

# Comparación de los sistemas de transporte rápido de autobús articulado de México



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

Recepción: 3 de febrero de 2012

Aceptación: 8 de junio de 2012

\* Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México, México.

\*\* Facultad de Planeación, Universidad Autónoma del Estado de México, México.

\*\*\* Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma del Estado de México, México.

Correos electrónicos: alexleo14@gmail.com; adame\_ms@yahoo.com y jjjj\_jimenez@yahoo.com.mx

**Resumen.** Se abordan cuatro sistemas BRT (por sus siglas en inglés de Bus Rapid Transit) de México: Metrobús de la Ciudad de México, Macrobus de la Ciudad de Guadalajara, Jalisco, Optibús de la Ciudad de León Guanajuato y Mexibús del Estado de México; con el fin de identificar sus características en cuanto a la tecnología, combustibles e infraestructura, para compararlos y determinar sus ventajas y desventajas tanto ambientales como operacionales. Con el objetivo de determinar cuál de estos sistemas está operando de manera óptima con respecto al cuidado del medio ambiente y al servicio de transporte.

**Palabras clave:** BRT, Carriles Confinados, sistema, simulación, Intelligent Transportation Systems.

## Comparison of four Bus Rapid Transit Systems in Mexico

**Abstract.** Four Mexican BRT (Bus Rapid Transit) systems are compared: Metrobús of Mexico City, Macrobus of Guadalajara, Jalisco, Optibús of León Guanajuato and Mexibús of the State of Mexico; in order to identify their characteristics in technology, fuel and infrastructure, to compare them and determine the advantages and disadvantages of both their environmental and operational characteristics. The aim is to decide which of these systems is optimally operating with respect to caring for the environment and the quality of transportation service.

**Key words:** BRT, exclusive tracks, system, simulation, Intelligent Transportation Systems.

## Introducción

Se comparan los sistemas de transporte rápido de autobús articulado (BRT, por sus siglas en inglés de Bus Rapid Transit) de México, con el objetivo de identificar su eficiencia desde el punto de vista ambiental, de acuerdo con su tecnología, el uso de combustibles e infraestructura, para determinar sus ventajas y desventajas tanto ambientales como operacionales. Los sistemas BRT son un modo de transporte rápido que brindan la calidad del transporte ferroviario y la flexibilidad de los autobuses de pasajeros. Es un sistema de transporte que cuenta con: estaciones accesibles y seguras, autobuses articulados y biarticulados poco contaminantes, carriles confinados o exclusivos y sistemas inteligentes para el prepagado y señalización.

Las características más importantes de los sistemas de transporte rápido BRT son las siguientes: se pueden implementar rápidamente; su costo es relativamente bajo en comparación con otros sistemas de transporte; utiliza autobuses de alta capacidad articulados y biarticulados; cuenta con estaciones fijas para el ascenso y descenso de pasajeros; pueden circular prácticamente sobre cualquier superficie: terracería, calles, avenidas, carreteras, autopistas, etc.; puede brindar servicios exprés para disminuir el tiempo de traslado; contribuye a la disminución en la emisión de gases contaminantes a la atmósfera.

Dentro de la amplia gama de servicios de transporte público disponibles en la ciudad, 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 (Sistema de Transporte Colectivo Metropolitano) y el tren ligero de la ciudad de México, se amplían las ventajas de este tipo de servicios, los cuales por sus innovadoras características tecnológicas y de operación han hecho que la gente los use con mayor frecuencia y que prácticamente en todas las ciudades medianas y grandes del mundo se estén invirtiendo enormes sumas de dinero para aumentar las redes de servicios articulados para el transporte de personas (Jiménez, Álvarez, De Hoyos, Sánchez, 2009).

Se recomiendan implementar los sistemas BRT en las grandes ciudades en las que prácticamente todo el día existe un gran flujo de pasajeros, que garanticen la necesidad de contar con suficientes vehículos circulando sobre carriles exclusivos. “Para su análisis es conveniente considerar tres tipos de componentes en el sistema. El primer tipo se relaciona con la tecnología, el segundo con el plan de operaciones y el tercero con la interacción entre el sistema y el usuario” (TCRP, 2007). El sistema BRT puede planearse mediante un proceso que resuelva los problemas actuales y futuros para lograr la sustentabilidad.

