

Combustibles y Sistemas de Propulsión en el Transporte Público Urbano en Autobús

Fuel and Propulsion Systems in Bus Urban Public Transport

Maeso González E¹, González Sánchez G, Pérez Cerón P.

Abstract (English) The current concerns for the environment, the progressively diminishing oil reserves and the unpredictable rising oil prices have led to the realisation of a need for the sustainable mobility.

This article reviews the degree of development in different types of propulsion systems and fuels, and the experiences in spanish urban public bus systems to determine their viability in terms of efficiency and cost effectiveness.

Resumen (Castellano) La actual preocupación por el medio ambiente, el agotamiento progresivo del petróleo y la incertidumbre de su precio ha generado una general concienciación hacia la necesidad de una movilidad más sostenible.

Este artículo hace una revisión del grado de desarrollo de distintos sistemas de propulsión y combustibles y de las experiencias en distintas ciudades de España, en concreto en lo relativo al transporte urbano en autobús para determinar sus posibilidades de aplicación en términos de eficiencia y rentabilidad.

Keywords: alternative fuels, new technologies, urban public transport, bus.

Palabras clave: combustibles alternativos, nuevas tecnologías, transporte público urbano, autobús.

¹ Elvira Maeso González (✉)

Cátedra de Gestión del Transporte de la Universidad de Málaga. Escuela de Ingenierías. C/
Doctor Ortiz Ramos, s/n. 29071, Málaga, España. Tfno: +34 951927293

e-mail: emaeso@uma.es

1.1 Introducción

La creciente preocupación por el medio ambiente, el agotamiento progresivo del petróleo y la incertidumbre de su precio está generando cada vez una mayor concienciación a favor de una movilidad más sostenible. Son numerosos los argumentos que promueven el cambio de modelo de transporte actual.

El consumo mundial diario de petróleo es de 84 millones de barriles y, en concreto, el sector del transporte de la Unión Europea depende de él en un 96%; se prevé que las reservas probadas de petróleo alcancen cuarenta años (Tricas, 2011). Así pues, encontrar y desarrollar soluciones alternativas al mismo se convierte en una necesidad estratégica de futuro.

Por otra parte, el impacto en el medio ambiente del uso de combustibles fósiles por el sector del transporte es del orden del 33% del total de emisiones de CO₂ y, particularmente, el transporte urbano es responsable de casi el 25% de las emisiones totales.

Por ello actualmente en el marco político y legislativo se manifiesta una decidida voluntad de la Unión Europea por promover el cambio hacia un transporte más limpio, con el fomento del uso de nuevas alternativas de combustibles a través de distintos reglamentos, directivas y planes.

Aunque los nuevos vehículos privados sean más limpios, el transporte colectivo es una pieza clave para el desarrollo de la movilidad sostenible (ATUC-IDAE, 2011). En este contexto, el transporte público urbano constituye un segmento prioritario de mejora, contribuyendo decisivamente a paliar los problemas que genera la movilidad desde la exigencia medioambiental, energética y económica.

1.2 Resumen de Características de los distintos Combustibles y Sistemas de Propulsión para el Transporte Público Urbano en Autobús

Actualmente existen distintas alternativas de sistemas de propulsión y combustibles para los vehículos de transporte público. Focalizando en el aspecto ambiental las opciones estudiadas son: Diésel, Biodiésel, Bioetanol, Gas Natural Comprimido (GNC), Gas Licuado de Petróleo (GLP), Eléctrico, Híbrido Eléctrico (diésel-eléctrico y GNC-eléctrico) e Hidrógeno (tecnología de celdas). A partir de una revisión de la bibliografía y de la consulta directa a operadores de transporte público urbano se realiza una comparativa de las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos, incluyendo los costes de los autobuses con tales tecnologías.

