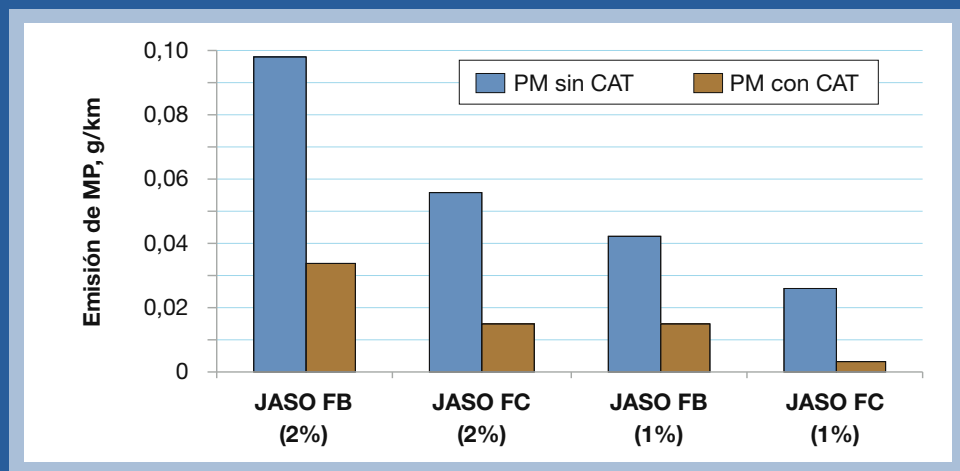
Aunque estas medidas tuvieron algunos efectos, las ventas de kerosene se mantuvieron altas

hasta que los impuestos al petróleo fueron reestructurados en 1986 y el impuesto sobre el kerosene aumentó para eliminar el incentivo para adulterar. Sin embargo, el incentivo para adulterar la gasolina con solventes industriales que no tienen impuestos continúa, y esta adulteración es un problema en curso.

«... el incentivo para adulterar la gasolina con solventes industriales continúa, y esta adulteración es un problema en curso...»

El Centro para la Ciencia y Ambiente (CSE), una importante ONG, fue contactado por parte de las autoridades del gobierno y se le pidió que hiciera un estudio independiente del desenfrenado problema de la adulteración del combustible en India. Encontraron que los adulterantes como el kerosene y una variedad de solventes eran mezclados con gasolina y diesel. Mientras que el método de teñir es usado para detectar la adulteración con kerosene, no fue posible adoptar este método para los otros solventes. Una observación importante es que, ya que estos adulterantes pertenecen a la familia de

Efecto de la calidad y cantidad de lubricante en la reducción de emisiones de MP



JASO FB: Índice de aceite de bajo humo
 JASO FC: Índice de aceite de humo superior
 Uso de convertidor catalítico de oxidación

Fuente: JAMA

Fig. 13
Efecto de la calidad y cantidad de lubricante en la reducción de emisiones de MP.

Fuente: Iyer N. V. «Management on In-use Motorcycle Emissions – The Indian Experience», Workshop sobre Control de las Emisiones de las Motocicletas: Experiencia Vietnamita e internacional, Hanoi, Vietnam, 6 de marzo de 2007, <http://www.theicct.org>

hidrocarburos similares a aquellas de los combustibles, alguna cantidad de mezcla siempre era posible sin cambiar los parámetros globales de las especificaciones de los combustibles. Por lo tanto, no era posible detectarlos usando los procedimientos de prueba estándares dados en las especificaciones nacionales (Oficina de Estándares de India) para establecer cumplimiento, y tuvieron que usarse pruebas más sofisticadas, como la cromatografía de gas (<http://www.cseindia.org>).

Mejorando el uso de lubricantes

Estándares para los lubricantes

A mediados de los 1980s, el Instituto Americano del Petróleo (API) y el Consejo Coordinador Europeo para el Desarrollo de Pruebas de Rendimiento para Combustibles de Transporte, Lubricantes y Otros Fluidos establecieron una lista de clasificaciones provisional para el servicio y rendimiento de lubricantes de dos tiempos. El API canceló el sistema en 1993, sometiéndose a la especificación global de la Organización Internacional de Estandarización (ISO) y el sistema de la Organización Japonesa de Estándares (JASO). Los comerciantes de aceite continúan usando los anticuados criterios de pruebas establecidos para API TC para certificar aceites refrigerados por aire. La clasificación API TC es actualmente el más bajo nivel aceptable de calidad de aceite 2T.

En 1990 JASO creó un estándar de lubricante de dos tiempos con tres niveles de calidad (FA, FB y FC). La calidad de lubricidad y de detergencia aumenta de FA a FC y el bloqueo de escape y la emisión de humo se mejoran. Los niveles máximos permisibles de densidad de humo son de 50% para aceite FA, 44% para aceite FB, y 24% para aceite FC. Los fabricantes japoneses de vehículos de dos tiempos identifican FC (lubricantes de bajo humo) como su requerimiento mínimo.

Desde abril de 1999, en India se ha requerido que todos los aceites para motores de dos tiempos vendidos en ese país cumplan tanto con especificaciones API TC como JASO FC (es decir, solo se puede usar aceites lubricantes de bajo humo en India). Además, por una notificación del Ministerio de Ambiente y Bosques emitida en diciembre de 1998, en el Territorio

Recuadro 3: Mejorar el uso del lubricante

- Los datos disponibles indican que para los motores de dos tiempos, la mayor parte de las emisiones muy altas de hidrocarburos están compuestas por combustible no quemado. De forma similar, un componente principal de material particulado, que también aparece como 'humo blanco', está compuesto por lubricantes no quemados. Prohibir la venta de lubricantes sueltos para dos tiempos puede reducir sustancialmente las emisiones excesivas de MP y humo.
- Reducir el contenido de benceno del combustible puede reducir el contenido de benceno de los hidrocarburos de escape y la toxicidad de éste. Por lo tanto, algunos países necesitan regular de mejor manera el contenido de benceno de su gasolina para minimizar este riesgo tóxico.
- El uso de combustible sin plomo es necesario con el fin de usar convertidores catalíticos para reducir las emisiones de los motores de dos tiempos. Además, el rendimiento del catalizador solo se puede optimizar con muy bajos niveles de azufre en el combustible.
- Mezclas oxigenadas en el combustible reducirán las emisiones de CO de los motores de dos tiempos; las emisiones de CO y HC pueden reducirse de forma importante con mezclas oxigenadas en los vehículos equipados con convertidores catalíticos.
- Las emisiones de humo, hidrocarburos y material particulado de los motores de dos tiempos aumentan junto con el aumento del consumo de aceites. Premezclar el aceite y el combustible en las estaciones de dispensado ayuda tremendamente a controlar el consumo excesivo. Más evidencia inicial indica que el uso de una bomba de aceite separada puede ayudar a optimizar el consumo de aceite, proporcionando buena lubricación con emisiones mucho menores.
- Los aceites de motores de dos tiempos de mayor rendimiento, que permiten incluso menores proporciones de aceite a combustible, reducirán todavía más el consumo de aceite y las concomitantes emisiones de humo y MP; el uso de aceites minerales que no contengan un paquete apropiado de aditivos debería ser eliminado.
- Los aceites lubricantes de calidad superior como el JASO FC también pueden reducir las emisiones de humo.

Synthesis, Taller Regional, 2001
<http://adb.org/vehicle-emissions>

Capital Nacional de Delhi el aceite 2T solo puede ser vendido en empaques sellados o premezclado con gasolina y dispensado a través de la boquilla de la bomba. Esta prohibición de los paquetes no sellados tiene como intención desalentar la venta de aceites reciclados u otros aceites para motor inadecuados. La venta de gasolina premezclada tiene como intención fomentar el uso no solo de la calidad adecuada, sino también de la cantidad correcta de aceite 2T. El Gobierno de India, a través de una notificación reciente emitida en noviembre de 2006, ha extendido la regla acerca de la demanda de aceite 2T solo en forma premezclada a dieciséis ciudades más²⁾.

Uso de concentración correcta de lubricante

El uso del monto correcto de aceite 2T reduce significativamente las emisiones vehiculares de motores de dos tiempos. Las nuevas formulaciones de lubricantes incluso permiten a ciertas marcas de vehículos de dos ruedas cortar el requerimiento de lubricante a tan solo un 1%.

Uso de lubricante de bajo humo

El uso de lubricante de bajo humo reduce de manera significativa las emisiones de humo visible. Los precios minoristas de lubricantes en India en marzo de 2000 se dan en el Cuadro 4. Si los conductores que usan aceite JASO FB al

6% reducen la cantidad de lubricante al 3% y simultáneamente cambian a JASO FC (lubricante de bajo humo), pueden realizar ahorros de aproximadamente 35% en los costos de los lubricantes.

En Bangkok, varias motocicletas con niveles variables de emisiones de humo visible se seleccionaron para ver si el humo visible estaba correlacionado con las emisiones de masa de material particulado. Los resultados mostraron una débil correlación. Los resultados de pruebas más recientes entres de los baby taxis en uso en Dhaka, llevados a cabo por ARAI, mostraron que la correlación entre el humo y las emisiones de masa de material particulado era pobre, debajo de 1 gr/km (Kojima *et al.*, 2002).

Los datos limitados sobre el impacto de cambiar del aceite regular 2T a lubricante de bajo humo en las emisiones de material particulado de los estudios arriba mencionados también indican que, aunque el lubricante de bajo humo puede reducir el humo visible, puede que no reduzca las emisiones de masa de material particulado excepto cuando se compara con las del petróleo puro. De este modo, el beneficio para la salud pública de usar lubricantes de bajo humo no está claro. Otros estudios, particularmente aquellos realizados en Japón, muestran que se puede obtener una reducción significativa de las emisiones de MP de dos tiempos si se usan simultáneamente lubricante de dos tiempos de «bajo humo» (JASO FC) en proporciones más bajas de lo usual (1% del combustible en lugar de 2%) y convertidores catalíticos de oxidación diseñados para reducir emisiones de CO e hidrocarburos, resultando en una reducción en las emisiones de MP a un décimo del nivel sin controlar (Iyer, 2007).

Medición del lubricante

Un sistema mecánico de lubricación, que ajuste la cantidad de lubricante medida en la gasolina con la velocidad y carga del motor, puede controlar la cantidad de lubricante adicionado a la gasolina. Tal sistema reduce las emisiones haciendo imposible que los conductores adicione lubricante en exceso a la gasolina. Sin embargo, la lubricación mecánica puede no producir beneficios más grandes que aquellos logrados cuando los conductores adicionan la cantidad correcta de lubricante.

²⁾ GSR 714 (E), Ministerio de Ambiente y Bosques, Gobierno de India, 17 de Noviembre de 2006 y GSR 778 (E), Ministerio de Ambiente y Bosques, 31 de diciembre de 1998.

Cuadro 4: Precios al por menor de los lubricantes en India, marzo de 2000 (Rupee indias - INR)

Lubricante	Precio del lubricante por litro	Precio de 3% aceite/litro de gasolina	Precio de 6% aceite por litro de gasolina
Aceite de dos tiempos que cumple con JASO FB	80 – 90	2,4 – 2,7	4,8 – 5,4
Aceite de dos tiempos que cumple con estándar API TC	100 – 120	3,0 – 3,6	6,0 – 7,2
Aceite del cárter de cigüeñal que cumple con estándar API	80 – 90	2,4 – 2,7	4,8 – 5,4

Kojima *et al.*, 2000

Nota: ^{a)} API SC es un grado del aceite del cárter del cigüeñal para los vehículos a gasolina con motor de cuatro tiempos.

Mejorando el mantenimiento

No está demás insistir en la importancia de un programa de mantenimiento e inspección eficaz: el mantenimiento apropiado es crucial para cosechar los beneficios totales de las inversiones en la mitigación de emisiones (ver también Módulo 4b: *Inspección, Mantenimiento y Revisiones de Seguridad*). Los simples procedimientos de revisión, como limpiar y ajustar el carburador, ajustar el sistema de ignición, limpiar y ajustar o reemplazar las bujías de encendido, y limpiar los filtros de aire, pueden reducir los niveles de emisiones de escape de manera significativa. Los filtros de aire deberían ser limpiados o reemplazados cada 3.000 km. Los carburadores deberían ser afinados y limpiados cada 3.000 km para los motores de dos tiempos y cada 5.000 km para los motores de cuatro tiempos.

Debido a que el lubricante pasa a través del motor de dos tiempos en una base de una sola vez a través, hay considerablemente más sedimentación y acumulación de depósitos carbonáceos en la cámara de combustión, puerto del escape y silenciador, que en los vehículos con motor de cuatro tiempos. Como resultado, se necesita una descarbonización más frecuente. Bajaj Auto recomienda una descarbonización cada 6.000 km para los vehículos de tres ruedas y 9.000 km para las motonetas. Los motores de cuatro tiempos normalmente no necesitan descarbonización. Bajaj también recomienda reemplazar las bujías de encendido cada 7.500 km para los motores de dos tiempos, y cada 10.000 km para los motores de cuatro tiempos. La descarbonización requiere principalmente de mano de obra, la cual es relativamente barata en las ciudades en desarrollo, lo que mantiene los costos de mantenimiento bajos.

No está claro si los costos de mantenimiento a largo plazo son mayores para los motores de dos tiempos que para los motores de cuatro tiempos. Los motores de cuatro tiempos tienen muchas más partes móviles (válvulas, árboles de levas, cadenas de temporizadores, bombas de aceite), que son relativamente caras porque tienden a venderse por los fabricantes de los vehículos. En cambio, los repuestos para motores de dos tiempos son vendidos por un gran número de vendedores de repuestos. Los costos de la mano de obra para hacer el mantenimiento de los



motores de cuatro tiempos también son mayores debido al mayor nivel de instrucción requerido. Sin embargo, las puestas a punto del motor para motores de dos tiempos son más caras. Puestas a punto menores del motor, que no se requieren normalmente en los motores de cuatro tiempos, son típicamente exigidas cada 30.000 km para los motores de dos tiempos. Puestas a punto mayores, que se pueden necesitar también en motores de cuatro tiempos, son exigidas cada 90.000 km para los vehículos de tres ruedas con motor de dos tiempos.

Programas de repotenciación

La repotenciación de dispositivos de control de emisiones tales como convertidores catalíticos en vehículos a gasolina o filtros de partículas en vehículos diesel ha sido realizada exitosamente en algunos países. No ha habido muchos programas de repotenciación exitosos para vehículos de dos y tres ruedas excepto aquellos para convertir vehículos de tres ruedas a la operación con GNC o GLP. Recientemente, 'Envirofit', una organización sin fines de lucro, ha estado realizando un innovador programa en la ciudad india de Pune donde los auto-rickshaws con motores de dos tiempos son repotenciados con un kit de Inyección Directa en lugar del carburador original. Los resultados obtenidos durante la operación normal de tres auto-rickshaws durante un período de seis meses han mostrado

Fig. 14
Prácticas inapropiadas de lubricación llevan a altas emisiones de humo blanco de las motocicletas de dos tiempos.

