

---

**MOVILIDAD, SUSTENTABILIDAD Y COMBUSTIBLES DE  
LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE RÁPIDO DE AUTOBÚS  
ARTICULADO EN MÉXICO**

---

*Alejandro José Leo Vargas, Salvador Adame Martínez y José de Jesús Jiménez Jiménez*

**RESUMEN**

*El presente trabajo se enfoca al estudio de la movilidad, la sustentabilidad y combustibles, desde el punto de vista ambiental de los Sistemas de Transporte Rápido de autobús articulado (BRT, del inglés *Bus Rapid Transit*), por su estrecha relación con el medio ambiente, por su importancia a nivel mundial y por su reciente implementación en algunas ciudades de México. Debido a que los autobuses articulados, equi-*

*pados con motores de combustión interna de gran capacidad, son el principal componente de los sistemas BRT, se abordan los temas que tienen relación directa con el uso de combustibles y el transporte, tales como la movilidad urbana, la sustentabilidad relacionada con el medio ambiente, el transporte urbano, y los tipos de combustibles utilizados por los autobuses articulados de dichos sistemas.*

**Introducción**

Los sistemas de transporte rápido de autobús articulado (BRT, del inglés *Bus Rapid Transit*) surgen de la necesidad de contar con un medio de transporte eficiente y menos contaminante. Por ello se optó por crear un sistema que aproveche la ventaja del transporte guiado por rieles, por circular en carriles confinados o exclusivos, y además las

cualidades de un autobús convencional por su flexibilidad en las maniobras y su bajo costo de operación y mantenimiento en comparación con el sistema de transporte colectivo metropolitano (Metro) o el tren ligero de la Ciudad de México. Las principales características del sistema BRT son: uso de autobuses articulados de alta capacidad, estaciones fijas para ascenso y descenso de pasajeros, carriles confina-

dos, sistemas inteligentes para la señalización y el prepagado con tarjetas.

Debido a que la capacidad de un sistema de transporte crece de modo directamente proporcional al tamaño del vehículo, la utilización de autobuses articulados incrementa la comodidad de los pasajeros y se sustituye una gran cantidad de autobuses convencionales y microbuses, que son los principales emisores

de gases contaminantes. Dentro de la amplia gama de servicios de transporte público disponibles en la Ciudad de México, el autobús articulado ofrece muchas ventajas con respecto al servicio tradicional de autobuses y si se toma en cuenta el alto costo de la infraestructura para los servicios masivos tales como el Metro y el tren ligero, se amplían las ventajas de este tipo de servicios (Jiménez *et al.*,

---

**PALABRAS CLAVE / Biocombustibles / Medio Ambiente / Movilidad / Sustentabilidad /**

---

Recibido: 05/01/2011. Modificado: 26/01/2012. Aceptado: 30/01/2012.

**Alejandro José Leo Vargas.** Magister en Ingeniería e Ingeniero Civil, Universidad Nacional Autónoma de México. Profesor Investigador, Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMEX), Dirección Uni-

dad Académica Profesional Nezahualcóyotl, UAEMEX. Av. Bordo de Xochiaca S/N Col. Benito Juárez, Cd. Nezahualcóyotl CP 57000, México. e-mail: alexleol4@gmail.com

**Salvador Adame Martínez.** Doctor en Ciencias Ambientales, Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, México. Profesor Investigador, UAEMEX, México.

**José de Jesús Jiménez Jiménez.** Doctor en Arquitectura y Urbanismo, UAEMEX. Profesor Investigador, UAEMEX, México.

## MOBILITY, SUSTAINABILITY AND FUELS OF BRT SYSTEMS IN MEXICO

Alejandro José Leo Vargas, Salvador Adame Martínez and José de Jesús Jiménez Jiménez

### SUMMARY

*The present work focuses on the study of mobility, sustainability and fuels of Bus Rapid Transit (BRT) systems from the environmental point of view; as the latter are closely related to the environment, their importance increases around the world, and because of their recent implementation in some cities of Mexico. Because of BRT buses, equipped with high capacity in-*

*ternal combustion engines, are the principal component of this type of systems, topics are treated that have a direct relation with the use of fuels and transportation, such as urban mobility, sustainability and environment, urban transport and different kinds of fuels for BRT buses.*

## MOBILIDADE, SUSTENTABILIDADE E COMBUSTÍVEIS DOS SISTEMAS DE TRANSPORTE RÁPIDO DE ÔNIBUS ARTICULADO NO MÉXICO

Alejandro José Leo Vargas, Salvador Adame Martínez e José de Jesús Jiménez Jiménez

### RESUMO

*O presente trabalho se foca no estudo da mobilidade, a sustentabilidade e combustíveis, desde o ponto de vista ambiental dos Sistemas de Transporte Rápido de ônibus articulado (BRT, do inglês Bus Rapid Transit), por sua estreita relação com o meio ambiente, por sua importância a nível mundial e por sua recente implementação em algumas cidades do México. Devido a que os ônibus articulados, equipados com motores de com-*

*bustão interna de grande capacidade, são o principal componente dos sistemas BRT, se abordam os temas que têm relação direta com o uso de combustíveis e o transporte, tais como a mobilidade urbana, a sustentabilidade relacionada com o meio ambiente, o transporte urbano, e os tipos de combustíveis utilizados pelos ônibus articulados de ditos sistemas.*

2009). El autobús articulado se conforma por dos o más unidades de transporte para obtener un vehículo ampliado en capacidad y dimensiones físicas. Estas unidades funcionan con base en un esquema de operaciones en las que se combinan espaciamento entre paradas, carriles exclusivos y sistemas autónomos para el control de tráfico, entre otros.