Tabla 1.1 Resumen de Características de los Combustibles

Combustible	Ventajas	Inconvenientes
Diésel	Tecnología confiable y durable. Menor precio combustible. Menor coste adquisición vehículo.	Deterioro de la calidad del aire por elevadas emisiones de NO _x y PM.
Biodiésel	Reducción de contaminantes (gaseosos y partículas), según % biodiésel en mezcla. Producto biodegradable. Mayor seguridad en el almacenamiento (punto de inflamación mayor). Alarga vida del motor. Reciclaje aceite usado. Coste de adquisición similar al diesel.	Menor potencia vehículo. Mayor consumo que diésel. Problemas a bajas temperaturas. Necesidad de adaptación de algunos motores convencionales. Inversión en instalaciones de suministro.
Bioetanol	100% biodegradable (siempre conforme a la proporción en que se utilice). Menor contenido de S y metales pesados. Menores emisiones, hasta un 30% menos de CO ₂ con proporción del 85%. Mejora las prestaciones del motor y aumenta el rendimiento. Potencial ahorro de 36% de energía fósil.	Producción más cara que el procedente del crudo. Poder calorífico más bajo (incrementa un 70% el consumo). Agresivo para algunos plásticos. Irritante en piel y mucosas. Necesidad de modificar el motor para mezclas superiores al 10%.
GNC	Reducciones importantes de todas las emisiones. Menor ruido. Accesibilidad y comodidad en el suministro (red de gas).	Necesaria infraestructura de repostaje. Mayor coste de adquisición vehículo. Menor autonomía. Mayor dificultad en distribución y almacenamiento. Mayor tiempo de llenado.
GLP	Rendimiento y potencia de los vehículos similares a sus equivalentes en gasolina. Fiabilidad técnica similar al motor diésel. Reducción emisiones contaminantes. Reduce niveles de ruido hasta 50%. No contiene S ni plomo ni partículas.	Mayor coste del combustible. Mayor peso de los vehículos. Menor autonomía que vehículos diésel, sólo apto para servicio urbano. Necesidad de infraestructura de suministro, almacenamiento y bombeo.
Eléctrico	No requiere combustible. Cero emisiones en el punto de uso. Mínimo ruido y mayor confortabilidad (vibraciones mínimas). No consume energía cuando se encuentra parado (paradas, semáforos, atascos). Freno regenerativo. Bajos costes de mantenimiento. Menores gastos de funcionamiento.	Coste de adquisición de vehículo. Autonomía limitada (unos 120 Km entre operaciones de recarga). Carga lenta. Velocidad máxima de 50 Km/h. Problemas de potencia en rampas. Baterías grandes y pesadas. Reciclaje de las baterías.

Tabla 1.1 (continúa) Resumen de Características de los Combustibles

Combustible	Ventajas	Inconvenientes
Híbridos	Emiten menos que motor convencional.	Coste adquisición vehículo.
	Buenas prestaciones de velocidad.	Escasa oferta de vehículos en mercado.
	Menor ruido (un 30% menos).	Consumo adicional de energía.
	Menores costes de mantenimiento.	Posibles problemas de potencia en rampas pronunciadas.
	Alcance del combustible 25-50% mayor.	Baterías pesadas.
	Mayor autonomía que eléctrico (hasta 500 Km).	Reciclaje de las baterías.
	Freno regenerativo.	Si es GNC, necesidad de infraestructura.
Pila Hidrógeno	Impacto ambiental en marcha nulo.	Alto coste aplicación y mantenimiento.
	Buen rendimiento.	Necesidad de estación de repostaje para producción y/o almacenamiento de H ₂ , así como compresión y carga.
	Muy silencioso.	Necesario optimizar producción de H ₂ .
	Buena autonomía (unos 300 Km con velocidad máxima de 80 Km/h).	Emissiones de CO ₂ , si no se utilizan energías renovables en la producción de H ₂ .
	Supera pendientes de hasta el 8%.	
	Reducción peso batería.	
	Mat. prima ilimitada para producir H ₂ .	

La Fig. (1.1) representa los costes de los autobuses según los distintos sistemas de propulsión y combustibles. Hay que tener en cuenta que el tamaño de los autobuses considerados es el estándar (de 8-12 m de longitud y con capacidad para 70-120 pasajeros) a excepción del eléctrico, que se trata de un microbús, ya que a día de hoy no es viable un vehículo más grande y pesado con tal tecnología.