Karl Fjellstrom,
diciembre 2001,
Kuala Lumpur

Recuadro 4: Programas de conversiones de combustible para los vehículos de dos y tres ruedas

- Los combustibles alternativos y las tecnologías vehiculares avanzadas ofrecen oportunidades de reducciones significativas en las emisiones de los vehículos de dos y tres ruedas y aumento de la eficiencia. Los diferentes combustibles alternativos y tecnologías están en varias etapas de desarrollo, y cada uno tiene características únicas de rendimiento y emisiones.
- Los vehículos de dos ruedas no se consideran como candidatos atractivos para la conversión hacia combustibles alternativos, y hasta el momento ha habido muy pocos esfuerzos exitosos para convertir estos vehículos con la notable excepción de las motocicletas eléctricas.
- Respecto de los vehículos de tres ruedas, las conversiones a GLP y GNC han sido ya bien establecidas como una tecnología viable. Por ejemplo, los tuk-tuks de Bangkok han estado funcionando exitosamente con GLP durante muchos años. Los vehículos de tres ruedas están funcionando de forma bastante satisfactoria con GNC en India.
- Para bajar las emisiones de MP y HC, la mejor estrategia para los vehículos de tres ruedas es reemplazar los existentes motores de dos tiempos que funcionan con gasolina, por un motor de cuatro tiempos a GNC o GLP.
- La conversión de los vehículos de tres ruedas a GNC y/o GLP es principalmente un mercado nicho en la actualidad, con muy pocos vehículos afectados. El tamaño del mercado depende del número de vehículos de tres ruedas en un área local dada, además de la infraestructura de combustibles disponible.
- Los kits de conversión y sistemas de combustible alternativos tienen que estar sujetos a un proceso de aprobación tipo basado en los vehículos locales que estarán sujetos al cambio de combustible; también deberían llevarse a cabo buenos procedimientos de control de calidad durante la instalación de los kits.
- Un programa de conversión a combustibles alternativos necesita de un eficaz programa de prueba en uso para asegurar que las conversiones individuales estén hechas adecuadamente, y que los vehículos sean posteriormente mantenidos y usados de forma apropiada.
- Un programa de conversión a combustibles alternativos requiere que el gobierno se involucre para garantizar la seguridad de los vehículos modificados, así como del sistema de llenado. Más allá de la seguridad, el gobierno tiene la responsabilidad de asegurar que se proporcione una adecuada infraestructura de combustibles. Esto incluye asegurar que haya suficiente oferta de combustible, que sea ampliamente distribuido a través del área geográfica afectada, y que las estaciones de combustible tengan un diseño apropiado para asegurar el llenado rápido de los vehículos individuales que se presenten.
- Hay una gran necesidad de mejora de la coordinación dentro del gobierno, y entre el gobierno y el sector energético así como la industria automotriz, para desarrollar políticas comprensivas sobre combustibles alternativos.
- Un impedimento principal para el uso de combustibles alternativos es la necesidad de proporcionar infraestructura de llenado. Los gobiernos y la industria energética necesitan desarrollar políticas realistas acerca del desarrollo de infraestructura de llenado y la industria de servicios soporte necesaria.
- Para facilitar la introducción de combustibles alternativos, deberían atenderse simultáneamente consideraciones técnicas y financieras (tarificación).
- La toma de decisiones acerca de los combustibles alternativos debería basarse en un análisis del ciclo de vida desde el pozo hasta la rueda. Los resultados de esta evaluación deberían aplicarse a una estructura de políticas que integre consideraciones energéticas, de transporte y ambientales.
- La formulación de políticas sobre combustibles alternativos debería enfocarse inicialmente en aquellos combustibles como GLP y GNC, que están más preparados para un uso a gran escala.
- El impacto de emisiones de los combustibles alternativos en un área urbana depende en gran medida de la tecnología del motor o del vehículo utilizada, y del estado de mantenimiento del vehículo. Como regla general, los motores construidos a propósito para el uso exclusivo de GNC o GLP son generalmente más limpios, más seguros y más eficientes que los motores que han sido modificados.

Synthesis, Taller Regional, 2001,
<http://adb.org/vehicle-emissions>

una reducción del 35% en el consumo de combustible, una reducción del 54% en el consumo de aceite, una reducción del 61% en CO, y una reducción del 74% en HC+NO_x (Nathan, 2008). Estudios anteriores realizados por Envi-rofit en Filipinas involucrando a los triciclos mostraron mejoras similares en la eficiencia de combustible y reducción en emisiones de CO, hidrocarburos y NO_x (Tim, Nathan, Bryan, 2004). A causa del gran beneficio para la eficiencia de combustible, la repotenciación, a pesar de su alto costo, podría ser una propuesta atractiva para los vehículos de tres ruedas en uso. Actualmente hay trabajo en progreso para la publicación de un módulo del texto de referencia sobre tecnologías y métodos de repotenciación.

3.5 Alternativas para los motores a gasolina de dos tiempos

Las alternativas de vehículos y de combustibles para los motores a gasolina de dos tiempos pueden reducir las emisiones de escape. Estas alternativas más limpias incluyen motores de cuatro tiempos y motores potenciados por gas licuado de petróleo, gas natural comprimido y electricidad.

Los vehículos GLP, GNC y eléctricos son analizados solo en breve, ya que estas alternativas son discutidas con más detalle en el Módulo 4a: *Combustibles y Tecnologías Vehiculares Más Limpias*, y en el Módulo 4d: *Vehículos a Gas Natural*. Además, una sección de este módulo también trata los impactos ambientales de las bicicletas eléctricas en China.

Motores a gasolina de cuatro tiempos

Los vehículos de cuatro tiempos tienen importantes ventajas por sobre los vehículos de dos tiempos. Estas incluyen:

- Economía de combustible muy mejorada.
- Mucha menos contaminación (MP, HC, CO₂, pero emisiones más altas de NO_x) – «etiqueta de producto verde» para contaminación local y global.
- Mucho menos ruido.
- Las motocicletas de cuatro tiempos que están en el mercado no son mucho más caras que las versiones comparables de dos tiempos. (El costo de un motor de cuatro tiempos es

alrededor de un 15% más alto que el costo de un motor comparable de dos tiempos, aunque esto generalmente no se ve reflejado en los precios de mercado de los productos, debido a condiciones competitivas.)

■ Tecnología establecida.

Si se retiene la gasolina como el combustible elegido, reemplazar los vehículos de dos tiempos con vehículos de cuatro tiempos reduciría de manera significativa las emisiones de hidrocarburos (Figura 14) y de material particulado (Figura 15). Las emisiones de óxido de nitrógeno, sin embargo, se incrementarían.

No hay pérdidas de barrido en los motores de cuatro tiempos; un porcentaje mucho mayor del combustible es combustionado en la cámara de combustión, lo que produce una eficiencia del combustible de 10 a 20% mayor (Cuadro 5).

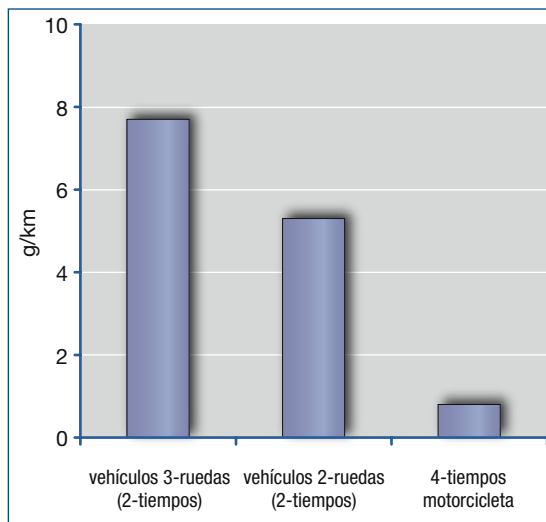


Fig. 15 Factores de emisiones para los hidrocarburos: vehículos de 2 tiempos versus 4 tiempos.

Shah, 2001

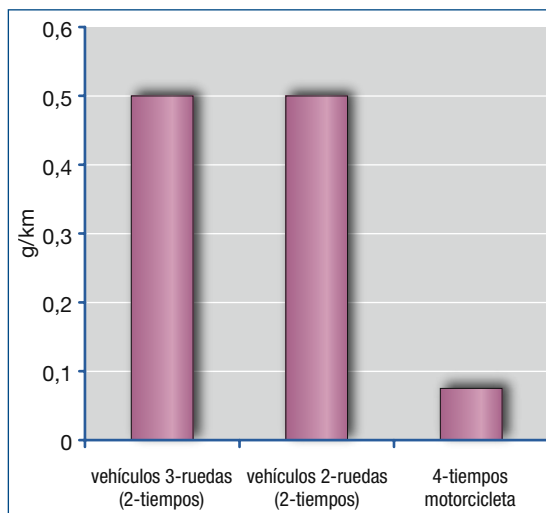


Fig. 16 Factores de emisiones para particulados finos (MP₁₀): vehículos de 2 tiempos versus 4 tiempos.

Shah, 2001

Cuadro 5: Economía de combustible de los vehículos con motor de 2 tiempos y de 4 tiempos

Tipo de vehículo	Tipo de motor	Año del modelo	Tamaño del motor (cm ³)	Prueba de laboratorio economía de combustible (km/l)	Economía de combustible en la carretera (km/l)
Motoneta	2-tiempos	Post-1996	150	55	52
Motoneta	4-tiempos	Post-1996	150	62	59
Vehículo de 3-ruedas	2-tiempos	Pre-1996	150	24	20
Vehículo de 3-ruedas	2-tiempos	Post-1996	150	28	25 – 27
Vehículo de 3-ruedas	4-tiempos	2000	175	33	30 – 31

Fuente: Banco Mundial 2000, de una prueba ARAI de vehículos Bajaj que usan el ciclo de conducción de India; pruebas de laboratorio Bajaj; estimaciones ARAI y Bajaj para economía de combustible en carretera.

Los ahorros de una mejor economía de combustible fácilmente compensarían el mayor precio de adquisición de los vehículos con motor de cuatro tiempos, haciendo de esto una forma potencialmente rentable para reducir la contaminación.

Los vehículos de dos ruedas con motor de cuatro tiempos han estado ya un tiempo en el mercado. Todas las motocicletas que se venden en Estados Unidos son de diseño de cuatro tiempos. Mishuk en Bangladesh ha estado vendiendo vehículos de tres ruedas con motor de cuatro tiempos por varios años. Los vehículos de tres ruedas con motor de cuatro tiempos no estaban disponibles en India hasta mediados del 2000, cuando Bajaj Auto comenzó a ponerlos en el mercado. Los vehículos de tres ruedas modelo año 2000 están equipados con convertidores catalíticos de dos y cuatro tiempos. Los precios de vitrina fuera de Delhi al momento del lanzamiento eran de INR 66.579 para vehículos de tres ruedas con motores de dos tiempos y INR 70.463 para los de motores de cuatro tiempos, con una diferencia de precios de INR 3.884 (USD 88). Aunque los precios reales de estos vehículos pueden haber sufrido cambios a través de los años, el costo incremental del vehículo de cuatro tiempos por sobre el vehículo de dos tiempos estaría en la misma proporción. Este aumento de costo es fácilmente recuperado en ahorros de combustible en menos de un año por los operadores de los auto-rickshaws con motor de cuatro tiempos.

Los vehículos de tres ruedas diesel tienen incluso una eficiencia mayor de combustible que los vehículos de gasolina con motor de cuatro tiempos. Además, debido a que están basados en un diseño de motor de cuatro tiempos, no es necesario agregar lubricante al combustible. Los

vehículos diesel de tres ruedas en India también están fabricados para cumplir con estándares de emisión de material particulado. Sin embargo, recientemente se ha encontrado que el escape del diesel es más tóxico de lo que se creía anteriormente. Y los vehículos de tres ruedas diesel son considerablemente más ruidosos que los vehículos de tres ruedas a gasolina. Por lo tanto, los motores diesel posiblemente no son una buena alternativa a los motores a gasolina de dos tiempos.

Vehículos a Gas Licuado de Petróleo

El Gas Licuado de Petróleo (LPG) es una mezcla de hidrocarburos livianos, principalmente propano/propeno y butano/butenos. Es más fácil de distribuir y de almacenar que el gas natural comprimido, licuado a presiones de 4 – 15 bar.

El GLP es un combustible automotor mucho más limpio que la gasolina. Si los vehículos GLP (o GNC) están basados en un diseño de motor de dos tiempos, el lubricante todavía necesitará ser medido e inyectado en la cámara de combustión. De ese modo, compensará parcialmente las reducciones de emisiones logradas como resultado del reemplazo de la gasolina con un combustible gaseoso. Ya que el lubricante no puede ser pre-mezclado con GLP, es medido dentro del motor del vehículo, eliminando la posibilidad de sobrelubricación. El GLP también contiene menos hidrocarburos altamente reactivos y tiene un menor contenido de azufre que la gasolina o el combustible diesel. El GLP contiene olefinos livianos, hidrocarburos altamente reactivos que aumentan las emisiones y bajan el radio de compresión con golpeteo limitado, disminuyendo el rendimiento del motor.

Los vehículos de tres ruedas GLP, llamados 'tuk-tuks', son ampliamente usados en Tailandia. Hasta el año 2000, el uso de GLP como un combustible de vehículos era ilegal en India, debido a que se usa en gran cantidad como un combustible de cocina y tiene un gran subsidio de parte del gobierno. Sin embargo, el Gobierno de India ha permitido desde entonces el uso de GLP como un combustible automotor, y está haciendo esfuerzos para popularizar su uso como una alternativa ambientalmente limpia. Todas las principales compañías de petróleo en India, la mayoría de ellas de propiedad del gobierno, han redactado planes para instalar estaciones de dispensado de GLP en las principales ciudades del país. Aunque no es tan bueno como el GNC, el GLP tiene características superiores anti-golpeteo (anti-knock) en comparación con la gasolina. El propano tiene un índice de anti-golpeteo de 104 (el promedio de números de octanaje de motor y de investigación), lo que permite que los motores a GLP operen a radios de compresión levemente mayores que los vehículos a gasolina. Un número de octanaje de motor mínimo de 88 se especifica para el GLP de manera de asegurar esto.

Aunque es técnicamente factible usar GLP como combustible en vehículos de dos ruedas, la cantidad de GLP que puede llevarse a bordo es menor que la cantidad de combustible líquido en términos de contenido de energía. Esto impone una restricción en la autonomía del vehículo, que requiere cargas de combustible más frecuentes. Esta limitación es particularmente severa en vehículos de dos ruedas como ciclomotores y motocicletas, pero es menos severa en motonetas que están provistas con un espacio de depósito.