En el presente trabajo se analizan temas que inciden directamente en el funcionamiento de los sistemas BRT, tales como la movilidad y sustentabilidad del sistema, además de los combustibles utilizados en los autobuses articulados para determinar la posibilidad de usar biocombustibles de acuerdo con las características propias de cada sistema, para brindar un mejor servicio de transporte y, con esto, reducir el impacto sobre el medio ambiente debido a la contaminación.

### La Movilidad

En la vida urbana, la movilidad es el derecho al libre

desplazamiento en condiciones óptimas de relación entre medio ambiente, espacio público e infraestructura. La movilidad urbana tiene relación directa con la cultura ciudadana. De acuerdo a Ballén (2007), el derecho a la movilidad se define "...por una parte en función de los intereses que gobiernan los diferentes desplazamientos de las personas. Por otra parte, la movilidad está vinculada a derechos colectivos de gran relevancia en la vida contemporánea como son: medio ambiente, espacio público y accesibilidad universal". En la actualidad, la cultura es un factor que determina el nivel de movilidad de una ciudad, debido a que por lo común los habitantes están sometidos a altos niveles de estrés, lo que puede provocar congestiones viales y accidentes, por lo que el nivel de cultura de los ciudadanos va a incidir en el nivel de movilidad. De acuerdo a la definición del derecho a la movilidad, los intereses de las personas están en fun-

ción de sus necesidades de desplazamiento, principalmente a lugares de trabajo y vivienda, además de los de recreo, compras, etc.

La movilidad se podría entender como la suma de desplazamientos individuales en el caso de viajes en medios de transporte mecanizados, pero el incremento en la movilidad se denota no sólo en el aumento del número de desplazamientos sino también por sus distancias y tiempos de viaje. La movilidad crece y se diversifica, los flujos que son cada vez mayores y más dispersos en el espacio, lo son también en el tiempo; lo que provoca una redistribución de los desplazamientos y de los horarios de viaje. Se debe considerar también el comportamiento del tránsito urbano en horas pico y valle, ya que la movilidad tiende a distribuirse en el tiempo.

### Movilidad metropolitana

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) cuenta con un sistema de

transporte urbano inadecuado, cuyos principales efectos negativos son la dificultad de movilidad de los habitantes y los altos niveles de contaminación que deterioran la calidad del aire y la salud de las personas. Es por esto que el Gobierno del Distrito Federal se ha planteado la necesidad de implementar sistemas de transporte urbano eficientes y que al mismo tiempo impulsen los beneficios ambientales, que incluyan el desestímulo del uso del automóvil individual; el adecuado mantenimiento, integración y expansión, con mayor calidad de servicio de los transportes públicos menos contaminantes (Metro, trolebús y camiones de alta capacidad, como el Metrobús); la sustitución de los microbuses por autobuses con tecnología alternativa que tenga un menor impacto ecológico, organizados racional y eficientemente; la ampliación de rutas del transporte público en las zonas populares y su conectividad al sistema troncal; el ordenamiento de la vialidad urbana y las conexio-

nes metropolitanas para superar los congestionamientos viales que provocan los cuellos de botella.

Según Vega (2006), ...“el privilegiar las formas de transporte masivo sobre el individual adquiere una enorme relevancia si se toma en consideración que: el 81% de los viajes metropolitanos se realizan en transporte masivo y sólo el 19% en automóviles particulares; y el uso de sistemas masivos de transporte está asociado con las menores emisiones de contaminantes por pasajero-kilómetro”. El incremento de la movilidad se ha convertido en uno de los elementos más significativos de la transformación metropolitana. Y, en palabras de García (2008), ...“las áreas metropolitanas muestran un escenario caracterizado por una intensa movilidad y un uso extensivo del territorio. En la interpretación de movilidad metropolitana es necesario superar el paradigma de causalidad e introducir el de la dialéctica que implica que existe una relación entre ciudad, transporte y movilidad recíproca y circular en el tiempo, en la que se subrayan sus características temporales, espaciales y sociales”.

En las áreas metropolitanas la movilidad es un factor determinante de su crecimiento, tomando en cuenta el uso extensivo del territorio, al desarrollar enormes proyectos para uso de suelo habitacional, comercial e industrial, entre otros; provocando que la movilidad se intensifique y por ende requiera de una adecuada planeación que contribuya a dicho crecimiento. La movilidad metropolitana se interpreta por su enorme relación que tiene con el arreglo urbano de la ciudad y el transporte, por considerar que va creciendo con el paso del tiempo y en la que se debe de tomar en cuenta la organización del territorio y los aspectos sociales.