El presente trabajo se basa en la comparación de cuatro sistemas BRT de la República Mexicana: Metrobús de la ciudad de México, Macrobús de la ciudad de Guadalajara Jalisco, Optibús de la ciudad de León Guanajuato y Mexibús del Estado de México; con el fin de identificar sus características en cuanto a la infraestructura, tecnología, combustibles y el aspecto ambiental para identificar sus ventajas y desventajas tanto ambientales como operacionales, para determinar si están operando de manera óptima con respecto al cuidado del medio ambiente y al servicio de transporte.

## 1. Metrobús de la ciudad de México

### 1. 1. Antecedentes

En el año 2005 el Metrobús inició sus operaciones con la línea 1 en su primera etapa de la estación Indios Verdes a Doctor Gálvez en una longitud de 20 kilómetros y la segunda etapa en 2008 de 10 kilómetros de Doctor Gálvez al monumento al Caminero, para lograr un total de 30 kilómetros de longitud; posteriormente la línea 2 comenzó

a operar de Tepalcates a Tacubaya en el año 2008 en un solo corredor de 20 kilómetros; y en el 2011 inició operaciones la línea 3 de Tenayuca a Etiopía en una longitud de 17 kilómetros logrando una longitud total del sistema Metrobús de 67 kilómetros.

“El Metrobús surgió como una opción de transporte público para la Ciudad de México a mediados del año 2002. Coordinado por la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal y con el apoyo original del Fondo Ambiental Global (Global Environmental Facility) de la Fundación Shell del Banco Mundial, y del World Resources Institute a través del proyecto denominado Introducción de Medidas Amigables con el Clima para el transporte en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM); comenzaron a desarrollarse los estudios y la planeación de un nuevo sistema de transporte masivo, sustentado en autobuses y basado en experiencias latinoamericanas como Curitiba y Bogotá” (CTS México, 2009).

### 1. 2. Tecnología

El Metrobús cuenta con Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) para el prepago con tarjeta única recargable, la entrada a las estaciones mediante sensores que “leen la tarjeta”, y máquinas para la venta y recarga.

El parque vehicular de la línea 1 es de 282 autobuses, de los cuales 13 son biarticulados (con una capacidad de 270 pasajeros) y el resto son articulados (con capacidad para 160 pasajeros); la línea 2 cuenta con 75 unidades y la línea 3 con 54, con lo que se tiene un total de 411 autobuses articulados.

### 1. 3. Combustibles y motores

El diesel normal Ultra Bajo en Azufre (UBA) de 300 ppm S (partes por millón de azufre) es el más utilizado por los autobuses de la línea 1 y 2 del Metrobús y el tipo de motor Euro III, pero desde el año 2009 algunos autobuses de dichas líneas comenzaron a utilizar motores Euro IV con diesel de 50 ppm en conjunto con un compuesto denominado AdBlue que es un producto sintético que reduce las emisiones de los vehículos pesados.

Los tipos de motores y combustibles que utilizan los autobuses del sistema Metrobús se muestran en el cuadro 1.

### 1. 4. Infraestructura

El Metrobús cuenta con estaciones fijas y adecuadas para prestar un servicio tipo metro, con piso elevado a la altura del de los autobuses articulados para agilizar el ascenso y descenso de pasajeros; carriles exclusivos o confinados con separadores denominados “bolardos”.

Cuadro 1. Motores y combustibles del metrobús.