Los principales problemas en la introducción de GLP en el sector del transporte en muchas ciudades en desarrollo son la falta de suficientes fuentes domésticas de oferta y el insuficiente sistema de distribución, además de la falta de inversión en estaciones de llenado. Pakistán y Sri Lanka importan alrededor del 30 – 40% del consumo de GLP. En India, la producción doméstica actualmente solo iguala el consumo como combustible de cocina, y la mayoría del GLP automotor tiene que ser importado. También hay una necesidad para invertir en el equipamiento de llenado requerido para transferir



GLP presurizado desde los estanques de almacenamiento a los vehículos y asegurarse de que no escape GLP durante el llenado.

Vehículos a Gas Natural Comprimido

Cambiarse a GNC reduce las emisiones de material particulado y de hidrocarburos de manera significativa. La combustión de GNC tampoco produce esencialmente nada de compuestos orgánicos volátiles o emisiones de óxido de azufre. Además, ya que el gas natural es más liviano que el aire, si escapa no quedará en el suelo ni entrará a los sistemas de alcantarillado. Sin embargo, la distribución y el almacenaje de GNC son costosos, necesitando una compresión de aproximadamente 200 bar.

Tanto Bangladesh como Pakistán están pilotando el uso de vehículos a GNC. En Bangladesh un programa piloto financiado por la Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional convirtió cuatro vehículos de tres ruedas a mediados del 2000; para septiembre de 2002 se habían efectuado más de 2000 conversiones (Clean City Vehicles Workshop, IEA, París, 24–25 sept. 2002). En Pakistán, un programa financiado por donantes planea probar de 10 a 30 vehículos en Karachi, Lahore y Quetta. En ambos programas se estima que un estanque de GNC tiene un alcance de cerca de 100 km. Bajaj Auto, en India, ha desarrollado vehículos de tres ruedas a GNC basados en un diseño de motor de cuatro tiempos, que fue lanzado a mediados de 2000. El vehículo ha estado

Fig. 17

Los tradicionales tuk-tuks de Bangkok ahora funcionan con GPL.

Karl Fjellstrom, 2001

desde entonces en producción en serie. Más de 38.000 de estos vehículos están funcionando en la ciudad de Delhi y 15.000 en la ciudad de Mumbai. Aproximadamente 10.000 de estos vehículos también operan en Dhaka, Bangladesh.

Como es el caso con GLP, el uso de CNG como combustible para vehículos de dos ruedas impone una limitación a la autonomía del vehículo. Esta restricción es más severa que para el GLP dado que el GNC es guardado a presión de 200 bar en forma gaseosa y la cantidad en términos de energía equivalente es incluso menor que la del GLP.

Se pueden producir vehículos para funcionar con GNC y gasolina. Ya que no están optimizados para una operación dedicada al GNC, sin embargo, tales vehículos hacen un uso menos eficiente de GNC, perdiendo alrededor de un 10 – 15% de su salida. También se pierde eficiencia como resultado del peso extra de llevar dos sistemas de combustible.

El metano, que constituye la mayor parte del GNC, tiene un índice anti-golpeteo de más de 120. Los vehículos que funcionen con GNC pueden de este modo sacar ventajas del alto número de octanaje del combustible y operar a una alta razón de compresión. En la práctica, la composición del gas natural de cañería varía, dependiendo de la fuente y el procesamiento del gas, además de la época del año. Como resultado, no solo varía el número de octanaje del combustible, sino que también el valor de capacidad de calentar puede variar hasta un 25%, lo que afecta el rendimiento del vehículo. Además, cuando se usa como combustible en vehículos, los hidrocarburos más pesados del gas natural pueden condensarse y revaporizarse, lo que afecta el nivel de enriquecimiento del combustible. Los cambios en el nivel de enriquecimiento del combustible afectan tanto a las emisiones como al rendimiento del motor. El contenido de agua del gas natural también es una fuente de preocupación, debido a su tendencia a formar hidratos sólidos y corroer las cañerías de transmisión, los estanques de almacenamiento del vehículo y las estaciones de llenado.

La viabilidad a largo plazo de los vehículos a GNC depende de una favorable atmósfera legislativa y de ordenanzas y de que los precios de

combustible no sean distorsionados por subsidios. Los esfuerzos para fomentar la adquisición de vehículos a GNC a través de la subsidiación son insostenibles – como lo ilustra el intento fallido de Nueva Zelanda para fomentar la conversión a GNC. El programa agresivo de Nueva Zelanda consistente en incentivos financieros, incluyendo subsidios, llevó a la conversión de 110.000 vehículos hacia el gas natural entre principios de la década de 1980 y 1986. Cuando el gobierno quitó su apoyo, sin embargo, el mercado de los vehículos a GNC murió: hoy solo aproximadamente 10.000 de esos vehículos permanecen en las calles. Como observa la Asociación Internacional para Vehículos a Gas Natural:

Los gobiernos que creen que todo lo que se necesita es un acicate de dos a tres años están desperdiciando su tiempo y dinero (Cumming, 1997 en Banco Mundial, 2000)

Para que la conversión al gas natural tenga un sentido económico, el precio minorista del GNC necesita caer a cerca del 55 – 65% del costo del combustible que se tiene que reemplazar. Sin precios consistentemente menores, la promoción de los vehículos a GNC no será sostenible. Pero los gobiernos tienen un desincentivo para reducir el precio del GNC, ya que esto reduciría sus ingresos por el concepto de impuestos cuando los consumidores se desplacen desde los combustibles (con impuestos) hacia el GNC (esencialmente sin impuestos).

«Los gobiernos que creen que todo lo que se necesita es un acicate de dos a tres años están desperdiciando su tiempo y dinero.»

Cumming, 1997 en Banco Mundial, 2000

En países como India, que pronto comenzarán a importar gas natural líquido a gran escala (una fuente de gas natural en el futuro), sería difícil mantener los precios del GNC mucho más bajos que los precios de la gasolina si los precios mundiales del petróleo crudo cayeran de manera marcada. Los recientes descubrimientos de grandes depósitos de gas natural en la cuenca de Krishna-Godavari fuera de la costa este del país, que pueden comenzar producción en los

próximos años, podrían, sin embargo, cambiar radicalmente la estructura de precios de GNC y los planes de importación de GNL.

Por el contrario, Bangladesh, que tiene grandes reservas de gas natural y extensas redes de cañerías de gas en ciudades grandes, podría introducir GNC en el sector del transporte sin comprometer otras necesidades de la economía. Sin embargo, el gas natural está de hecho subsidiado en Bangladesh. En 1998 se estimaba que el precio del gas natural promediaba cerca de 25% menos que su costo de oportunidad económica. Una vez que el sector del gas esté reestructurado para reflejar los precios de mercado, las economías de los vehículos a GNC se harán menos favorables de lo que son hoy – algo que debe considerarse al evaluar un programa de vehículos a GNC.

Características de emisiones de vehículos que operan con GNC y GLP

A menudo se cree que el uso de GNC y GLP en los motores ayuda a reducir significativamente la mayoría de las emisiones. Los resultados reales, sin embargo, dependen del tipo de motor. Las emisiones de MP e hidrocarburos se reducen significativamente cuando un motor diesel es convertido para operar con GNC o GLP. Sin embargo, las mejoras son limitadas cuando un motor original a gasolina es convertido para operar con estos combustibles gaseosos. Las emisiones características comparativas de los auto-rickshaws en India que utilizan alternativamente GNC, GLP y gasolina se muestran en la Figura 18 (Iyer, 2004). La versión a gasolina fue adaptada con un convertidor catalítico. Se ve que hay una reducción de alrededor del 20% en la emisión de CO tanto con GNC como GLP en comparación con la operación a gasolina. Las emisiones de NO_x son cerca de un 30% más altas con GNC y GLP en comparación con la versión a gasolina. Las emisiones totales de hidrocarburos (THC) de hecho parecen aumentar. Sin embargo, las emisiones de ‘Hidrocarburos No-Metano’ (NHMC) son mucho más bajas con GNC que el THC de la versión a gasolina. En el caso del GLP, la emisión de ‘Hidrocarburos Reactivos’ (RHC, que se considera que son aproximadamente

la mitad del THC) es solo un poco más baja que la de la versión a gasolina. Considerar solo NHMC se justifica desde el punto de vista de los efectos sobre la salud de la contaminación local, a pesar de que el metano es un potente gas de efecto invernadero. La emisión de NHMC se determina sustrayendo el contenido de metano ya sea del gas de escape o del GNC. Considerar solo RHC puede justificarse al considerar que aproximadamente la mitad de los hidrocarburos volátiles emitidos por los vehículos a GLP son no reactivos, lo que significa que no participan en las reacciones fotoquímicas en la atmósfera que llevan a la formación de contaminantes secundarios. Sin embargo, no sería correcto asumir que la proporción no reactiva de los hidrocarburos emitidos por todos los motores a GLP es siempre la mitad.

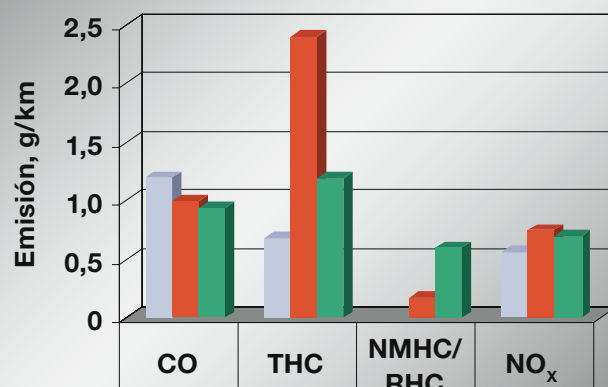
No hay datos disponibles sobre emisiones de MP ya que este contaminante no es medido rutinariamente en el caso de los vehículos con motor de encendido provocado.

Vehículos eléctricos

Los vehículos eléctricos de tres ruedas cuestan mucho más que los vehículos a gasolina, tienen menores autonomías, y funcionan con baterías que demoran desde 6 hasta 10 horas en recargarse. Hasta que los cambios tecnológicos hagan que estos vehículos sean más atractivos, no se

Fig. 18
Rendimiento comparativo de emisiones de los vehículos de tres ruedas con GNC y GPL en la India.

Iyer N. V.



	CO	THC	NMHC/RHC	NO _x
Gasolina 4-Tiempos+ CAT	1,20	0,68		0,56
GNC	1,00	2,40	0,17	0,75
GPL	0,94	1,19	0,60	0,70

NMHC: Hidrocarburos No-Metano
RHC: Hidrocarburos Reactivos

espera que tengan un papel importante en las ciudades asiáticas en desarrollo. Sin embargo, considerando su potencial, varios fabricantes de vehículos en India están haciendo importantes esfuerzos para desarrollar vehículos eléctricos de tres ruedas que puedan hacerse comercialmente viables en un futuro inmediato. Un programa indio de una asociación público-privada que involucra a la Agencia para el Desarrollo Internacional de EE.UU., New Generation Motors (una compañía que desarrolló el sistema de tren de conducción) y Bajaj Auto (un fabricante principal de vehículos de dos y tres ruedas en India) ha llevado al desarrollo de un promisorio vehículo eléctrico de tres ruedas. El vehículo usa un motor de corriente continua sin plumilla con imán permanente de flujo axial y un controlador que le da una eficiencia de sistema superior y, por lo tanto, una autonomía mayor.

Con una autonomía de más de 80 km por carga bajo las condiciones de operación reales en la ciudad, el vehículo tiene como objetivo la mitad de la población de ‘auto-rickshaws’ que operan típicamente por más o menos la misma distancia en un día de diez horas en las ciudades de India – la otra mitad tiene una autonomía operacional de 120 km. A través de detallados análisis de costos de ciclos de vida se ha observado que este vehículo podría hacerse comercialmente viable si el costo del sistema de conducción eléctrica y los accesorios puede producir un precio de venta que no sea más de un 25% mayor que el de el auto-rickshaw convencional. Puede ser posible lograr este objetivo de precio si se produce el vehículo en grandes cantidades. La intervención externa en forma de incentivos fiscales podría ayudar a sostener el vehículo en el mercado hasta que se alcancen volúmenes autofinanciados.

Los vehículos eléctricos actualmente operan con baterías de ácido de plomo. Cuando las baterías son cargadas en interiores, se necesita buena ventilación, ya que se emite hidrógeno a medida que se recargan. Unas estimaciones preliminares en India ponen el precio de las baterías en aproximadamente USD 40 – USD 50 por unidad para los vehículos de tres ruedas que operan con ocho baterías. Se espera que las ocho baterías y las modificaciones requeridas para el vehículo aumenten el costo de los vehículos de tres ruedas en alrededor de USD 1.000, de hecho

Recuadro 5: Convirtiendo los vehículos diesel de tres ruedas a tempos eléctricos en Katmandú

Un modo de transporte público importante es el Tempo, un minibús de tres ruedas para 10 pasajeros. Antes que el gobierno prohibiera los Tempos a diesel en Katmandú en 1999, cerca de 1.500 de estos vehículos operaban en la ciudad.

Un programa piloto para convertir Tempos diesel a la electricidad fue conducido en 1994 – 96 por el Global Resources Institute con el apoyo de la Agencia para el Desarrollo Internacional de EE.UU. Los Tempos eléctricos en el programa piloto, llamados Tempos Safa (limpios), tenían un alcance de operación de 50 km y una velocidad máxima de 45 km/h. Sus baterías pesaban 360 kg, de manera que cuando el vehículo estaba lleno operaba muy cerca de su carga máxima. Los frenos también operaban muy cerca de sus límites de diseño.

Para permitir que los vehículos viajaran 150 km al día, se usaron tres sets de baterías. Se establecieron paradas especificadas para captar y desembarcar pasajeros – un nuevo concepto en Nepal – de manera que los vehículos pudieran operar en un horario. Los Tempos Safa son más limpios y más silenciosos que los Tempos a diesel, y la aceptación de parte del público de estos vehículos ha sido alta. La demanda de los pasajeros a menudo sobrepasaba el espacio disponible durante el período piloto.

En la actualidad, más de 600 Tempos Safa operan en Katmandú. La mayoría de estos son usados para el transporte público a lo largo de 17 rutas. La industria de vehículos eléctricos en Nepal consiste en 5 fabricantes, 37 estaciones de carga y varios cientos de dueños de vehículos. Sin embargo, debido al costo de operación de un Tempo Safa, que es mayor que el de los vehículos de tres ruedas operados con gasolina o GLP (64% y 88% mayor, respectivamente), los empresarios luchan por sobrevivir. Los altos costos operacionales de los vehículos eléctricos se deben principalmente a la alta tarifa de la electricidad y al alto costo de la batería.