#### *Movilidad urbana sustentable*

El concepto de movilidad urbana sustentable es un tér-

mino política y públicamente aceptado, sin embargo, para llevarla a cabo se sugiere desvincular el crecimiento del transporte del crecimiento económico (Lizárraga, 2006). La configuración global del sector transporte genera gran parte de los problemas de sostenibilidad ambiental y energética mundial, y esto explica en gran parte la insostenible movilidad urbana.

Según este autor Lizárraga (2006) ...“la movilidad urbana debe definirse en función de la existencia de un sistema y de unos patrones de transporte capaces de proporcionar los medios y oportunidades para cubrir las necesidades económicas, ambientales y sociales, eficiente y equitativamente, evitando los innecesarios impactos negativos y sus costos asociados”. Dichos patrones sólo se pueden lograr mediante un transporte sustentable, que principalmente garantice la calidad en el servicio en cuanto a tiempos de desplazamiento, la seguridad y el confort, pero también asegure el cuidado del medio ambiente y de la salud, y al mismo tiempo no eleve los costos para contribuir al bienestar social.

Para lograr la movilidad urbana se propone la implementación de un sistema de transporte multimodal sustentable, el cual requiere de tres aspectos: la tecnología, la planificación y la política, ya que con esto se promovería un ahorro energético importante al usar vehículos menos contaminantes, como el Metro, el tren ligero y los autobuses articulados. Debido a que el Metro y los trenes ligeros requieren de grandes inversiones económicas por la infraestructura requerida, resulta más atractiva la opción de los sistemas de transporte rápido de autobús articulado tipo BRT, que no requieren de grandes financiamientos y se implementan relativamente rápido en comparación con los antes mencionados.

La forma de lograr la sustentabilidad en el transporte es mediante el uso de com-

bustibles alternativos como los biocombustibles o la energía eléctrica; actualmente se desarrollan investigaciones para encontrar la mejor forma de producirlos y cobran mayor importancia los que utilizan desechos naturales, como la cáscara de naranja, de agave o de caña, para así evitar atentar contra el uso de productos de primera necesidad como el maíz. El problema que enfrenta su producción es la obtención de las materias primas, por lo que sólo se puede producir en cantidades mínimas y no alcanzaría a satisfacer la demanda total. Por ello, se comenzaría utilizando combustible de origen fósil como el diesel o la gasolina, mezclados con un cierto porcentaje de biocombustibles para ir introduciéndolos al mercado, con la finalidad de que en un futuro se produzcan en masa, y lograr que se utilicen al 100%.

Respecto a la energía eléctrica, esta sería la fuente ideal para lograr la sustentabilidad en los sistemas BRT, pero se ha descartado debido al tipo de autobuses que utilizan, cuyos motores se diseñaron inicialmente para funcionar con diesel y posteriormente los modificaron para usarlos con biodiesel. En el caso de la Ciudad de México existe un sistema de transportes eléctricos denominado Trolebús, el cual se ha deteriorado debido a que el gobierno no ha invertido en su modernización ni en la construcción de nuevas rutas, por lo que la alternativa sería mejorar e incrementar este tipo de sistemas.

De acuerdo con lo anterior, se concluye que la movilidad urbana es un factor muy importante para dotar a los habitantes de las grandes ciudades de un sistema de transporte que satisfaga ampliamente su necesidad de desplazamiento. Sólo entendiendo y tomando en cuenta las bases teóricas de la movilidad se podrán diseñar sistemas de transporte que satisfagan dicha necesidad. Para

esto es necesario tomar en cuenta los avances tecnológicos y aplicarlos correctamente, además de educar a los usuarios en cuanto al cuidado y al uso efectivo del sistema para que se logre la implementación de un sistema de transporte sustentable.

#### **Sustentabilidad y Medio Ambiente**

El concepto de sustentabilidad proviene de durable o sostenible, tomando en cuenta que la definición de un desarrollo sostenible es aquel que “permite la satisfacción de necesidades de las generaciones presentes, sin poner en riesgo a las generaciones futuras de satisfacer los propios, independientemente del paso del tiempo” (Conferencia de la ONU, Estocolmo, 1987). La noción de sustentabilidad se remite a la lógica de las prácticas, donde los efectos considerados deseables son conducidos al campo del conocimiento científico, donde se construyen conceptos para explicar lo real. El concepto de sustentabilidad aplicado a la ciudad, implica la búsqueda y el logro de objetivos fundamentales en torno a la utilización con eficiencia de los insumos utilizados en la producción de los satisfactores urbanos requeridos por la población y al mismo tiempo evitar los efectos negativos de los sistemas derivados del proceso (Jiménez, 2006).

En cuanto al transporte en general, se le debe prestar mayor importancia a la contaminación y su efecto al medio ambiente y a la salud para lograr un transporte sustentable. Esto se relaciona con la capacidad de la ciudad para ser autosuficiente en los insumos requeridos, así como con las formas de organización y actuación de los agentes sociales, económicos y políticos para alcanzar un crecimiento y un desarrollo adecuado y sostenido. En este proceso intervienen la ciencia, la tecnología, la técnica, la disponibilidad de re-

cursos financieros y la cultura, los cuales son directamente proporcionales a los niveles de educación de los actores participantes en los procesos. El desarrollo urbano sustentable realiza la necesidad de reformar los mecanismos de mercado para conseguir las metas de equilibrio entre el desarrollo social y el desarrollo económico, dentro del contexto de la sustentabilidad.