Motores	Diesel UBA (ppm S)
Euro III	300
Euro IV	50
Euro V	15

UBA: Ultra Bajo en Azufre; S: Azufre.  
Fuente: metrobús SA de CV

### **1. 5. Aspecto ambiental**

Para el año 2009, es decir en cuatro años de operación “se dejaron de emitir más de 180 mil toneladas de gases de efecto invernadero, siendo el beneficio anual con las dos líneas en operación superior a 80 mil toneladas que se dejan de emitir. La implementación de Metrobús significa la eliminación, a través de su destrucción (chatarización) de los microbuses obsoletos y contaminantes de más de 12 años de antigüedad que antes circulaban por los corredores que hoy ocupa Metrobús” (CTS México, 2009). Esto significa que en promedio, por cada línea se dejaron de emitir 40 000 toneladas por año de emisiones contaminantes a la atmósfera.

## **2. Macrobus de la ciudad de Guadalajara Jalisco**

### **2. 1. Antecedentes**

En 2009 el Macrobus inició sus operaciones en su fase 1 del corredor de Avenida Independencia, a lo largo de 16 kilómetros, con 27 estaciones fijas y 15 rutas alimentadoras.

### **2. 2. Tecnología**

En todo el sistema se tienen 36 cámaras de circuito cerrado distribuidas en sitios importantes de las estaciones, como en los torniquetes de entrada y salida y a lo largo del andén; sus respectivos monitores se tienen en el Centro de Control de Operaciones, ubicado en la Estación Juárez del tren eléctrico. Dicho centro, “cumple con funciones de monitoreo y operación del sistema, tanto del buen funcionamiento de la ruta troncal, como del cumplimiento en horarios de las rutas alimentadoras. Recibe todos los reportes de problemas en los equipos instalados en las estaciones, por ejemplo, las puertas automáticas, torniquetes, máquinas de venta y recarga de tarjetas, y vía radio se canalizan para su pronta resolución con la única finalidad de ofrecer un servicio de primera calidad al usuario” (SITEUR, 2011).

El parque vehicular está conformado por 41 autobuses articulados marca Volvo con capacidad para 160 pasajeros.

### **2. 3. Motores y combustibles**

El motor que utiliza es de fabricación brasileña, tiene una planta de poder de 340 caballos de fuerza con tecnología Euro IV, la cual emite menos contaminantes a la atmósfera: hasta 30% menos de óxido de nitrógeno y mediante el combustible de Ultra Bajo en Azufre (UBA), se reduce 90% la contaminación por ese elemento químico (de 300 partes por millón a 15 ppm partes por millón de azufre)” (SITEUR, 2011).

### **2. 4. Infraestructura**

El Macrobus utiliza 27 estaciones fijas en su fase I, parecidas al Metrobus, pero con la ventaja que cuenta con puertas eléctricas para el acceso a los autobuses, dándole mayor seguridad a la estación por permanecer completamente cerrada en los periodos que no llega el autobús y durante la noche. También cuenta con carriles exclusivos confinados con bolardos semejantes a los del Metrobus, pero con la ventaja de que el carril se ensancha en todas las estaciones para permitir el rebase de los autobuses y con esto hacer posibles los servicios exprés que sólo se detienen en nueve de las veintisiete estaciones.

### **2. 5. Aspecto ambiental**

“Las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la Calzada Independencia redujeron diariamente de 13 toneladas a solo 3. Conjuntando la reducción de tres corredores del , podría generarse una reducción de 120 mil toneladas de CO<sub>2</sub>” (SITEUR, 2011). Lo que significa que para 2011 se dejaron de emitir 10 toneladas de gases contaminantes a la atmósfera al día, que traducidas por año se tienen 3 650 toneladas reducidas por la fase 1.

Con la implementación de este tipo de sistemas masivos de transporte, se considera la sustitución de árboles con programas de compensación; “como parte de un plan estructurado del diseño del paisaje, se ha proyectado la plantación de cerca de tres mil árboles nuevos en el corredor y diez mil ejemplares más como compensación ambiental al H. Ayuntamiento de Guadalajara, para ser instalados en las zonas aledañas al Corredor Independencia” (SITEUR, 2011).