Basado en Kojima *et al.*, 2000, actualizado de IEA Clean Vehicles Workshop, Paris, 24–25 septiembre de 2002, paper de Clean Energy Nepal, <http://www.cen.org.np>.



Fig. 19

Un vehículo de tres ruedas eléctrico «Ecorick» desarrollado bajo el programa IZET que opera en Agra. El Taj Mahal es un monumento de fama mundial en Agra. Ningún vehículo con motor de combustión interna tiene permiso para circular en la vecindad del monumento, para protegerlo de la contaminación vehicular. El vehículo ha sido especialmente desplegado para los visitantes que tengan problemas físicos. Unos pocos de estos vehículos han estado funcionando con éxito en Agra en los dos últimos años para transportar a los turistas a varios monumentos.

Cortesía de N. V. Iyer

duplicando el precio de los vehículos en relación con los vehículos tres ruedas a gasolina en India.

La viabilidad económica de los vehículos eléctricos depende en parte del precio de la electricidad. El sector de la energía en muchos países en desarrollo está siendo reformado y reestructurado. La viabilidad a largo plazo de los vehículos eléctricos debería ser evaluada basándose en la tarifa de mercado de la electricidad.

Normalmente se cree que los vehículos eléctricos que usan tecnologías convencionales no tendrán aplicaciones generalizadas en países en desarrollo en el sur y el sudeste de Asia. China ha probado ser una excepción con el rápido crecimiento en la popularidad de pequeños vehículos de dos ruedas operados a batería. Se estima que la producción anual de vehículos de dos ruedas eléctricos en China era de más de 20 millones en 2007. Estas bicicletas funcionan con un motor eléctrico de 250 watts, tienen una velocidad máxima limitada de 20 km por hora y una autonomía de 50 a 60 km con una carga. Estos vehículos vienen como 'tipo bicicleta' o 'tipo motoneta'. Se han comenzado a vender bicicletas eléctricas de diseño simular en India con cerca de 22.000 unidades vendidas en el año 2006. (Fuente: The Indian Automobile Industry, Statistical Profile 2007–2008), Society of Indian Automobile Manufacturers (SIAM))

Los vehículos de tres ruedas eléctricos podrían tener un papel útil pero limitado en corredores de tráfico extremadamente contaminados. En Katmandú, Nepal, por ejemplo, los Tempos eléctricos se introdujeron en 1994 (ver Recuadro 5). En 1995 el gobierno redujo los impuestos a la importación de los componentes eléctricos del vehículo de un 60% a un 5%, y los impuestos sobre los vehículos eléctricos totalmente ensamblados de un máximo de 150% a un 10%. A comienzos del año 2000, cerca de 500 Tempos eléctricos operaban en Katmandú, parcialmente como respuesta a la prohibición sobre los Tempos a diesel impuesta por el gobierno en 1999. Siete plantas ensamblaron más de 200 Tempos eléctricos en 1999. Esta es la flota más grande del mundo de vehículos eléctricos de transporte público de pasajeros. El futuro no es seguro, sin embargo, ya que el gobierno aprobó en mayo de 2000 la importación de 300 vans con capacidades de 15 asientos con los mismos impuestos preferenciales a la importación acordados para los vehículos eléctricos.

3.6 Opciones de políticas

Una amplia gama de herramientas de políticas están disponibles para los gobiernos nacionales y municipales en ciudades en desarrollo. Esta sección esboza las políticas que apuntan hacia los vehículos en uso (ver Recuadro 6), así como a los vehículos nuevos.

Estándares

En respuesta a estándares nacionales más estrictos que aquellos de la Unión Europea, los fabricantes de vehículos de India han hecho cambios al diseño del motor que han reducido el nivel de emisiones y aumentado la economía de combustible. Las pérdidas por expulsión han sido constantemente reducidas, y en el año 2000 se instalaron convertidores catalíticos por primera vez.

Los estándares de emisiones para los vehículos de dos ruedas difieren notablemente. Los estándares de emisiones en India y Taiwán (China) están hoy entre los más estrictos del mundo, reflejando la preocupación de las autoridades por controlar las emisiones de vehículos que son numerosos y populares debido a su accesible precio y facilidad de maniobra.

Las emisiones de modelos recientes a dos tiempos han disminuido en forma notable como resultado de las mejoras tecnológicas. En Taiwán (China) –que tiene el número más

grande de vehículos de dos ruedas per cápita en el mundo– los estándares de emisión se han endurecido de forma significativa. Los estándares más recientes fueron adoptados el 1 de julio de 2007 y tienen los mismos límites que los estándares Euro 3 para motocicletas (Cuadro 6). Los estándares de emisiones en Taiwán (China) también controlan el humo visible; la opacidad del humo está limitada a un 15% para los vehículos nuevos y a un 30% para los vehículos en uso.

En India, los fabricantes de vehículos se enfrentaron con el desafío de cumplir estándares de emisiones más severos en 1996 sin usar convertidores catalíticos, los que no podían ser usados porque la gasolina sin plomo no estaba ampliamente disponible en India en ese entonces (Cuadro 7). Los fabricantes tenían que depender solamente de mejoras en la tecnología del motor para cumplir con los límites de emisiones exigidos. Hoy, como resultado de continuos avances tecnológicos, incluyendo la instalación de convertidores catalíticos, los nuevos vehículos de dos y tres ruedas fabricados en India emiten menos del 8% del monóxido de carbono y menos del 18% de los hidrocarburos y óxidos de nitrógeno emitidos por vehículos fabricados en 1991. Como en Taiwán (China), los estándares de emisiones en India son progresivamente más severos (Cuadro 8).

Cuadro 6: Límites de emisiones para las motocicletas¹⁾ en Taiwán, China

Condición de prueba del motor		Contaminante	1 enero 2004	1 enero 2004	1 julio 2007	1 julio 2007
			2-tiempos (prueba fría)	4-tiempos (prueba fría)	<150 cc (prueba fría)	>150cc (prueba fría)
Nuevo	Prueba de ciclo de conducción	CO, gr/km	7,0	7,0	2,00	2,00
		HC, gr/km	na	na	0,80	0,30
		NO _x , gr/km	na	na	0,15	0,15
		HC + NO _x , gr/km	1,0	2,0	na	na
En-use	Prueba marcha al vacío	CO, (%)	3,0	3,0	3,0	3,0
		HC, ppm	2.000	2.000	1.600	1.600
En-use	Al vacío	CO, (%) ²⁾	3,5	3,5	3,5	3,5
		HC, ppm	2.000	2.000	2.000	2.000

Fuente: Iyer N. V. «Management of In-Use Motorcycle Emissions – the Indian Experience» Workshop sobre Control de las Emisiones de las Motocicletas: experiencia Vietnamita e internacional, Hanoi, Vietnam, 6 de marzo de 2007, <http://www.theicct.org>

Note: Los valores promedio de los motores probados en frío de CO y HC + NO_x eran de 2,5 veces aquellos de los valores de los motores probados en caliente.

¹⁾ Incluye motonetas y bicicletas con motor.

²⁾ Límites para las condiciones de prueba con motor caliente.

Recuadro 6: Estándares para vehículos de dos y tres ruedas

Las emisiones de vehículos se pueden regular a través de estándares para los nuevos vehículos, además de estándares en uso para los vehículos que estén ya en las vías.

Estándares para los vehículos nuevos

- Los estándares para vehículos nuevos (basados en un proceso de aprobación tipo) tienden a ser la principal fuerza impulsora para estimular la introducción de tecnologías de vehículos más limpias. La experiencia ha demostrado, tanto dentro como fuera de Asia, que éste es el método más eficaz para reducir las emisiones promedio a lo largo del tiempo. Actualmente hay una cantidad de países asiáticos que han aprobado estándares de aprobación tipo para los vehículos de dos ruedas y en algunos casos también para los de tres ruedas. En la mayoría de estos casos, los estándares han seguido estándares europeos o ECE (ECE 40, 40.01, o 47).
- La Unión Europea y los EE.UU. han endurecido paulatinamente sus estándares de emisiones para vehículos de dos ruedas. El tamaño del motor de las motocicletas en estas regiones es generalmente mucho mayor, y la contribución de las motocicletas a la contaminación del aire es menor que en Asia. El control de este tipo de vehículos en Europa y EE.UU., por lo tanto, no es una prioridad tan alta, como sí lo debería ser en Asia.
- Se recomienda que todos los países adopten estándares de aprobación tipo para los nuevos vehículos de dos y tres ruedas. A la luz de la gran población de vehículos de dos y tres ruedas en la región y su contribución a la deteriorada calidad del aire, los requerimientos ECE actuales no son considerados suficientes para proteger la salud de los ciudadanos de las ciudades asiáticas. Algunos países, como India y Taiwán (China), ya han implementado estándares más severos. Otros países en la región asiática también van a tener que ir más allá de los estándares ECE, y deberían considerar pasar de un salto a los estándares de emisiones adoptados por India y Taiwán (China). Esto debería incluir una prueba de partida en frío y requerimientos para los motores de dos tiempos que sean tan estrictos como aquellos para los motores de cuatro tiempos.
- Los países con serios problemas de MP deberían considerar el desarrollo de un estándar

específico de MP para los vehículos de dos y tres ruedas. La adopción de un estándar específico para MP debería estar basada en ciencias sólidas que usen métodos de medición confiable de MP, y ser resultado de un proceso abierto y transparente que involucre a todos los interesados.

- Para minimizar el costo total del desarrollo y la implementación de estándares estrictos de aprobación tipo para los vehículos de dos y tres ruedas, se recomienda que los países se unan y armonicen las normas para estos vehículos. Esto no significa que todos los países deban tener los mismos estándares en el mismo marco de tiempo. También deberían adoptarse estándares para vehículos mejorados respetuosos con el ambiente, que reflejen los menores niveles tecnológicamente factibles; los vehículos que cumplan con tales estándares deberían ser apoyados a través de incentivos fiscales u otros. Adicionalmente, se debería considerar una metodología de dos etapas para adoptar estándares con una temprana introducción del segundo paso, usando incentivos fiscales u otros. En el desarrollo de estándares regionales armonizados, la industria regional puede tener un importante papel.
- Se sugirió que un proyecto común de motor de motocicletas, basado en un desarrollo e intercambio de tecnología, se estableciera para compartir conocimientos técnicos; posteriormente, esto podría llevar a estándares de emisiones comunes o armonizados. Tales esfuerzos tienen que ser iniciados por la industria regional de motocicletas.

Vehículos en uso

- A pesar de la importancia de los estándares para los vehículos nuevos de dos y tres ruedas, tienen que ser complementados por requerimientos en uso comparables, para asegurar que los objetivos pretendidos de reducción de emisiones sean realmente logrados. Los estándares en uso tienden a asegurar que los vehículos sean mantenidos y usados adecuadamente para asegurar los máximos beneficios de las tecnologías de emisiones instaladas al momento de la producción.
- Pueden usarse severos estándares en uso para forzar a los vehículos antiguos y más contaminantes a ser retirados o alejados de los puntos conflictivos; los estándares en uso se deberían basar en una cuidadosa selección de los procedimientos de pruebas apropiados





que identifiquen con exactitud a los contaminadores flagrantes.

- Los estándares en uso típicamente regulan el CO bajo condiciones de marcha al vacío. Ciertos países también regulan el humo (opacidad) y/o HC, ambos son componentes adicionales útiles de una estrategia en uso.
- Después de adoptar estándares de emisiones de MP para vehículos nuevos, los países de la región asiática deberían adoptar también requerimientos de MP para los vehículos en uso utilizando métodos confiables.
- En varios países hay categorías de vehículos únicas, por ejemplo, el triciclo motorizado en las Filipinas, que es una versión modificada de un vehículo de dos ruedas. Estos vehículos se usan de maneras que cambian sus requerimientos de rendimiento y, por lo tanto, sus características de emisiones, siendo esto un problema que tiene que ser enfrentado. Exigir que continúen cumpliendo con los requisitos de emisiones en uso del vehículo original puede ayudar a lograrlo. Alternativamente, un estándar en uso modificado podría desarrollarse e imponerse.

- La responsabilidad para emitir estándares de emisiones para los vehículos nuevos típicamente recae en el gobierno nacional. Tanto el gobierno nacional como el gobierno local pueden emitir estándares en uso. En el caso de este último, los estándares en uso emitidos no deberían ser menos estrictos que los requerimientos nacionales, y en algunos casos deberían ser más estrictos que los estándares nacionales.
- La experiencia de diversas partes del mundo ha demostrado la importancia de tener un sistema transparente para el desarrollo de estándares de emisiones que promueva una participación con amplia base en el desarrollo de estos estándares.
- Hay una falta de capacidad para la regulación, así como para la implementación de inspección y mantenimiento, para los vehículos de dos y tres ruedas en casi todos los países de la región. Esto obstaculiza la implementación de los estándares en uso.

Synthesis, Taller Regional, 2001
<http://adb.org/vehicle-emissions>

Cuadro 7: Estándares de emisiones para vehículos de 2 y 3 ruedas potenciados con gasolina en la India, 1991 - 2000 (gr/km)

Año	Vehículos de dos ruedas		Vehículos de tres ruedas	
	Monóxido de carbono	Óxidos de nitrógeno e hidrocarburos	Monóxido de carbono	Hidrocarburos y óxidos de nitrógeno
1991	12-15 ^a	8-9 ^{a,b}	30	12 ^b
1996	4,5	3,6	6,75	5,4
1998	4,5	3,6	6,75	5,4
2000	2,0	2,0	4,00	2,0
2005 ^c	1,5	1,5	2,25	2,0

Kojima *et al.*, 2000, de la Society of Indian Automobile Manufacturers

Nota: Las pruebas de los vehículos 1991 y 1996 estaban basadas en el ciclo de conducción cálido de la India. Las pruebas de 1998 y 2000 estaban basadas en el ciclo de conducción fría de la India.

^{a)} El estándar de emisiones depende de la masa referencial de vehículo.

^{b)} El límite aplicado a los hidrocarburos solamente y no a la suma de hidrocarburos y óxido de nitrógeno.

^{c)} Un factor de deterioramiento de 1,2 es aplicable. «La Emisión Observada» x 1,2 debe estar por debajo del límite.