Para Jiménez (2006), ...“en la actualidad, la sustentabilidad se relaciona con el cuidado al medio ambiente, el diseño de tecnologías alternativas, la educación de los individuos y el futuro de la humanidad, entre otros. En sus inicios el movimiento hacia la sustentabilidad se asociaba en gran medida con el cuidado de los recursos y la protección del medio ambiente, con la intención de lograr un desarrollo sostenible”. El concepto de sustentabilidad debe ir acompañado con la preocupación por el medio ambiente, y en el cuidado de los recursos para satisfacer las necesidades de los seres humanos. Mientras que para Ruano (1999) ...“para enfrentar el reto de la sustentabilidad se cuenta con tres tipos de capital: el humano (conocimiento y tecnología), el natural y el artificial (infraestructura)”. El capital más importante es el humano, ya que en primera instancia se requiere de una buena combinación de conocimientos y tecnología, y por otro lado se debe de hacer un uso adecuado de la infraestructura.

Actualmente la sociedad tiene un compromiso muy importante con el medio ambiente, principalmente con el cuidado de los recursos naturales y la calidad del aire. Otro de los aspectos fundamentales que se debe tomar en cuenta para el cumplimiento de dicho compromiso es el uso de suelo, ya que su grado de interacción con los medios de transporte determina la efectividad de la dinámica urbana en la ciudad y por

ende de la sustentabilidad urbana. Los usos de suelo surgen de las necesidades de espacio de la población para el desarrollo de sus actividades. Debido a que existen diversas actividades en la ciudad, para su estudio los usos de suelo se agrupan de acuerdo con su afinidad, tales como: oficinas, industria, comercio, educación, salud, edificios públicos, transporte y residencial.

Respecto al uso de suelo para el transporte, es posible que se den en conjunto otras actividades como el comercio o el trabajo en oficinas, pero por ser la más importante, se le adjudica el nombre de uso de suelo.

Se concluye que la sustentabilidad juega un papel muy importante para enfrentar el reto por la preservación del medio ambiente, ya que sólo convirtiendo a las ciudades en sustentables se podrán evitar los daños irreversibles que provoca la contaminación a los habitantes, a la naturaleza y a la infraestructura.

### Transporte Urbano

Para Molinero (2005) ...“el transporte urbano se concibe como el traslado de personas o carga dentro de una ciudad, desde su origen hasta su destino. Para su análisis se divide en tres categorías de acuerdo con su forma de operar: privado, de alquiler y público”. El transporte privado consiste en la operación de vehículos de baja capacidad y por lo general, es operado por el propietario sobre calles y avenidas. El transporte de alquiler no es operado necesariamente por su propietario y está disponible para quienes puedan pagarlo; por lo general, esta categoría de tránsito no tiene rutas y horarios, como por ejemplo los taxis. El transporte público urbano cuenta con rutas y horarios establecidos y por lo general es de bajo costo; incluye a la categoría de alquiler, ya que también se ofrece al público en general.

El mismo autor (Molinero, 2005) señala que cada cate-

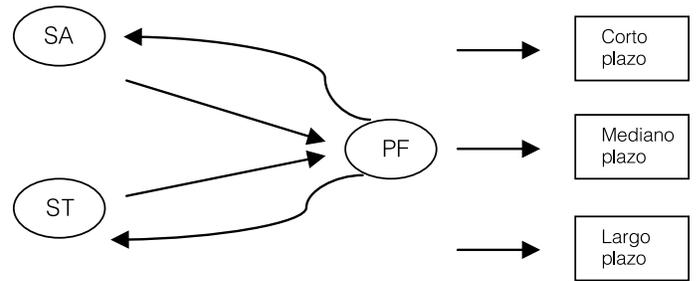


Figura 1: Esquema de Manhein. SA: sistema de actividades, ST: sistema de transporte, PF: patrón de flujos. Tomado de Woywood, 2003.

goría de tránsito se define por tres características principales: derecho de vía, tecnología y el tipo de servicio. El derecho de vía es la porción de terreno perteneciente al sistema de transporte y esta comprende la franja donde circulan los vehículos y otra adicional para seguridad de la misma o para la construcción de inmuebles destinados al control de las operaciones y aspectos administrativos; se mide del eje de la vía a cada uno de los costados. La tecnología se relaciona con el tipo de vehículos utilizados, tales como el tipo y capacidad del motor y autobuses de diferentes capacidades, principalmente. Los tipos de servicio de transporte urbano se dividen principalmente en viajes urbanos, con horario establecido, y los de tiempo de operación.

El uso de suelo y las características de las categorías de tránsito determinan el nivel de funcionalidad del sistema de transporte en la ciudad. El esquema de Manhein (Woywood, 2003) divide a la ciudad en tres elementos, independientes entre sí, que liga únicamente la funcionalidad que existe entre ellos a través del tiempo. Estos tres elementos son: el sistema de transporte (ST), el sistema de actividades (SA) y el patrón de flujos (PF). En la Figura 1 se muestra la relación que existe entre los tres elementos a corto, mediano y largo plazo, donde en el sistema de actividades son todas aquellas que se realizan en la ciudad, de acuerdo con los usos de suelo; en el sistema de

transporte se tiene la infraestructura que se requiere para prestar el servicio, además de la tecnología para el uso de vehículos, señalización y combustibles. El patrón de flujos define el comportamiento de los usuarios, ya que influye en ambos elementos a corto plazo. Se concluye entonces que el sistema de transporte representa la oferta de este servicio y el patrón de flujos su demanda para satisfacer la serie de actividades que ofrece la ciudad.