## **3. Optibus de la ciudad de León, Guanajuato**

### **3. 1. Antecedentes**

“El Sistema Integrado de Transporte (SIT) o simplemente Optibus es el sistema de transporte masivo urbano que utiliza la ciudad de León, Guanajuato. Su inauguración fue el 23 de septiembre de 2003. Está basado en la red de transporte como es la Red Integrada de Transporte en la ciudad brasileña de Curitiba, o específicamente el TransMilenio de la ciudad de Bogotá, Colombia. El sistema fue el primero de su tipo en México, antes que se implementara en la capital del país como Metrobus” (www.oruga-sit.leon.gob.mx).

### **3. 2. Tecnología**

El Optibus utiliza ITS's para el cobro mediante una tarjeta inteligente general para todo el sistema y su función es parecida a los del Metrobus y Macrobus; pero también tiene la opción de hacer el pago en efectivo, por lo que cada

estación tiene instalada una caseta de cobro en la que existe la posibilidad de hacer fila y con esto retrasar la entrada del usuario al sistema.

El parque vehicular del Sistema Integrado de Transporte Optibús, es de 90 autobuses articulados.

### **3. 3. Motores y combustibles**

El Optibús utiliza motores Euro III y Euro IV con diesel UBA de 300 y 50 ppm S, respectivamente.

### **3. 4. Infraestructura**

El Optibús utiliza 25 estaciones fijas en su ruta troncal: T-01, 32 estaciones en la T-02, 15 estaciones en la T-03, 21 estaciones en la T-04 y 20 estaciones en la T-05; pero algunas de ellas sirven de transferencia entre rutas, por lo que el total de las estaciones de todo el sistema es de 62. Dichas estaciones son semejantes a las del Metrobús al no contar con puertas para el acceso a los autobuses.

A diferencia del Metrobús y el Macrobus, el Optibús no cuenta con un carril exclusivo para las “orugas”, debido a que en los cruces con avenidas importantes se permiten las vueltas izquierdas, con lo que permite invadir el carril, lo que provoca retrasos y posibles accidentes. En cuanto a la promoción del uso de carriles preferenciales o exclusivos, en el 2010 se incrementó el kilometraje de corredores troncales con carril exclusivo de 26 a 30 km.

### **3. 5. Aspecto ambiental**

Antes de la puesta en operación, en 2003 se tenía un total de 1 800 autobuses y para 2010 se redujo a 1 600 por lo que se eliminaron 200 autobuses, en su mayoría viejos y altamente contaminantes. En agosto de 2010 se inauguró la segunda etapa del SIT “que amplió su cobertura de servicio hacia las zonas poniente, sur-poniente y sur-oriente de León, con 29 unidades nuevas articuladas, que vienen a suplir a 90 autobuses normales, lo que también implica reducir el consumo de diesel y la emisión de contaminantes al medio ambiente” (ProAire León, 2010). Con los 90 autobuses que se sustituyeron por las 29 orugas, sumados con los 200 anteriores, hasta el 2011 se tiene un total de 290 autobuses que dejaron de contaminar en la ciudad de León.

## **4. Mexibús del Estado de México**

### **4. 1. Antecedentes**

El Mexibús inició sus operaciones el 2 de octubre de 2010 en su primer corredor de 16.5 kilómetros, del mexipuerto de Ciudad Azteca a la Terminal de Ojo de Agua. Se tiene proyectado alargar esta primera línea hasta el centro del

Municipio de Tecámac y posteriormente hasta el Municipio de Tizayuca en el Estado de Hidalgo.

### **4. 2. Tecnología**

El Mexibús utiliza ITS’s para el cobro que se hace mediante una tarjeta inteligente semejante a la de los otros sistemas BRT, y no tiene la opción de pagar en efectivo como el Macrobus y el Optibús. Además, cuenta con cámaras de seguridad en las estaciones y dispositivos inteligentes de señalización.

El parque vehicular está compuesto por 63 autobuses articulados de la marca Volvo con capacidad para 160 pasajeros. Cuentan con Sistemas de Posicionamiento Global GPS y equipo de control de flota GPRS.