Políticas basadas en las emisiones

Los formuladores de políticas públicas pueden hacer frente a la contaminación estableciendo objetivos de emisiones que los vehículos deben cumplir, o exigiendo tipos específicos de combustible o de tecnología vehicular con la esperanza de alcanzar los objetivos de emisiones. Las medidas basadas en las emisiones proporcionan mayor flexibilidad a los abastecedores de combustibles y vehículos, quienes pueden elegir las opciones de menor costo para cumplir con los objetivos de emisiones especificados. Mientras se pueda asegurar el cumplimiento, esta metodología generalmente es la opción de menor costo para la sociedad. Sin embargo, las medidas basadas en emisiones son frecuentemente más difíciles de monitorear que las opciones basadas en tecnología. Es probable que las opciones basadas en tecnología no sean una solución de bajo costo a menos que un riguroso análisis de costos y beneficios sea llevado a cabo, para identificar las tecnologías óptimas para cada situación específica.

La distinción entre políticas basadas en emisiones y basadas en tecnología no es necesariamente aguda, debido a que los estándares de emisiones vehiculares pueden ser hechos tan severamente que ellos de hecho definan el tipo de vehículo o combustible que deba usarse. Un ejemplo son los estándares de emisiones de 2003 en Taiwán (China), que establecen estándares de emisiones más duros para los motores de dos tiempos que para los motores de cuatro tiempos, prohibiendo de hecho los vehículos de dos ruedas a dos tiempos.

Las políticas basadas en emisiones establecen estándares de emisiones vehiculares y permiten que las industrias de automóviles y de petróleo busquen costos más bajos para cumplir con estos estándares.

Estándares de emisiones más estrictos aparentemente están empujando a los fabricantes en India a construir más vehículos con motor de cuatro tiempos, aunque el cambio en el perfil y las preferencias de los clientes también ha tenido un papel. En el año fiscal 2006-2007, los vehículos de dos ruedas de cuatro tiempos constituyeron más del 95% del total de las ventas domésticas anuales. Sin embargo, no tuvo lugar un cambio similar en el caso de los vehículos de

Cuadro 8: Límites de emisiones propuestos actuales y futuros para las motocicletas¹⁾ en India

Condición de prueba del motor		Contaminante	Actual (desde abril de 2000)	Propuesta (abril de 2005)	Propuesta (oct. 2008)
			2-, 4 tiempos (partida caliente)	2-, 4 tiempos (partida caliente)	2-, 4 tiempos (partida caliente)
Nuevo	Prueba de ciclo de conducción	CO, gr/km	2,0	1,5 ²⁾	1,0 ²⁾
		HC + NO _x , gr/km	2,0	1,5 ²⁾	1,0 ²⁾
	Prueba marcha al vacío	CO, (%)	4,5	3,5 ³⁾	3,5 ³⁾
		HC, ppm ⁴⁾	2-T: 6.000 4-T: 4.500	2-T: 6.000 4-T: 4.500	tbd ⁵⁾
En-use	Al vacío	CO (%)	4,5	3,5 ³⁾	3,5 ³⁾
		HC (ppm) ⁴⁾	2-T: 6.000 4-T: 4.500	2-T: 6.000 4-T: 4.500	tbd ⁵⁾

Cortesía de N. V. Iyer, 2004

¹⁾ Incluye motonetas y bicicletas a motor

²⁾ Un factor de deterioramiento de 1,2 es aplicable para la durabilidad de emisiones

³⁾ Límites para condiciones de prueba con motor caliente

⁴⁾ Aplicable desde 1 de octubre de 2004 para los vehículos fabricados después del 31 de marzo de 2000

⁵⁾ A decidirse

tres ruedas en India, aunque el costo incremental de comprar un vehículo de tres ruedas con motor de cuatro tiempos se recupera en un poco más de medio año. Suponiendo que los costos de mantenimiento sean comparables, reemplazar antiguos auto-rickshaws por nuevos auto-rickshaws con motor de cuatro tiempos es una forma rentable de reducir las emisiones de material particulado. La experiencia en India muestra que esto no pudo suceder solo a través de fuerzas de mercado y puede que solo sea posible a través de un mandato del estado acompañado por incentivos apropiados. La principal razón de la falta de éxito en el caso de los vehículos de tres ruedas es que estos vehículos son utilizados con propósitos comerciales y los dueños o conductores de vehículos prefieren un vehículo de construcción simple (como los vehículos de dos tiempos), barato y fácil de mantener.

Monitoreo de las emisiones

Mientras que revisar el cumplimiento de los nuevos vehículos puede que no sea difícil, monitorear el rendimiento de los vehículos en uso es un desafío mucho mayor. Como mínimo, un eficaz programa de inspección y mantenimiento

necesita implementarse, junto con un registro vehicular actualizado. Sin embargo, incluso cuando son implementados rigurosamente, la inspección y el mantenimiento tienen efectividad limitada ya que los dueños y mecánicos pueden ajustar temporalmente sus vehículos, especialmente los de tecnologías más antiguas, haciendo que pasen las pruebas de emisiones.

Una forma de asegurarse de que las emisiones cumplan consistentemente con los estándares es realizar inspecciones al azar a los vehículos en las calles. Sin embargo, tales pruebas son costosas en su implementación y administración e invitan a la corrupción.

Para aumentar la efectividad de los programas de inspección y mantenimiento, la frecuencia de la inspección podría variar con la edad del vehículo, además del número anual de kilómetros viajados. Los vehículos comerciales, como los de tres ruedas, podrían ser inspeccionados más frecuentemente que las motocicletas de uso particular.

La inspección frecuente es especialmente importante una vez que se han instalado catalizadores de oxidación. Si los catalizadores duran cerca de 30.000 km y los taxis son típicamente conducidos en dos turnos de 150 km al día, la inspección y reemplazo de los catalizadores sería necesaria dos veces al año.

La mayoría de los países en el sur y el sudeste de Asia no tienen un programa efectivo de Inspección & Mantenimiento (I&M) para los vehículos de dos y tres ruedas. La excepción más notable es Taiwán (China), que sigue un sistema de inspección descentralizado operado por un gran número de centros privados. El sistema es bastante efectivo debido al estricto monitoreo realizado por el gobierno vinculando a todos los centros privados a un sistema computarizado centralizado. Además, también se realizan revisiones sorpresa en la calle cada cierto tiempo.

India tiene el sistema de certificación «Contaminación Bajo Control» (PUC) aplicable a todos los tipos de vehículos en uso, incluyendo los de dos y tres ruedas. El sistema también es descentralizado, pero no muy eficiente. Hay varias deficiencias en el sistema; la más importante es la falta de una supervisión fuerte del gobierno. Otra debilidad es que la prueba en ralentí es inadecuada para asegurar el verdadero potencial

de contaminación del vehículo en uso. Automotive Research Association of India (ARAI) ha ideado una prueba bajo carga de bajo costo que podría ser utilizada efectivamente para este propósito (Iyer, 2007).

Reparación de vehículos que reprueban la inspección

La inspección de vehículos será ineficaz si los vehículos que fallan no son reparados prontamente. La disponibilidad de equipamiento adecuado y mecánicos entrenados es un prerrequisito para un exitoso programa de inspección y mantenimiento. Ya que los vehículos con motor de cuatro tiempos son más complejos y requieren mayor sofisticación mecánica al hacerles la revisión, el entrenamiento de los mecánicos debería tener alta prioridad en los siguientes años. Actualmente, hay una escasez de mecánicos que pueden hacer la revisión de vehículos de tres ruedas con motor de cuatro tiempos y vehículos que tengan una tecnología sofisticada en general, y también faltan talleres de reparaciones con herramientas de diagnóstico para hacer la revisión de tales vehículos.

En las situaciones en las que los vehículos no sean conducidos por sus dueños, los incentivos para las inspecciones y mantenimientos regulares, débiles en el mejor de los casos, son incluso más débiles, pues el dueño del vehículo, que es responsable de pasar la inspección, no tiene el vehículo la mayor parte del tiempo. Este dilema pone de relieve la importancia de encontrar formas de hacer cumplir los estándares de emisiones y hacer frente al incumplimiento, dado que ni los dueños ni los conductores tienen un incentivo para invertir su tiempo en hacer que sus vehículos operados comercialmente sean inspeccionados.

Políticas específicas de tecnología

Las medidas basadas en tecnología del combustible y del vehículo exigen que se adopte un mínimo de tecnología. Las políticas específicas de tecnología incluyen:

- Exigir lubricantes de mayor calidad para los motores de dos tiempos;
- Exigir la premezcla de la gasolina y el lubricante;
- Exigir la instalación de convertidores catalíticos;

- Prohibir los motores de dos tiempos;
- Prohibir (o dar incentivos para desarmar) los vehículos que han alcanzado una cierta edad o número de kilómetros viajados;
- Exigir o dar incentivos (créditos de impuestos, reducción de impuestos, eliminación de impuestos, o subsidios) para reemplazar los vehículos con motor a gasolina de dos tiempos por vehículos con motor de cuatro tiempos;
- Exigir o dar incentivos para reemplazar los motores a gasolina de dos tiempos por combustibles alternativos como gas licuado de petróleo, gas natural comprimido y electricidad;
- Exigir kits de repotenciación para reducir emisiones, tales como el kit de inyección directa de Envirofit.

Donde las políticas basadas en emisiones sean difíciles de monitorear, puede tener sentido adoptar algunas de estas políticas. Sin embargo, antes de que esto se haga, es imperativo que los formuladores de políticas públicas examinen la rentabilidad de cada opción. Tiene mucho más sentido exigir algunas medidas que otras. Prohibir la venta de lubricante suelto evitaría que el lubricante de menor calidad se adicione a la gasolina (ver Recuadro 7). Requerir que todos los vehículos de tres ruedas usen tecnologías de cuatro tiempos puede ser razonable dado las economías de combustible, siempre y cuando suficientes mecánicos sean entrenados para hacer la revisión de vehículos de tres ruedas con motor de cuatro tiempos.

En contraste, la razón para exigir convertidores catalíticos es mucho más débil, ya que

Recuadro 7: El rol de la Corte Suprema en Delhi

En julio de 1998, la Corte Suprema de India estableció varias medidas que afectaban a los vehículos de dos y tres ruedas en Delhi, como una forma de combatir la contaminación del aire:

1. Prohibir la venta de aceites 2T sueltos en las estaciones de combustible y los garajes de servicio, en vigencia desde diciembre de 1998.
2. Exigir que las estaciones de llenado midan mecánicamente el lubricante a ser mezclado con la gasolina en el punto de venta de la gasolina para los vehículos con motor de dos tiempos, en vigencia desde diciembre de 1998.
3. Exigir el reemplazo de todos los automóviles y taxis previos a 1990 por vehículos nuevos que usen combustibles limpios, en vigor desde marzo de 2000.
4. Introducir incentivos financieros para reemplazar todos los automóviles y taxis post-1990 por vehículos nuevos que usen combustibles limpios, en vigor desde marzo de 2001.

Se han implementado las primeras tres medidas. La tercera medida, de hecho, exigía que los auto-rickshaws pre-1990 fueran retirados de Delhi y fueran reemplazados por auto-rickshaws potenciados con gas natural comprimido. Las únicas dos opciones de combustibles «limpios» en aquel momento eran el gas natural y la electricidad, ya que el uso de gas licuado de petróleo todavía no se había legalizado. No hay auto-rickshaws potenciados con electricidad comercialmente disponibles para su venta en India hoy en día.

La cuarta medida ha tenido una interesante historia. El gobierno de Delhi ofreció incentivos financieros hasta marzo de 2000 para reemplazar los auto-rickshaws de 15 años de edad o más viejos por nuevos vehículos que cumplieran los nuevos estándares de emisiones de abril de 1996. Aunque se permitieron tanto motores de dos como de cuatro tiempos en un principio, solo los auto-rickshaws con motor de dos tiempos estaban disponibles durante este período. El paquete de incentivos consistía en una exención completa del impuesto a las ventas (6% hasta 2000, cuando se elevó a 12%) y créditos subsidiados de la Delhi Finance Corporation. El período de repago del crédito, que iba de 3 a 5 años, podía ser negociado. A partir de abril de 2000, se ofreció el paquete financiero solo para el reemplazo de los antiguos auto-rickshaws por nuevos auto-rickshaws que funcionaran con gas natural comprimido o con electricidad.

La respuesta de los dueños de auto-rickshaws a las medidas ha sido aplastante. Para marzo de 2000, cerca de 20.000 antiguos auto-rickshaws habían sido reemplazados por nuevos. Mientras que la orden permitía que los dueños vendieran sus antiguos vehículos fuera del Territorio Capital Nacional de Delhi, la mayoría de los dueños prefirió desarmar sus vehículos. De esta manera, la contaminación no fue transferida a otras partes del país, y no había ninguna posibilidad de que los antiguos vehículos volvieran a Delhi.

Adaptado de Kojiima *et al.*, 2000

funcionan eficientemente solo si se satisfacen varias condiciones:

- La gasolina sin plomo tiene que estar ampliamente disponible. Idealmente, la gasolina con plomo debería estar totalmente erradicada para eliminar las posibilidades de llenar vehículos que tengan catalizadores con gasolina con plomo.
- La gasolina debe tener un nivel bajo de azufre, de preferencia menos de 500 partes por millón por peso.
- Deben especificarse los niveles de emisiones y el período de tiempo que el sistema de catalizador tiene para cumplir con esos niveles.
- Un sistema eficaz de inspección y mantenimiento debe implementarse para asegurar que los convertidores catalíticos sean reemplazados a medida que sea necesario.

Si no se cumple con estas condiciones, los beneficios de los convertidores catalíticos puede que no justifiquen el costo de instalarlos. Incluso cuando se cumple con estas condiciones, todavía tiene sentido especificar niveles de emisiones para los vehículos nuevos en lugar de exigir convertidores catalíticos. Repotenciar los vehículos en uso con convertidores catalíticos es problemático porque sus fallas, que son más comunes en motores de dos tiempos, pueden causar desbordamiento de temperatura y sinterización del catalizador, y dañarlo como resultado. Por esta razón Bajaj Auto de India recomienda que sean considerados para su repotenciación solo vehículos con motor de dos tiempos construidos después de 1996, con menores emisiones «motor afuera».

Reducir el material particulado exigiendo catalizadores puede que no sea rentable. Es difícil estimar el impacto de los catalizadores de oxidación sobre las emisiones de material particulado, ya que los datos son escasos. Suponiendo que la eficiencia de la conversión de los catalizadores sea de 50%, un factor de emisiones de material particulado sin catalizadores de 0,1 – 0,2 gramos por km, y una durabilidad del catalizador de 30.000 km, el monto total de MP_{10} eliminado por el catalizador sería de 1,5 – 3,0 kg. Esto se traduce en USD 8.000 – 17.000 por tonelada de MP_{10} dado el costo después de deducir impuestos del convertidor catalítico de USD 25 por unidad en India. Esta cifra cambia varias veces dependiendo de las suposiciones hechas acerca de la durabilidad del catalizador

y de la cantidad de material particulado reducido, pero las cifras de costo permanecen altas comparadas con otras estrategias de reducción de MP_{10} .