Dicho esquema ayuda a visualizar la relación que existe entre sus elementos, ya que en primera instancia se tiene que los sistemas de actividades y transporte influyen a corto plazo en el patrón de flujos, debido a que éste requiere de la participación de ambos para funcionar; mientras que la respuesta de éste hacia el sistema de transporte es a mediano plazo por la influencia directa de los usuarios en el servicio; y la respuesta respecto al sistema de actividades es a largo plazo debido a que depende del comportamiento del flujo vehicular y de las nuevas inversiones que se hagan para incrementar la infraestructura y el nivel de servicio.

Además, el transporte urbano se puede clasificar de acuerdo con su ‘familia’. Los modos de transporte urbano se pueden ordenar en ‘familias’ de acuerdo con su capacidad para transportar pasajeros, como los de baja, mediana y alta (Molinero, 2005). En los de baja capaci-

dad se tienen los taxis, que generalmente se usan para viajes sencillos, y los minibuses colectivos, que dan servicio al público en general a lo largo de una ruta. Entre los de mediana capacidad se tienen los autobuses normales que operan en rutas específicas con origen, destino y horario previamente establecido, su capacidad es variable y varía de la correspondiente a los minibuses con 20 a 35 lugares hasta la de los articulados con más de 130 lugares; en esta categoría también se encuentran los trolebuses.

Los de alta capacidad se agrupan en semirrápidos y rápidos; los semirrápidos operan en rutas con amplio derecho de vía y su efectividad en la operación varía de acuerdo con la ubicación y el tamaño del derecho de vía y su tipo, como carriles confinados y calles o rutas exclusivas; los sistemas rápidos también operan en carriles confinados, pero con la ventaja de contar con estaciones fijas y el apoyo de sistemas inteligentes de transporte, por lo que dentro de este modo de transporte urbano se ubica a los sistemas de transporte rápido de autobús articulado BRT.

Los sistemas BRT brindan la calidad del transporte ferroviario y la flexibilidad de los autobuses de pasajeros. Es un sistema que cuenta con autobuses articulados o biarticulados poco contaminantes, estaciones accesibles y seguras, carriles exclusivos y sistemas inteligentes para el prepago y señalización, además de la infraestructura y servicios adecuados para el transporte urbano.

### Tipos de Combustibles

Se abordan los tipos de combustibles que se emplean en los sistemas de transporte rápido de autobús articulado,

TABLA I  
RESERVA MUNDIAL DE PETRÓLEO

País	10 <sup>9</sup> barriles
1. Arabia Saudita	265,3
2. Irak	115,0
3. Kuwait	98,0
4. Irán	96,4
5. Emiratos Árabes Unidos	62,8
6. Rusia	54,3
7. Venezuela	47,6
8. China	46,6
9. Libia	30,0
10. México	26,9
11. Nigeria	24,1
12. Estados Unidos	22,0
13. Argelia	12,7
14. Noruega	10,1

Fuentes: MADR, Goldman Sachs (2007) Portafolio, Internet.

comenzando con los combustibles más comunes y que son más utilizados por ser los primeros y de costo relativamente bajo. Se continúa con los combustibles alternativos, de los que principalmente se tocan los casos del biodiesel y el bioetanol, por ser los biocombustibles que se han utilizado en algunos países como Brasil y Colombia. Además, se revisan los combustibles que utilizan los autobuses articulados de los sistemas de transporte rápido de México.

### Combustibles fósiles

Actualmente, el combustible que principalmente se utiliza en todo el mundo es el de origen fósil. Se denomina 'combustibles fósiles' a aquellas materias primas empleadas en combustión que se han formado a partir de las plantas y otros organismos vivos que existieron en tiempos remotos en la Tierra. El carbón en todas sus variedades, el petróleo y el gas natural son ejemplos de estos productos. El petróleo, líquido oleoso bituminoso de origen natural compuesto por diferentes sustancias orgánicas, también recibe los nombres de petróleo crudo, crudo petrolífero o simplemente 'crudo'. Se encuentra en grandes cantidades bajo la superficie terrestre y se em-

plea como combustible y como materia prima para la industria química (portalplanetasedna.com). Debido a esto, la producción de combustible se ha visto limitada en los últimos años, lo que ha provocado su agotamiento y lo ha encarecido, provocando conflictos entre los países por obtenerlo. En el año 2006 quedaban en el mundo entre 9,9 y 11×10<sup>11</sup> barriles de crudo por extraer. Esto significa que al ritmo actual de consumo mundial las reservas de petróleo se agotarían hacia el año 2043, fecha que podría ser más cercana si el consumo de energía aumentara, como se prevé que ocurra por parte de los países en vías de desarrollo (Feal, 2008). En la Tabla I se muestra que México ocupa el décimo lugar en reservas, por debajo de Venezuela que está en el séptimo lugar y por arriba de los EEUU, que ocupa el doceavo. Esto indica que las reservas del continente americano no son muchas, ya que el total de los tres países de 96,5×10<sup>9</sup> barriles sigue por debajo de Arabia Saudita, Irak y Kuwait. Esto significa que nuestras reservas se terminarán mucho antes, por lo que muy pronto será necesario importar petróleo de aquellos países o de buscar otras alternativas para satisfacer la demanda de energía.