### **4. 3. Motores y combustibles**

“Utilizan motor certificado bajo la Norma con tecnología Euro IV, la cual emite menos contaminantes a la atmósfera mediante el convertidor catalítico con inyección de AdBlue, diesel UBA de 15 ppm, 70% menos partículas suspendidas, 35% menos de emisiones de óxido de nitrógeno; además de pantallas de video y cámaras de seguridad” (Transmasivo S.A. de C.V.).

### **4. 4. Infraestructura**

El Mexibús utiliza 24 estaciones fijas, de las cuales tres son terminales: Ciudad Azteca, Central de Abastos y Ojo de Agua; además de tres estaciones de transbordo con rutas de transporte colectivo: 1ro. de Mayo, Jardines de Morelos y Cuauhtémoc Norte. Cuenta con tres tipos de rutas: la Ordinaria TR1 que hace parada en todas las estaciones, la TR3 Exprés que tiene la ventaja de brindar un servicio más rápido al hacer parada sólo en las seis estaciones con más demanda: UNITEC, Vocacional 3, 1ro. de Mayo, Hospital, Jardines de Morelos y Central de Abastos; y la TR4 que sólo presta servicio entre las terminales de Ciudad Azteca y Central de Abastos.

También cuenta con carriles exclusivos confinados con bolardos semejantes a los del Metrobús, pero con la ventaja que el carril se ensancha a la altura de todas las estaciones para permitir el rebase de los autobuses, de manera semejante al sistema Macrobus.

### **4. 5. Aspecto ambiental**

Se pretende aprovechar la reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera que implica la implementación del Mexibús, tomando en cuenta que se eliminó una gran cantidad de “peseros” y camiones urbanos que circulaban sobre la conocida como Avenida Central, con lo que se redujo significativamente la emisión de contaminantes a la atmósfera.

## 5. Comparación de los casos de estudio

Como resultado de la investigación sobre los sistemas BRT de México, se tiene una matriz de comparación en la que se muestran las variables que permiten identificar las ventajas y desventajas de un sistema sobre otro desde el punto de vista ambiental. En la tabla 2 se muestra la matriz de información al 2011 de los Sistemas BRT en México.

### Conclusiones

El sistema BRT Metrobús es el más grande de la República Mexicana por ser el que atiende a una mayor cantidad de usuarios. A pesar de que inició con problemas por su apresurada inauguración en el 2005; con el paso del tiempo ha mejorado en su operación al incrementar el parque vehicular y su infraestructura.

Se observa una enorme ventaja del Metrobús sobre los otros sistemas en cuanto a equipo e infraestructura por contar con tres líneas con longitud total de 67 kilómetros, y un parque vehicular de 411 autobuses articulados. Además, reporta una enorme reducción en la emisión de contaminantes a la atmósfera en comparación con el sistema Macrobus.

El Macrobus tiene la desventaja de contar con una sola línea de 16.5 km, pero la ventaja sobre el Metrobús y el Optibús de contar con doble carril a la altura de sus estaciones para permitir los servicios exprés. Respecto a la tecnología y la seguridad, este sistema aventaja a los demás por contar con puertas eléctricas en las estaciones para brindar mayor seguridad.

El Optibús tiene la ventaja de ser el primer sistema BRT de la República Mexicana y que ha contribuido a mejorar el transporte de pasajeros en la ciudad de León. Sin embargo, presenta la desventaja de contar con cuatro líneas distribuidas en sólo treinta kilómetros y con carril semiconfinado por permitir las vueltas izquierdas, lo que se traduce en riesgo de accidentes. Además, tiene la desventaja con respecto al Macrobus y Mexibús de no contar con doble carril para permitir el rebase entre autobuses.

El Mexibús aprovecha las ventajas del Macrobus en cuanto a la infraestructura y tecnología para darle mayor seguridad al usuario y un mejor servicio de transporte y por contar también con doble carril para poder brindar servicios exprés. Se considera que el Mexibús y el Macrobus, son los que están operando mejor con respecto a los otros dos; sin embargo, son los de menor tamaño en cuanto a longitud y al parque vehicular.