Prohibir todos los motores de dos tiempos

Prohibir todos los motores de dos tiempos eliminaría el transporte de un punto hasta otro punto para millones de personas en las ciudades asiáticas en desarrollo, y causaría penurias hasta que hubiera suficientes autobuses y taxis con motor de cuatro tiempos para reemplazar la gran cantidad de vehículos de tres ruedas con motor de dos tiempos existentes. Las personas más duramente golpeadas por una prohibición serían las mujeres y las familias, que dependen de estos vehículos más que otros grupos, y la gran cantidad de personas que usan estos vehículos de forma comercial. Sacar los vehículos de tres ruedas con motor de dos tiempos de las vías precipitadamente también afectaría el sustento de miles de conductores, y sería campo fértil para una agitación generalizada. Más aún, prohibir los motores de dos tiempos existentes sin crear un sistema de registro de vehículos bien documentado, una eficiente fuerza policial de tránsito, y alternativas de transporte para los usuarios actuales, podría llevar a un hostigamiento creciente de los conductores y a la corrupción de la policía de tránsito. Por lo tanto, en vez de prohibir estos vehículos, los formuladores de políticas públicas deberían considerar otras opciones de menor costo para reducir sus emisiones.

Prohibiciones más selectivas

Algunas opciones de menor costo y más políticamente viables que prohibir todos los vehículos con motores de dos tiempos son:

- a. *Prohibir cualquier vehículo antiguo con motor de dos tiempos (generalmente los más contaminantes) en las áreas urbanas.* Este enfoque ya ha tenido lugar en Delhi, con amplio apoyo popular (ver Recuadro 7).
- b. *Prohibir los vehículos nuevos con motor de dos tiempos.* Es probable que esto tenga menos impacto socioeconómico que prohibir todos los vehículos de este tipo, ya que la diferencia de costo entre los motores nuevos de dos y cuatro tiempos no es importante. Si los costos

de operación y de mantenimiento se consideran, el hecho de ser propietario de un vehículo con motor de cuatro tiempos puede ser más económico que poseer un vehículo con motor de dos tiempos. Quitar los desincentivos financieros para reemplazar los vehículos de tres ruedas con motor de dos tiempos por vehículos con motor de cuatro tiempos es de alta prioridad.

- c. *Prohibir o poner altos impuestos a la importación de vehículos de dos tiempos.* Una prohibición absoluta, o una restricción a la importación o venta y uso de los vehículos nuevos con motor de dos tiempos, a través de impuestos o de otros medios, necesita de todas maneras ser considerada con cuidado. Tal política puede ser perjudicial para las industrias que prefieran un estándar de rendimiento que ellas puedan lograr a menor costo para sus clientes. Por lo tanto, la política puede ser útil para los países que no tengan la capacidad de hacer cumplir estándares fuertes de emisiones para vehículos nuevos y en uso, asegurándose de este modo de que los vehículos con motor de dos tiempos insuficientemente controlados no entren al mercado.

Se podría continuar con todas estas tres opciones si las siguientes condiciones se cumplen: (i) que las alternativas para los vehículos que se estén sacando ya estén disponibles y probadas en el mercado; (ii) que estas alternativas sean accesibles económicamente, lo que podría requerir la baja o eliminación de los impuestos a la importación u otros impuestos sobre los vehículos nuevos (ver más abajo); y (iii) que existan suficientes créditos para los dueños de vehículos y los conductores para que sean capaces de financiar la adquisición de los vehículos más nuevos.

Instrumentos económicos y fiscales

Ya sea que las nuevas medidas específicas de tecnologías se adopten o no, existen opciones de políticas económicas para fomentar la remoción de los vehículos más antiguos y más contaminantes de las ciudades contaminadas. Estas opciones incluyen proporcionar incentivos de impuestos para renovar los vehículos, ofrecer efectivo por los vehículos más antiguos para sacarlos de las calles, asegurar crédito para la adquisición de nuevos vehículos, y liberalizar

el comercio de nuevos vehículos. No todas las opciones son igualmente recomendadas.

Incentivos de impuestos para la renovación de vehículos

La estructura de impuestos y otros cobros para los vehículos, como el pago anual del registro, deben ser cuidadosamente revisados y corregidos si fuera necesario donde esas estructuras no hayan captado los costos de la contaminación. Por ejemplo, los impuestos a la importación o impuestos a las ventas de las alternativas más limpias de auto-rickshaws (ya sean vehículos nuevos o repuestos para la repotenciación de vehículos) no deberían ser tan altos como para desalentar su adquisición – ya que los beneficios para la salud pública que se pueden ganar son altos. De forma similar, los aranceles del registro anual basados solamente en el valor de mercado del vehículo, más que en el valor de mercado y la contaminación emitida, serían demasiado bajos para desalentar el uso de vehículos más antiguos en las áreas urbanas. Al evaluar cada una de estas medidas, los formuladores de políticas públicas necesitan evaluar el costo socioeconómico de hacer más caro el hecho de ser propietario de vehículos antiguos comparándolo con los beneficios para la salud de la reducción de emisiones vehiculares.

Retiro acelerado de los vehículos de dos tiempos (programa de mejoramiento de motocicletas; subsidio por canje)

El ofrecimiento por parte del gobierno de paga en efectivo para los vehículos más antiguos que deben ser sacados de las calles puede distorsionar el mercado y tener el efecto perverso de mantener vehículos más antiguos en uso. Si el gobierno ofrece comprar los vehículos más antiguos, el precio de estos, muchos de los cuales pueden estar a punto de ser desarmados, aumentará. Un vehículo es típicamente desgastado cuando el costo de reparación excede su valor en el mercado después de la reparación. Los precios incrementados de los vehículos más antiguos pueden tener el efecto indeseado de inducir a que algunos dueños conserven y reparen sus antiguos vehículos en vez de desarmarlos. Además, ya que los precios de los vehículos son típicamente más altos dentro de los centros urbanos que fuera de ellos, los dueños no-urbanos de vehículos antiguos tendrían un incentivo

para traer sus vehículos a los centros urbanos y venderlos allí. Estos problemas indican que el pago en efectivo de parte del gobierno por los vehículos antiguos no es el mejor uso de los limitados recursos públicos.

Asegurar que el crédito disponible sea suficiente

En vez de ofrecer pagos en efectivo, el más valioso rol del gobierno es ayudar a asegurar la disponibilidad de crédito a través de mercados regulares de crédito y micro-crédito para los dueños y conductores de transporte público en la ciudad. Esto facilitaría el reemplazo de auto-rickshaws más viejos –además de vehículos más grandes, como los Tempos a diesel o a gasolina con motor de dos tiempos– por unos más limpios.

Generar sensibilización ciudadana

Las emisiones de los motores de dos tiempos y los costos de reparaciones pueden reducirse fomentando que los dueños lleven a cabo mantenimientos regulares y usen lubricante específicamente fabricado para su uso en motores de dos tiempos, en concentraciones recomendadas por los fabricantes de vehículos. Se necesitará educación masiva del público para lograr que los dueños de vehículos adopten estas medidas de «gana-gana».

Los gobiernos, los países que prestan asistencia al desarrollo y las organizaciones no gubernamentales han buscado generar sensibilización ciudadana acerca de las emisiones en el sur de Asia, por ejemplo:

Recuadro 8: Reduciendo las emisiones y aumentando el rendimiento: clínicas de I/M en Delhi

Para reducir las emisiones, la Sociedad India de Fabricantes de Automóviles (SIAM) y otras compañías indias patrocinaron clínicas voluntarias de inspección y mantenimiento para vehículos de dos ruedas en Delhi en 1999. Las clínicas, financiadas en parte por la Agencia para el Desarrollo Internacional de EE.UU., se dieron simultáneamente en cuatro ubicaciones, en tres fases a lo largo de cuatro semanas. Las compañías miembros de SIAM proporcionaron 45 instrumentos y 200 personas. Los principales fabricantes de vehículos proporcionaron personal y se encargaron de los puestos de reparaciones e información. Los fabricantes de instrumentos estaban in situ para revisar la calibración de instrumentos y asegurar la minuciosidad de las mediciones de emisiones. El gobierno de Delhi autorizó a SIAM para emitir autoadhesivos que decían «Contaminación Bajo Control» y estacionó personal de policía de tránsito en el lugar de las clínicas. Las clínicas fueron ampliamente publicitadas en los medios, con llamados hechos por dignatarios, celebridades y altos funcionarios de gobierno. El costo de este exitoso programa fue de alrededor de USD 2,50 por conductor.

Se efectuaron sencillas tareas de mantenimiento en la clínica, y se distribuyeron folletos con consejos de conducción sobre mantenimiento y ahorro de combustible. Los vehículos fueron revisados en primera medida en cuanto a emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos en marcha al vacío. Si el vehículo reprobaba (es decir, si las

emisiones de monóxido de carbono excedían el 4,5% del gas de escape o las emisiones de hidrocarburos sobrepasaban las 9.000 partes por millón), era llevado a una cabina de reparaciones donde se ajustaba el carburador y las emisiones se medían nuevamente. Si el vehículo fracasaba en la segunda prueba de emisiones, se limpiaban y se ajustaban las bujías de encendido, y también se limpiaba el filtro de aire. Una tercera prueba de emisiones se aplicaba luego. Después de probar el vehículo, este era llevado a la cabina de seguridad, donde el conductor recibía un folleto con consejos sobre seguridad y mantenimiento.

Cerca del 80% de los vehículos participantes aprobaron la prueba de monóxido de carbono con marcha al vacío; 95% del 20% restante pasaban la prueba después de reparaciones menores. 75 vehículos que inicialmente fallaron en las pruebas de emisiones fueron probados en cuanto a consumo de combustible. La economía de combustible mejoró de un promedio de 39 a 47 km por litro después de reparaciones menores, demostrando los beneficios de llevar a cabo sencillas tareas de mantenimiento. Una de las cuatro clínicas tenía un medidor de humo, y se tomaron mediciones de humo de los vehículos que fallaron antes y después del mantenimiento menor. Los niveles de emisiones de humo cayeron después de las reparaciones menores.

Para un análisis de los datos recogidos durante estas clínicas, refiérase a Sujit Das *et al.*, 2001.

Adaptado de Kojima *et al.*, 2000

- El Instituto de Desarrollo de Hidrocarburos de Pakistán ha distribuido panfletos y autoadhesivos que contienen información básica acerca de la cantidad y calidad de la gasolina y el lubricante.
- En Dhaka, Bangladesh, la alianza entre el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo – Programa de Asistencia para la Gestión del Sector de Energía del Banco Mundial (ESMAP) llevó a cabo una serie de sesiones de entrenamiento para los mecánicos y auto-clínicas para los conductores de taxis de tres ruedas a fines del 2000. El programa estuvo basado en la idea de que el primer paso hacia la adopción de buenas prácticas es la difusión de información precisa de parte de los mecánicos hacia los conductores de taxis (ESMAP, 2002).
- Una gran campaña de sensibilización ciudadana en Delhi, India, a fines de 1999 llevó a que más de 66.000 vehículos participaran en clínicas gratuitas de inspección y mantenimiento (Iyer, 2000) (ver Recuadro 8).
- La campaña de la Sociedad India de Fabricantes de Automóviles (SIAM) para promover la computarización de los centros de inspección de emisiones en uso de muchas ciudades ha mejorado la confianza del público en el sistema y ha aumentado el número de vehículos que se reportan voluntariamente para su certificación. El sistema desarrollado por SIAM minimiza la intervención manual en el proceso de inspección e incluye una fotografía de la patente del vehículo probado que se adjunta al certificado. De este modo, aumenta la credibilidad de los centros de prueba. Aunque inicialmente SIAM llevó a cabo este programa como un ejercicio de demostración que corrió por su cuenta, muchos centros de prueba ahora están pidiendo voluntariamente ser mejorados a centros computarizados, ya que esto aumenta sus ganancias. En Bangalore, donde SIAM estableció dos centros de demostración, más de 100 centros de pruebas privados ya han computarizado sus instalaciones. Varias autoridades estatales ahora exigen el uso del sistema computarizado desarrollado por SIAM.

Aunque se han tomado varias iniciativas de sensibilización ciudadana en Asia, muchos

conductores aún no mantienen sus vehículos de forma adecuada. Mucho más tiene que hacerse para mejorar el entendimiento del público acerca de la importancia de la adecuada mantenimiento del vehículo.

Identificar a los interesados

El Taller Regional de Hanoi (2001) identificó a los siguientes grupos de interesados:

- Agencias de gobierno nacional;
- Agencias de gobierno local;
- La industria (fabricantes de motocicletas, productores de combustible, abastecedores de catalizadores, industria de mantenimiento);
- Grupos intermedios que pueden tener un papel propugnando e implementando campañas de reducción de contaminación;
- Usuarios finales: dentro del grupo de usuarios finales es importante diferenciar entre los usuarios que dependen de los vehículos de dos y tres ruedas para ganarse la vida, como lo son los conductores de los rickshaws, y los usuarios que usan el vehículo para su transporte personal; y
- Todos los que respiran.

La industria que fabrica vehículos de dos y tres ruedas es muy consciente de las emisiones producidas por los vehículos que ellos fabrican. Crecientemente, han comenzado a modificar los diseños de sus productos para asegurar el cumplimiento con los estándares de emisiones que cada vez son más estrictos. Es importante para la industria manufacturera que los reguladores desarrollen planes de mediano plazo para los nuevos estándares tipo y los estándares en uso.

Promover modos de viaje alternativos

Una manera de reducir las emisiones de los vehículos de dos y tres ruedas es desarrollar y promover modos alternativos de transporte, tales como caminar, uso de bicicletas, y autobuses. Estos temas están cubiertos en otras partes de este *Texto de Referencia*. Aquí solo hacemos notar que las restricciones impuestas en el uso de vehículos motorizados privados –*p. ej.*, tarifas de estacionamiento más altas– también deben ser aplicadas a las motocicletas. Esto es importante como una precondition para el establecimiento de una industria del transporte público viable.

3.7 Orientaciones futuras

Los motores de dos tiempos constituyen un gran número de la flota total de vehículos, porque son relativamente baratos, funcionan bien en términos de potencial y velocidad, y son fáciles de reparar. Precisamente porque los motores de dos tiempos son tan numerosos y populares, cualquier decisión de políticas para enfrentar las emisiones de estos vehículos debe considerar las consecuencias socio-económicas. Una prohibición a gran escala e inmediata sobre los motores de dos tiempos sería extremadamente difícil y costosa, pero, afortunadamente, hay disponibles numerosas mejoras pequeñas y rentables. Generar sensibilización ciudadana – acerca del efecto sobre la salud de las emisiones, los parámetros de motor/combustible/lubricante que aumentan los niveles de emisiones, pasos sencillos que los conductores pueden tomar para mitigar las emisiones, y las ventajas y desventajas de varias medidas tabuladas para mitigar la contaminación del aire – logra que la reducción de emisiones sea más fácil, incluso con la flota de vehículos existente.