Las tres zonas que concentran la producción mundial de petróleo son Oriente Medio, la antigua Unión Soviética y EEUU; de ellas procede ~70% del crudo del mundo. Sin duda, la región más importante es la de Oriente Medio, que reúne las condiciones óptimas para la explotación de este hidrocarburo: abundancia de domos salinos que crean grandes bolsas de petróleo, una inmejorable ubicación geográfica y una orografía que facilita la construcción de canalizaciones que permiten

el transporte hasta los puertos de crudo. Arabia Saudita, con casi el 12% de la producción total, es el mayor productor del mundo (Feal, 2008). El caso de los EEUU es peculiar, pese a beneficiarse de una producción muy alta, resulta insuficiente para satisfacer su consumo interno, por lo que se ve obligado a importar petróleo. La tercera zona en discordia son los territorios que formaban la antigua URSS, que extrae suficiente crudo como para cubrir sus necesidades e incluso para exportarlo. Sin embargo, no hay que olvidarse de otros países clave en el mapa del oro negro: Venezuela, México y China. Cada uno aporta casi el 5% de la producción mundial.

La distribución del petróleo en el mundo es muy irregular, lo que provoca que muchos países lo importen del Oriente Medio, incluyendo al más poderoso del mundo, para satisfacer su gran demanda de combustible. En la Tabla II se muestran los países productores de petróleo, donde se observa que la Empresa Petróleos Mexicanos (PEMEX) ocupa el quinto lugar por debajo de la estadounidense que apenas ocupa el cuarto, pero por arriba de la venezolana, lo que significa que a pesar de no tener grandes reservas de petróleo, el consumo en México es muy grande y por ende, en el futuro estará obligado a importar, ya que sus reservas se agotarán mucho antes que las de otros países, principalmente los del Oriente Medio.

Debido al inevitable agotamiento de los combustibles fósiles, al incremento en su costo y a que provocará daños irreversibles a la salud de los habitantes de las grandes ciudades y a su medio ambiente, el llevar a cabo investigaciones sobre la producción de combustibles alternativos que contribuyan a mitigar dichos efectos, pero sin descuidar la producción de recursos para el consumo humano, se convierte en algo urgente. El mundo ha tenido que buscar y

TABLA II  
COMPAÑÍAS PRODUCTORAS DE PETRÓLEO

Compañía	País	Barriles por día
1. Gazprom	Rusia	9,606
2. Saudi Aramco	Arabia Saudita	8,613
3. NIOC	Irán	4,509
4. Exxon Mobill*	Estados Unidos	4,406
5. PEMEX	México	4,169
6. Royal Dutch/Shell*	Holanda	3,685
7. PDV	Venezuela	3,640
8. BP*	Reino Unido	3,107
9. Sanatrach	Argelia	2,788
10. NOC	Irak	2,583

\* Privadas

Fuente: MADR, Goldman Sachs (2007) Portafolio, Internet.

desarrollar energías alternativas o tecnologías limpias como los biocombustibles, debido a los altos precios del petróleo, el agotamiento de las reservas internacionales de crudo, y los efectos en el medio ambiente causados por las emisiones de CO<sub>2</sub> (Gómez, 2008). Sin embargo, la producción de biocombustibles puede provocar impactos ambientales negativos, como afectar el desarrollo sostenible y la producción de alimentos, afectación a los ecosistemas locales y regionales por la sobreexplotación de las zonas de cultivo para la obtención de sus materias primas y los impactos a la flora y la fauna.

#### Combustibles alternativos

Actualmente, la gran demanda de combustibles se satisface principalmente con productos derivados del petróleo, pero debido a que las reservas son limitadas y a que sólo se encuentran en algunas partes del mundo, su escasez provoca que se busquen otras alternativas para satisfacer necesidades como el transporte. Es por eso que día con día son más atractivas las energías renovables para los usuarios de todo tipo de vehículos. Tomando en cuenta que las reservas de petróleo se terminarán en algunas décadas y que la demanda mundial de combustible continúa creciendo, la forma más adecuada de satisfacerla es utilizar bio-

combustibles tales como el biodiesel y el bioetanol, que están dando buenos resultados a nivel mundial.

Con la producción de biocombustibles no solo se trata de sustituir energías no renovables, sino además de fomentar una demanda sostenible y un uso eficiente de los recursos. Por ello es importante realizar un balance energético de la producción de biocombustibles con cada materia prima, establecer qué energía se requiere para producirlo, cuál es el precio del barril de petróleo que hace viable su desarrollo, diseñar un marco conceptual para evaluar el impacto ambiental y esbozar algunos criterios para la formulación de políticas públicas para su desarrollo.