En general, una desventaja muy importante de los sistemas BRT es que se han provocado diversos accidentes entre los autobuses articulados y los vehículos particulares debido a la poca información por parte del sistema y a la negligencia de los conductores al invadir el carril exclusivo.

Respecto al tipo de cobro, los sistemas Optibús y Macrobus aventajan a los otros dos, por contar con la opción de pagar en efectivo y por usar una tarjeta adicional de descuento. El inconveniente del Optibús es que utiliza casetas en que deben ser atendidas por un cobrador, lo que puede provocar que se hagan filas y con esto retrasar el ingreso del usuario al autobús.

En cuanto a los tipos de motores y combustibles de los cuatro sistemas, se detecta que casi no existe variación entre un sistema y otro, debido a que todos utilizan motores tipo Euro y combustible diesel de 15 y 50 ppm S; el de 300 ppm S se está dejando de usar por ser altamente contaminante.

Referente a la reducción en la emisión de gases contaminantes a la atmósfera, sólo se tienen datos del Metrobus y Macrobus, pero se considera que en los otros dos sistemas también se ha logrado, debido a la considerable eliminación de camiones urbanos de baja capacidad en cada uno de ellos.

Con respecto al análisis prospectivo de este proyecto de investigación, se concluye que para lograr la sustentabilidad en todo el sistema y contribuir mejoramiento del medio ambiente, las empresas que administran los sistemas BRT deben prestar especial atención en el nivel de funcionamiento de las variables estudiadas (tecnología, motores y combustibles, infraestructura y aspecto ambiental).


**Cuadro 2.** Matriz de información de Sistemas BRT en México.

Sistema BRT	Línea	Longitud (km)	Parque vehicular (articulados)	Tarifa (Pesos)	Motor	Diesel UBA (ppm S)	Reducción de contaminantes (ton/año)
Metrobús	1	30	282	5	Euro III, IV, V	300,50,15	40,000
	2	20	75	5	Euro IV	50	40,000
	3	17	54	5	Euro V	15	ND
Macrobus	1	16	41	6	Euro IV	15	3,650
Optibús	1,2,3,4,5	30	90	6	Euro III, IV	300,50	ND
Mexibús	1	16.5	63	5	Euro IV	15	ND

ND = No hay dato; UBA = Ultra bajo en azufre; ppm S = Partes por millón de azufre.

Además, las empresas deben tener presente en la implementación de nuevos sistemas BRT, tomar en cuenta el arreglo urbano de las vialidades para poder alojar un segundo carril a la altura de las estaciones y con esto hacer posibles los servicios exprés, para agilizar el servicio de transporte y esto

se traduzca en beneficio para los usuarios, principalmente en el ahorro de tiempo y el incremento de la seguridad.

Se considera que sólo tomando en cuenta lo anterior se podrán satisfacer las necesidades de transporte de las generaciones presentes, sin poner en riesgo a las futuras. 

## Bibliografía

CTS México (2009). *Metrobús: una fórmula ganadora. Centro de Transporte Sustentable de México A. C.*

Dirección de Movilidad de León Gto. (2010). *Resumen histórico del Sistema Integrado de Transporte SIT.*

Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato (2010). *III Informe de Resultados 2010,*

*ProAire León 2008-2012.*

Jiménez, J.; A. Álvarez; J. De Hoyos y L. Sánchez (2009). *El transporte de autobuses articulados como alternativa para el mejoramiento ambiental y funcional de la ciudad. El diseño ante el deterioro Ambiental.* UAEMÉX.

Metrobús S.A. de C.V. (2009) Ciudad de México.

SITEUR (2011). *Sistema de transportes eléctricos urbanos S.A. de C.V., Zona Metropolitana de Guadalajara.*

TCRP (Transit Cooperative Research Program) (2007). *Federal Transit Administration.* Guía para la implementación de BRT.

Transmasivo S.A. de C.V. (2011). *Municipio de Ecatepec del Estado de México.*

## Bosques y retratos escondidos



“Hay quien cruza el bosque y sólo ve leña para el fuego”  
*León Tolstoi*



*Leopardus pardalis*



*Neoscona sp*



*Hyla eximia*