Los vehículos convencionales con motor de dos tiempos pueden finalmente ser retirados paulatinamente en Asia, y ser reemplazados por alternativas comparables, pero más limpias, que aún cumplan con las necesidades sociales y económicas del público. Estos pueden incluir motores de dos tiempos avanzados usando combustible de inyección controlada electrónicamente que tienen el potencial de alcanzar niveles de emisiones tan bajos como, o incluso más bajos que, aquellos de los motores de cuatro tiempos mientras conservan las ventajas del diseño de dos tiempos. Asociaciones dinámicas entre el gobierno, la industria y el público serán

fundamentales en el desarrollo de objetivos de calidad del aire y el compromiso hacia alcanzarlos. Un período de transición es probable, quizás de varios años, durante los cuales los vehículos con motor de dos tiempos en uso sean retirados paulatinamente de los grandes centros urbanos.

En estas circunstancias, no se puede dejar de insistir en la importancia de promover las buenas prácticas en la utilización de lubricantes en los vehículos con motor de dos tiempos en uso. En esta situación de «gana-gana» las emisiones de vehículos pueden ser espectacularmente reducidas y el mantenimiento del vehículo puede facilitarse virtualmente sin costo.

3.8 Bicicletas eléctricas – Impactos de su potencial regulación sobre la movilidad y el ambiente

Este capítulo 3.8 es una contribución del Dr. Christopher Cherry, Profesor Asistente, Depto. de Ingeniería Civil, University of Tennessee – Knoxville. Esta sección está basada en su estudio patrocinado por Clean Air Initiative-Asia, UC Berkeley Center for Future Urban Transport-A Volvo Center of Excellence, y National Science Foundation.

Las bicicletas eléctricas han aumentado en popularidad durante los últimos años, de varios miles vendidos en 2000 a 16 – 18 millones vendidos en 2006 (Jamerson y Benjamin 2007). Los estimados de población total de vehículos actual en China tienen un rango de 30 – 50 millones. La tasa de adopción de este modo ha sobrepasado por mucho al crecimiento en la propiedad de automóviles y creado nuevos desafíos para el sistema de transporte y el ambiente en ciudades chinas. Los proponentes de los vehículos eléctricos de dos ruedas los promocionan como vehículos respetuosos con el ambiente, reduciendo la contaminación del aire local y proporcionando alta movilidad a los usuarios.

Sus oponentes sugieren que son inseguros, contaminantes y la causa de muchos de los problemas de tráfico de China (Ribet 2005). De hecho, varias ciudades han comenzado a prohibir o a restringir severamente el uso de vehículos eléctricos de dos ruedas (Guangzhou Daily 2006).

Hay dos clases de vehículos eléctricos de dos ruedas, las bicicletas eléctricas tipo bicicleta o tipo motoneta (Jamerson y Benjamin 2007), como se ve en la Figura 20. Las bicicletas

Fig. 20a, b
Bicicletas Eléctricas
Tipo Bicicleta y
Tipo Motoneta.



eléctricas tienen una autonomía de 40 – 60 km con una sola carga y un costo de USD 150 – 300. Los vehículos eléctricos de dos ruedas son regulados de forma poco estricta según su tamaño, peso y velocidad máxima, y entonces clasificados como bicicletas (Gobierno Central de China 1999; Gobierno Central de China 2004). Como tales, se les permiten los mismos privilegios y adhieren a las mismas regulaciones que los usuarios de bicicletas, incluyendo el derecho de paso compartido en los carriles para bicicletas.

Los impactos ambientales, contrarrestados por los beneficios al sistema de transporte, principalmente aumentos de movilidad y accesibilidad, se discuten en esta sección. Se conducen dos estudios de caso para identificar el impacto *neto* de emisiones ambientales y movilidad para el sistema de transporte en el evento de una prohibición de las bicicletas eléctricas en las ciudades de Shanghai o Kunming. Hacia el final se discuten las implicaciones políticas y otras decisiones políticas que deben considerarse.

Impactos positivos y negativos sobre el sistema de transporte

Los vehículos eléctricos de dos ruedas, como cualquier modo de transporte, tienen impactos positivos y negativos sobre el sistema de transporte. Las bicicletas eléctricas contribuyen a la congestión, emiten contaminación, y sus usuarios son lesionados y muertos en colisiones de tráfico. Para contrarrestar los impactos negativos, proporcionan movilidad en una ciudad, aumentando la productividad y la accesibilidad a los trabajos u otros destinos. La pregunta relevante es hasta qué punto los vehículos eléctricos de dos ruedas rinden mejor o peor en estas métricas que los modos de transporte alternativos. Si los vehículos eléctricos de dos ruedas fueran eliminados del conjunto de opciones, la distribución del cambio hacia modos alternativos (automóviles, buses, bicicletas o caminatas) determinaría si la política de eliminar a los vehículos eléctricos de dos ruedas aumenta o disminuye las externalidades negativas del sistema de transporte. Cualquier análisis de políticas relacionadas con el uso de vehículos eléctricos de dos ruedas debe primero identificar qué modos tomarían los usuarios de estos vehículos en ausencia de este modo y luego identificar los

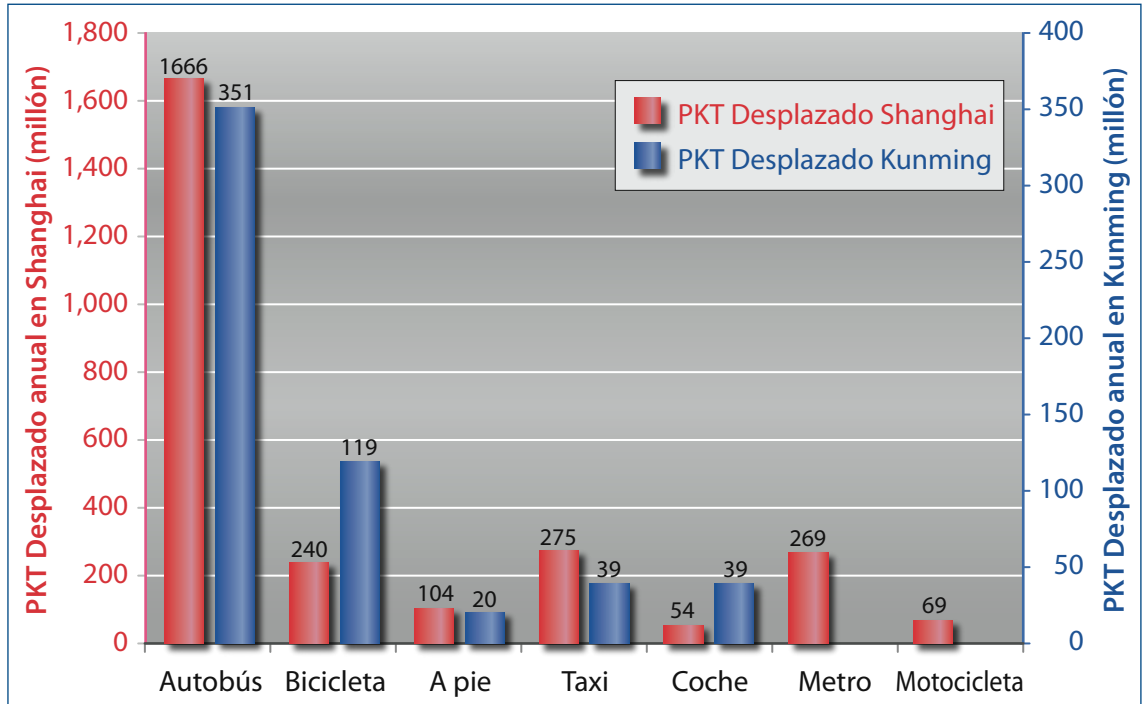
impactos netos positivos y negativos basándose en métricas ambientales, de seguridad y de movilidad.

Estudios de caso – Cuáles son los impactos de la prohibición de bicicletas eléctricas en Kunming y Shanghai

En las dos ciudades de estudio de caso se condujo una encuesta de viajes, reuniendo información acerca de los orígenes, destinos, y tiempos de viaje de los usuarios de bicicletas eléctricas. Más del 50% de los usuarios de bicicletas eléctricas eran anteriormente pasajeros de autobús y volverían a cambiar hacia el autobús si las bicicletas eléctricas estuvieran prohibidas (Cherry y Cervero 2007). Esto tiene implicaciones significativas sobre los límites de capacidad y las emisiones de los autobuses. Si bien este es un descubrimiento interesante y algo sorprendente, un estudio similar conducido en Shijiazhuang descubrió que los vehículos eléctricos de dos ruedas están desplazando principalmente a los viajes en bicicletas tradicionales, como podría esperarse (Weinert, Ma *et al.*, 2007). Esto podría ser porque tanto Shanghai como Kunming tienen sistemas de autobuses excepcionales. Conocer el modo alternativo predominante dado por las encuestas a usuarios permite inferir el total de kilómetros desplazados anuales viajados por modo. Por ejemplo, en 2006 Shanghai tenía alrededor de 1.000.000 de vehículos eléctricos de dos ruedas. Según la encuesta, el 56% de todos los viajes cambiarían hacia el autobús si se prohibieran las bicicletas eléctricas. El viaje anual promedio de los usuarios de bicicletas eléctricas que de otra manera elegirían el autobús es de 1.666.000.000 km (1.000.000 de bicicletas eléctricas x 56% x 2.975 vkt (kilómetros viajados por vehículo) anual). La Figura 21 muestra la distribución de respuestas de los encuestados (agrupados por viaje anual y por modo) en Shanghai y Kunming. A partir de estos datos, se pueden calcular impactos netos mapeando las tasas de impacto (tales como emisiones de SO₂ por km) del cambio desde bicicletas eléctricas hacia modos alternativos.

Las tasas de impactos negativos sobre el ambiente y la seguridad en Shanghai y Kunming se muestran en el Cuadro 9. Las primeras siete columnas muestran las tasas de emisión

Fig. 21
PKT Desplazado por
Modo – Shanghai
y Kunming.



del ciclo de vida de los contaminantes criterio, incluyendo las fases de producción, uso y deshecho. Los vehículos eléctricos de dos ruedas en Shanghai y Kunming tienen diferentes tasas de emisión porque Shanghai tiene una dependencia del 99% de la generación de electricidad a través del carbón, mientras que Kunming depende un 48% del carbón y 52% de la hidroelectricidad. Sin embargo, en comparación con Shanghai, Kunming tiene un mayor porcentaje de bicicletas eléctricas tipo motoneta, que tienen uso de electricidad y por lo tanto tasas de emisión más altas, en comparación

con las bicicletas eléctricas tipo bicicleta. Las bicicletas eléctricas rinden mejor en algunas métricas y peor en otras en comparación con modos alternativos. Más notablemente, las bicicletas eléctricas rinden mejor que otros modos motorizados en las tasas de NO_x , CO_2 , y uso de energía. Sin embargo, emiten mucha más contaminación de plomo (Pb) en el ambiente por los procesos inadecuados de producción y reciclado en adición a las tasas de reciclado relativamente bajas (Mao, Lu *et al.*, 2006). La última columna muestra las características de movilidad (velocidad promedio) de cada modo.

Cuadro 9: Tasas de impacto de modos compitiendo en Shanghai y Kunming

(unidades: gramos/pasajero/km a menos que se indique de otra forma)

	CO ^{a)}	CO ₂	HC ^{a)}	NO _x ^{a)}	SO ₂	PM	Plomo ^{b)} (Pb)	Velocidad promedio km/h
Autobús ^{c)}	0,16	48,43	0,02	0,27	0,02	0,06	0,005	7,1
Bicicleta Eléctrica Shanghai	Desc	29,25	Desc	0,03	0,18	0,15	0,353	14,5
Bicicleta Eléctrica Kunming	Desc	23,17	Desc	0,02	0,11	0,16	0,378	14,7
Bicicleta	0,00	4,70	Desc	0,00	0,01	0,06	0,000	11,0
Automóvil ^{d)}	9,43	306,00	1,11	1,01	0,69	0,28	0,299	15,0

Notas:

Desc = Desconocido

a) Solo se incluyó la fase de uso debido a la disponibilidad de datos (las emisiones de las fases de producción son desconocidas).

b) Asume tasas de reciclado reportadas para la industria automotriz y tasas de reciclado del 100% para las bicicletas eléctricas. La proporción de bicicletas eléctricas tipo motoneta a bicicletas eléctricas tipo bicicleta es de 50/50 en Shanghai y 70/30 en Kunming.

c) Todos los cálculos asumen que un autobús promedio está cargado a capacidad – 50 pasajeros.

La velocidad promedio de los buses se estima usando tiempo de acceso promedio, tiempo de espera, velocidad de operación, y distancia de viaje en ambas ciudades resumido en *Fudan News 2004; Kunming University of Science and Technology 2005*.

d) Las tasas de emisión de los automóviles fueron adoptadas principalmente de (Sullivan, Williams *et al.*, 1998)

La combinación de los datos de la Figura 21 y el Cuadro 9 resulta en aumentos o disminuciones *netos* en los impactos sobre el sistema de transporte si los vehículos eléctricos de dos ruedas fueran prohibidos en las ciudades de estudio de caso. Por ejemplo, prohibir las bicicletas eléctricas disminuiría las emisiones de plomo, pero aumentaría las emisiones de gases de invernadero y reduciría la movilidad. Estos impactos netos se muestran en el Cuadro 10: los números positivos sugieren un aumento neto en los impactos, mientras que los números negativos sugieren una disminución neta en los impactos como resultado de una prohibición o alguna otra política que forzara a los usuarios de vehículos eléctricos de dos ruedas a volver a sus modos anteriores.

A partir del Cuadro 10 queda claro que los vehículos eléctricos de dos ruedas proporcionan beneficios y costos claros al sistema de transporte. Por ejemplo, prohibir los vehículos eléctricos de dos ruedas en Kunming causaría que los anteriores usuarios de bicicletas eléctricas cambien hacia modos alternativos. *Una prohibición de los vehículos eléctricos de dos ruedas induciría a un cambio modal que en última instancia aumentaría el consumo de energía y las emisiones de CO₂, NO_x y SO₂. Los usuarios de bicicletas eléctricas gastarían 145 horas adicionales por año en viajes, reduciendo su productividad.* La principal desventaja de los vehículos eléctricos de dos ruedas es el aumento significativo en el plomo (Pb) emitido al ambiente. Por cada bicicleta eléctrica eliminada, se eliminarían 774 gramos de plomo del ambiente. Este es un problema muy difícil y complejo y debería remediarse con mejoras significativas en la producción de baterías y prácticas de reciclado o cambios a tecnología de baterías más respetuosa con el

ambiente. La dirección de los impactos es similar en Shanghai.