*Biodiesel.* El biodiesel es un biocombustible líquido o gaseoso que se puede utilizar en el sector transporte y por lo general es producido con biomasa. Existen más de 350 materias primas para producir biodiesel, pero las más comunes son: aceite de: soya, palma, girasol, cártamo, semillas de algodón y de cacahuate. En la Tabla III se muestran algunas de las principales materias primas para producir biodiesel y además, se indican su rendimiento y costo del barril en USD del 2009.

El gobierno de Colombia ha impulsado el desarrollo y búsqueda de nuevas fuentes de energía renovable, sostenible con el creciente ritmo de vida, reemplazando de manera

TABLA III  
MATERIAS PRIMAS PARA PRODUCIR BIODIESEL

Producto	Rendimiento (ha/año)	Rendimiento (ton/ha)	Costo estimado del barril (USD)
Caña de azúcar	9000	100	45
Yuca	4500	25	
Remolacha	5000		100
Sorgo dulce	1189		
Celulosa			305
Maíz	3200	10	83
Palma	5550		
Cocotero	4200		
Higuerilla	2600		
Aguacate	2460		
Jatropha	1159		43
Colza	1100		
Cacahuete	990		
Soya	840		122
Colza			125
Trigo			125
Girasol	890		
Petróleo			70-80

Fuente: MADR, Goldman Sachs (2007) Portafolio, Internet.

parcial el petróleo o sus derivados en diferentes aplicaciones, sobre todo en el sector de transporte. En el contexto de la política de sustitución de energéticos, el agotamiento de reservas, evitar el alza en los costos por importación y disminuir el impacto por las emisiones gaseosas y de material particulado a la atmósfera, representa para la industria de biocombustibles una enorme oportunidad como consecuencia del aumento del precio del petróleo. Oportunidad sustentada en un marco normativo y regulatorio de la producción de agroenergéticos, en particular la Ley 693 de 2001, que plantea una inicial sustitución del 5% de gasolina por alcohol, hoy ampliada al 10%, para el 2010 y 12% para el 2012; proporciones similares de sustitución para el caso diesel-biodiesel (Cortés *et al.*, 2009). Resulta evidente que en países como Colombia, se están creando leyes que obligan a los expendedores de combustible a mezclar los de origen fósil con ciertos porcentajes de biocombustibles con la intención de aumentar año con año la proporción y en un futuro muy cercano, utilizarlo al cien por ciento.

Los gobiernos se están preocupando en destinar millones de hectáreas de tierra para la producción de bioenergía pero, además, de satisfacer las necesidades alimentarias de la población. Debido a esto, se han hecho estimaciones para repartir las zonas de cultivo y se ha concluido que por cada hectárea de la zona de cultivo que se dedique a la producción de biocombustibles, se dediquen al menos dos hectáreas para la agricultura, asegurando con esto la dotación de productos básicos para alimentos.

*Etanol.* Para el caso de vehículos con motores a gasolina, el biocombustible con el que comúnmente se mezcla para lograr un mejor combustible y menos contaminante es el bioetanol. El bioetanol, o simplemente etanol, tiene como base el alcohol etílico y es el componente biogénico más importante de la biogasolina. Puede utilizarse como combustible directamente, mezclado con la gasolina en diversas proporciones o tras su conversión en etil terbutil éter (ETBE), y es el biocarburante con mayor capacidad de producción a nivel mun-

dial. Con respecto a la producción de etanol, Colombia empezó a implementar la iniciativa de alcohol carburante a partir de caña de azúcar. En la actualidad están funcionando cinco plantas de los ingenios Incauca, Providencia, Manuelita, Mayagüez y Risaralda, que producen diariamente cerca de 1050000 litros de alcohol carburante, y cuya producción se destina principalmente a abastecer el mercado nacional. Se estima una demanda nacional cercana a  $1,5 \times 10^5$  litros al día para cubrir las necesidades de mezcla del 10% (Cortés *et al.*, 2009).

Es evidente la preocupación a nivel mundial por impulsar el mercado de los biocombustibles; sin embargo, es un proyecto que requiere un gran financiamiento y sólo los países desarrollados pueden lograrlo, a pesar de que otros como Brasil, Colombia y México han comenzado con su producción, pero a muy baja escala. Según afirma Gómez (2008), "...en el ámbito de la producción de energías renovables, en marzo de 2007, los presidentes Bush y Lula firmaron un memorando de entendimiento en el que manifestaron su intención de cooperar en investigación e impulsar la producción y exportación del etanol en el mundo con miras a crear un mercado global de biocombustibles. Su instrumentación puede significar nuevas inversiones en América Latina, una menor dependencia del petróleo y un nuevo momento para el desarrollo de la industria automotriz".

Se pretende tomar en cuenta los acuerdos a nivel mundial para adecuarlos al caso mexicano y comenzar con la producción en masa de biocombustibles y promover su uso para que en un futuro cercano sea de carácter obligatorio.

### Combustibles Utilizados en los Sistemas BRT

Los tipos de combustibles comúnmente utilizados por

TABLA IV  
MOTORES Y COMBUSTIBLES DEL METROBÚS

Motores	Diesel (ppmS)
Euro III	300
Euro IV	50
Euro V	15

Fuente: Centro de Transporte Sustentable CTS (2009).

los vehículos para transporte urbano en la Ciudad de México son de origen fósil, tales como diesel 15, 30 y 50ppmS (partes por millón de azufre), gas natural comprimido (GNC), gas licuado de petróleo (GLP) y gasolina.

Debido a que dichos combustibles son altamente contaminantes y a que se han usado siempre, la empresa Metrobús de la Ciudad de México se ha preocupado en introducir mejor tecnología en los motores de sus autobuses y el diesel menos contaminante, pero esto no se ha logrado en todos los casos debido a la gran inversión que se requiere. Los tipos de motores y combustibles que utilizan los autobuses del sistema Metrobús se muestran en la Tabla IV.

El diesel normal de 300ppmS es el más utilizado por los autobuses de la línea 1 y 2 del metrobús, pero desde el año 2009 algunos autobuses de dichas líneas han estado utilizando motores Euro IV con diesel de 50ppm, en conjunto con un compuesto denominado Ad-Blue, que es un producto sintético que reduce las emisiones de los vehículos pesados. A futuro se pretende utilizar en ambas líneas motores Euro V con diesel de 15ppmS para reducir aún más la emisión de gases contaminantes a la atmósfera.

Cabe señalar que de acuerdo con la empresa Metrobús, sólo se tiene contemplado seguir utilizando el diesel como combustible, por lo que se propone iniciar con el uso de biocombustibles y de una tecnología adecuada para contribuir al cuidado del medio ambiente.

### Conclusiones

Los conceptos de movilidad y sustentabilidad juegan un papel muy importante en el estudio de los combustibles para el transporte urbano, debido a que inciden directamente en la determinación del más adecuado, de acuerdo con sus características de operación, tecnología, infraestructura, el uso de suelo y el ordenamiento urbano y del sistema vial.

La introducción de los biocombustibles al transporte se está convirtiendo en una necesidad, por disminuir la emisión de gases contaminantes a la atmósfera y con esto frenar el cambio climático y el calentamiento global del planeta.

Existe la controversia a nivel mundial en decidir si se producen biocombustibles utilizando productos de primera necesidad como el maíz o la caña de azúcar, por lo que se debe invertir más en aquellos en los que se utilizan residuos naturales como los de naranja o de agave.

Los sistemas de transporte rápido de autobús articulado son una excelente opción para el transporte masivo por su bajo costo y rapidez en su implementación, en comparación con otros sistemas como el ferroviario y el Metro de la Ciudad de México.

### REFERENCIAS

- Ayhan D (2007) Importance of biodiesel as transportation fuel. *Energy Policy* 35: 4661-4670.
- Ballén F (2007) Derecho a la movilidad. La experiencia de Bogotá D. C. *Prolegómenos* 10: 169-181.

- Cortés E, Suárez H, Pardo S (2009) Biocombustibles y autosuficiencia energética. *Dyna* 76: 101-110.
- CTS (2009) *Metrobús: Una Fórmula Ganadora*. Centro de Transporte Sustentable de México. pp. 35-49.
- Feal J (2008) *El Mundo Actual del Petróleo*. Boletín de información. CESEDEN. Madrid, España. pp 12-20.
- García J (2008) Incidencia entre la movilidad de los principales factores de un modelo metropolitano cambiante. *Eure* 34: 5-23.
- Gómez D (2008) Seguridad energética y biocombustible. Un acercamiento a sus implicaciones. *Prolegómenos* 11: 109-117.
- Jiménez J (2006) *Un Marco Histórico-Contextual para el Análisis de la Sustentabilidad Urbana*. Universidad Autónoma del Estado de México. pp 10-11.
- Jiménez J, Álvarez A, De Hoyos J, Sánchez L (2009) *Transporte y Movilidad en el Marco de la Sustentabilidad y Competitividad de la Ciudad Posmoderna*. Ponencia presentada en el Coloquio Internacional de Diseño 2009. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Lizárraga C (2006) *Movilidad urbana sostenible: un reto para las ciudades del siglo XXI*. Economía, Sociedad y Territorio, Vol. VI N° 22. El Colegio Mexiquense A.C. Toluca México. pp 19-24.
- MADR, Goldman Sachs (2007) Portafolio, Internet.
- Molinero A (2005) *Transporte Público: Planeación, Diseño, Operación y Administración*. Universidad Autónoma del Estado de México. pp 112-117.
- Ruano, M (1999) *Ecourbanismo. Entornos urbanos sostenibles: 60 proyectos (Sustainable human settlements: 60 case studies)*. Editorial Gustavo Gili, Barcelona, España. 192 pp.
- Vega E (2006) *Pruebas en Campo de Autobuses de Tecnologías Alternativas en la Ciudad de México*. Reporte Final. Secretaría del Medio Ambiente. México. pp. 17-19.
- Villamañán R, Valero J, Chamorro C, Segovia J (2009) Los biocombustibles como política energética, hacia la sostenibilidad en el sector del transporte. *Rev. Inv. Polit. Sociol.* 8: 13-22.
- Woywood M (2003) Transporte urbano: un modelo a seguir. *Urbano* 6: 24-30.