Notablemente, prohibir las bicicletas eléctricas aumenta las emisiones de MP en ambas ciudades. Sin embargo, gran parte de estas emisiones de MP son producidas en fábricas y plantas de energía, fuera de la ciudad. Por lo tanto la exposición de las personas (y así los impactos sobre la salud pública) a tal contaminación es probablemente más baja que las emisiones de tubo de escape (Marshall, Teoh *et al.*, 2005; Zhou, Levy *et al.*, 2006). Además, las grandes disminuciones en las emisiones de NO_x proporcionan beneficios a la salud que probablemente tienen más peso que los costos a la salud del aumento en emisiones de MP (Health Effects Institute 2004).

Recomendaciones de políticas relacionadas con las bicicletas eléctricas

Los vehículos eléctricos de dos ruedas han entrado al mercado y alcanzado una proporción modal significativa en las ciudades chinas. Gran parte de este crecimiento es una respuesta al largo de viajes en aumento, las restricciones al uso de motocicletas, y el servicio de transporte público que lucha con la congestión y la sobresuscripción. Varios formuladores de políticas públicas han alabado a los vehículos eléctricos de dos ruedas, mientras que otros los han criticado. Esta sección cuantifica algunos de los impactos más significativos de los vehículos eléctricos de dos ruedas sobre el sistema de transporte.

Los vehículos eléctricos de dos ruedas proveen varios beneficios cuantificables, tal como la reducción de emisiones de varios contaminantes criterio, mejoras en la seguridad y mejoras en la movilidad. Estos beneficios vienen con un

Cuadro 10: Impacto neto anual por bicicleta eléctrica eliminada de la calle

(Unidades: Impacto por vehículo eléctrico de dos ruedas eliminado por año, a menos que se indique de otra forma)

	CO ₂ (kg/año)	NO _x (gr/año)	SO ₂ (gr/año)	PM (gr/año)	Lead (Pb) (gr/año)	Energy (kWh/año)	Yearly Travel Time (h/año)
Shanghai	+119	+815	-129	-121	-664	+521	+126
Kunming	+128	+830	+8	-140	-774	+557	+145

Nota:

- + indica un aumento neto en los impactos sobre el sistema si se elimina el vehículo eléctrico de dos ruedas (ejemplo: eliminando una bicicleta eléctrica del sistema las emisiones de CO₂ aumentan 119 kg/año)
- indica una disminución neta en los impactos sobre el sistema si se elimina el vehículo eléctrico de dos ruedas (ejemplo: eliminando una bicicleta eléctrica del sistema las emisiones de Pb disminuyen 664 gr/año)

costo, principalmente un gran aumento en la contaminación por plomo a través de la cadena de producción de ácido de plomo para baterías en China. Hay tecnologías de batería alternativas disponibles y comercialmente viables. Sin embargo, el mercado no incentiva su adopción debido a su costo más alto (Weinert, Burke *et al.*, 2007). Debido a sus beneficios al sistema de transporte, deberían introducirse incentivos económicos o regulaciones que promuevan un cambio de las baterías con ácido de plomo hacia las baterías Li-ion o NiMH, más costosas, que tienen menos externalidades ambientales.

Esta sección no trata específicamente la seguridad, aunque algunos análisis han demostrado que los vehículos eléctricos de dos ruedas tienen un precedente de seguridad relativamente bueno (Cherry 2007, Ni 2008). Este modo proporciona una alta movilidad similar a la del automóvil a una fracción de su costo. Una política potencial es el desarrollo de un sistema sinérgico en el que los vehículos eléctricos de dos ruedas funcionen como apoyo a sistemas de tránsito de alta calidad como alimentadores o proporcionando transporte para viajes cortos, ambos servicios difíciles de proveer con un servicio de tránsito de rutas fijas. En conclusión, al considerar un amplio rango de costos y beneficios, un vehículo eléctrico de dos ruedas con una tecnología de batería más limpia es uno de los modos de transporte más efectivos que China puede ofrecer.

4. Más referencias

4.1 Referencias citadas en el texto

- Asian Development Bank, (2003), *Policy Guidelines for Reducing Vehicle Emissions in Asia – Cleaner Two and Three Wheelers*.
- Auto/Oil Air Quality Improvement Research Program, (1997), *Program Final Report*, <http://www.crao.com/reports/auto-oil/Default.htm>.
- Bali Urban Infrastructure Program (BUIP), (1999), *Public Transport Study: Draft Final Report*, Dorsch Consult, octubre de 1999.
- Cherry C, Weinert J, Xinmiao Y, (2008), *Environmental Impacts of E-bikes in China (and beyond)*, BAQ 2008, Bangkok, <http://www.baq2008.org>.
- Cherry C, (2007), *Electric Two-Wheelers in China: Analysis of Environmental, Safety, and Mobility Impacts*, Civil and Environmental Engineering, University of California-Berkeley, PhD Dissertation.
- Cherry C and Cervero R, (2007), *Use Characteristics and Mode Choice Behavior of Electric Bike Users in China*, *Transport Policy* 14(3).
- Cherry C, Weinert J, Ma C, (2006), *The Environmental Impacts of Electric Bikes in China*, presentado a Transportation Research Board, 31 julio 2006.
- China Central Government, (2004), National Road Transportation Law.
- China Central Government, (1999), General Technical Standards of E-Bike (GB17761-1999) from National E-bike compelling standards.
- Cumming R B, (1997), *The International Perspective*. International Association for Natural Gas Vehicles Newsletter 45.
- ESMAP Report 253/02, (2002), *Bangladesh: Reducing Emissions from Baby-Taxis in Dhaka*, Report 253/02, enero 2002, <http://www.esmap.org>.
- Fudan News, (2004), 上海交通发展第三道难题机、非高度混杂干扰通行.
- Gerhard Metschies, (2001), *Fuel Prices and Vehicle Taxation: Second Edition*, GTZ, octubre de 2001, <http://www.worldbank.org/wbi/cleanair/global/topics/transport.htm>.

- Government of India, (2002), *Report of the Expert Committee on Auto Fuel Policy*, agosto 2002, http://www.petroleum.nic.in/afp_con.htm.
- Guangzhou Daily, (2006), Guangzhou bans Electric Bikes, Guangzhou Daily, Guangzhou, China.
- Health Effects Institute, (2004), *Health Effects of Outdoor Air Pollution in Developing Countries of Asia: A Literature Review*.
- International Energy Agency, (2002), *Workshop on Clean Vehicle Technology*, París, 24–25 septiembre 2002, <http://www.iea.org/workshop/cleanvehicles.htm>.
- International Energy Agency, (1997), *CO2 Emissions From Fuel Combustion*, 1997. Diskette Service Documentation, International Energy Agency, Organisation for Economic Cooperation and Development, París, Francia.
- Iyer N V, (2007), *Management of In-Use Motorcycle Emissions – the Indian Experience*, Workshop on Motorcycle Emission Control: Vietnamese and International Experience, Hanoi, Vietnam, 6 marzo 2007, <http://www.theicct.org>.
- Iyer N V, (2004), *Managing Two and Three-Wheeler Emissions*, National Workshop on the Improvement of Urban Air Quality of Pakistan 13 – 15 diciembre, 2004 Lahore, Pakistán.
- Iyer N V, (2000), *Emissions and Control Options for Two-Stroke Engines in India*, Informe presentado en Workshop on Pollution from Motorcycles – Issues and Options, 9 marzo 2000, World Bank, Washington D.C.
- Iyer N V, (1999), *Technology for Cleaner Two and Three-Wheelers: Achievements and Future Challenges*. Informe presentado en Confederation of Indian Industry Technology Summit and Platform, 28–29 octubre de 1999, Hyderabad, India.
- Jamerson F E and Benjamin E, (2007), *Electric Bikes Worldwide Reports – 20,000,000 Light Electric Vehicles in 2007*.
- Jitendra Shah & N Harshadeep, (2001), *The World Bank, Urban Pollution from Two Stroke Engine Vehicles in Asia: Technical and Policy Options*, 2001. Informe presentado en Regional Workshop Hanoi (detalles arriba), <http://adb.org/Documents/Events/2001/RETA5937/Hanoi/downloads.asp>.
- Ken Johnson, (2001), *Cleaner Two-Stroke Technology*. Regional Workshop Hanoi (detalles abajo), <http://adb.org/Documents/Events/2001/RETA5937/Hanoi/downloads.asp>.
- Kunming University of Science and Technology, (2005), *Kunming City Bus Network Optimization*.
- Mao J, Lu Z.W, et al., (2006), *The Eco-efficiency of Lead in China's Lead-Acid Battery System*. *Journal of Industrial Ecology*10 (1-2): 185–197.
- Marshall J. D, Teoh S K, et al., (2005), *Intake fraction of nonreactive vehicle emissions in US urban areas*. *Atmospheric Environment* 39: 1363–1371.
- Masami Kojima, Carter Brandon & Jitendra Shah, (2000), *Improving Urban Air Quality in South Asia by Reducing Emissions from Two-Stroke Engine Vehicles*, The World Bank, diciembre 2000, <http://www.worldbank.org/html/fpd/esmap/publication/airquality.html>.
- Masami Kojima et al., (2002), *Measurement of Mass Emissions from In-Use Two-Stroke Engine Three-Wheelers in South Asia*, SAE 2002-01-1681 (SP 1714), disponible para compra en http://www.sae.org/servlets/productDetail?PROD_TYP=PAPER&PROD_CD=2002-01-1681.
- Michael Walsh, (2001), *2-3 Wheelers in Asia and their Impact on the Environment*. Informe presentado en Regional Workshop Hanoi (detalles arriba), <http://adb.org/Documents/Events/2001/RETA5937/Hanoi/downloads.asp>.
- Ni J, (2008), *Electric Two-Wheelers in China: Analysis of Safety*, Luyuan Electric Vehicle Company, http://www.luyuan.cn/showxwdt.asp?art_id=117 (en chino) 两轮电动车交通安全研究报告.
- Nathan L, (2008), *Comparison of Retrofit Options for Carburetted Two-Stroke Engines*, BAQ 2008, Bangkok, 12 – 14 Noviembre 2008, <http://www.baq2008.org>.
- Palke D R and Tyo M A, (1999), *The Impact of Catalytic After treatment on Particulate Matter Emissions from Small Motorcycles*, SAE 1999-01-3299, <http://www.sae.org>.

- Regional Workshop, (2001), Reduction of Emissions from 2–3 Wheelers, 5–7 septiembre 2001, Hanoi, Vietnam, <http://adb.org/Documents/Events/2001/RETA5937/Hanoi>.
- Ribet S, (2005), Two-wheel revolution, The Standard, Hong Kong.
- Rudolf R, Dion B, Zisis S, Leonidas N, (2005), *Particulate matter regulation for two-stroke two wheelers: Necessity or haphazard legislation?* Atmospheric Environment, 39, (2005), 2483 – 2490.
- Shivraj W, (2008), *The Cost-Effective Technology Applications of Turbulent Structures in Metallic Honeycomb Substrates*, BAQ2008 <http://www.baq2008.org>.
- Sujit Das et al., (2001) *Prospects of Inspection and Maintenance of Two-Wheelers in India*, Journal of the Air & Waste Management Association, Volume 51, octubre 2001. La correspondencia se puede remitir a Sujit Das at Oak Ridge National Laboratory, P.O. Box 2008, Oak Ridge, TN 37831- 6205: email: dass@ornl.gov.
- Sullivan J L, Williams E L, et al., (1998), Life Cycle Inventory of a Generic U.S. Family Sedan Overview of Results USCAR AMP Project, Society of Automotive Engineers.
- Tai, Nguyen Van, (2009), *EST Achievements, Progress and Future Strategies*, Fourth Environmentally Sustainable Transport Forum, United Nations Centre for Regional Development, Seúl, Corea del Sur, 24 – 26 febrero 2009, <http://www.uncrd.or.jp>.
- Tata Energy Research Institute (TERI), (1993), *Impact of Road Transportation Systems on Energy and the Environment: an Analysis of Metropolitan Cities of India*, 1993.
- Tim B, Nathan L, Bryan W, (2004), *Emissions Characterization of a Direct Injection Retro-Fit Kit for Small Two-Stroke Cycle Engines*, BAQ 2004, 6 – 8 diciembre, Agra, <http://www.baq2004.org>.
- Weinert J X, Burke A F, et al., (2007), *Lead-acid and lithium-ion batteries for the Chinese electric bike market and implications on future technology advancement*, Journal of Power Sources In Press.
- Weinert J X, Ma C T, et al., (2007), *The Transition to Electric Bikes in China: Effect on Travel Behavior, Mode Shift, and User Safety Perceptions in a Medium-Sized City*, Transportation Research Record Forthcoming.
- World Bank, (2001), *Cities on the Move: Urban Transport Strategy Review*, octubre 2001, <http://www.worldbank.org/transport>.
- Zhou Y, Levy, et al., (2006), *The influence of geographic location on population exposure to emissions from power plants throughout China*. Environment International 32(3): 365-373.

4.2 Recursos en Internet

- Una excelente colección de presentaciones del Taller Regional, Reducción de Emisiones de vehículos de dos y tres ruedas, 5–7 septiembre 2001, puede descargarse desde <http://adb.org/Documents/Events/2001/RETA5937/Hanoi>.
- Centre for Science & Environment (CSE), <http://www.cseindia.org>. CSE es una ONG bien informada y activa. CSE está también involucrada con Clean Air Initiative-Asia y actualmente ejerce la co-presidencia de su Comité Coordinador.
- Clean Air Initiative for Asian Cities, administrada por el Banco Mundial, ADB y otros, <http://www.worldbank.org/cleanair/caiasia>. Información acerca de todos los tópicos bajo la gestión de calidad del aire y enlaces a varias actividades ambientales en la región. Tiene un espacio de discusión sobre varios tópicos e ideas en la región.
- Tata Energy Research Institute (TERI), <http://www.teriin.org>. El sitio contiene información útil acerca de cuestiones relacionadas con energía y ambiente en India. El instituto ha llevado a cabo estudios sobre emisiones de GEI y contaminación ambiental para ADB.
- US Environmental Protection Authority, <http://www.epa.gov>. Proporciona información extensa sobre todos los aspectos técnicos de la salud ambiental, incluyendo la contaminación del aire y directrices de la OMS para varios contaminantes.



Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

- Cooperación técnica alemana -

P. O. Box 5180
65726 ESCHBORN / GERMANY
T +49-6196-79-1357
F +49-6196-79-801357
E transport@giz.de
I <http://www.giz.de>

50 años

Forjamos el futuro.
Unamos nuestras fuerzas.