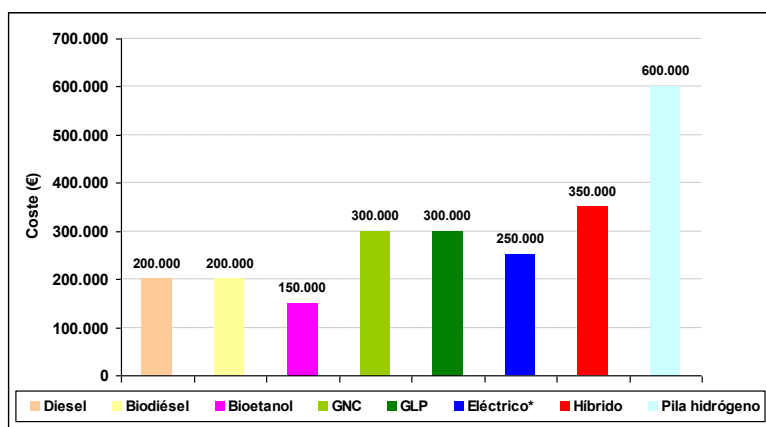


Fig. 1.1 Coste de los autobuses según tecnología y combustible.

*Microbús de 7m de longitud y capacidad para 30 pasajeros, incluye coste de la batería (50.000€).

El vehículo más económico es el que utiliza bioetanol, ya que se considera un motor de combustión convencional, pero las modificaciones necesarias del mismo para mezclas superiores al 10% no se contemplan en el precio del vehículo. Le siguen los que utilizan diésel o biodiésel. Para mezclas superiores al 50% de biodiésel el motor puede presentar problemas y requerir algunas modificaciones que tampoco se incluyen en el precio del vehículo. Le sigue el vehículo eléctrico, a continuación los de GNC y GLP, los híbridos y por último el propulsado mediante pila de hidrógeno, con un coste muy por encima del resto.

1.3 Análisis de los sistemas y combustibles de las flotas de autobuses urbanos

Este análisis se ha realizado comparando las experiencias de las ciudades con mayores flotas de autobuses urbanos. La Tabla 1.2 recoge el número de autobuses en función de la tecnología utilizada en dichas ciudades en el año 2010.

Tabla 1.2 Flota de autobuses urbanos según tecnología y combustible (2010)

	Barcelona	Madrid	Málaga	Sevilla	Valencia
Diesel	623	-	114	-	-
Biodiésel	122	1610	138	213	405
Bioetanol	-	5	-	2	-
GNC	341	465	4	155	75
GLP	-	-	-	-	-
Eléctrico	-	20	1	4	-
Híbrido	4	-	-	-	-
Pila Hidrógeno	-	-	-	-	-
Total flota	1090	2100	257	374	480

En términos generales, si se analiza la presencia de las distintas tecnologías y combustibles en el conjunto de las ciudades estudiadas, se observa un claro predominio de los autobuses que utilizan biodiésel (57,85%), seguidos de los que utilizan GNC (24,18%) y diésel estándar (17,14%). En menor proporción se encuentran autobuses eléctricos (0,58%), de bioetanol (0,16%) e híbridos (0,09%). Las ciudades consultadas no poseen autobuses GLP ni de pila de hidrógeno.

Diésel.

Málaga y Barcelona aún poseen un porcentaje importante de autobuses diésel. Barcelona ha empezado a incorporar filtros de alto rendimiento para reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno y partículas en suspensión en los autobuses propulsados por este combustible, mientras que en Málaga, de los 114, prácticamente la mitad, 51, están mejorados ecológicamente utilizando diésel urea.

Biodiésel.

Los porcentajes sobre el total de la flota oscilan entre Valencia (84,38% de la flota utiliza biodiésel) y Barcelona (11,19%). Las mezclas de biodiésel son diversas: en Barcelona utilizan mayoritariamente B30, en Madrid, Valencia y Málaga B20 y en Sevilla B15.

Bioetanol.

Tan sólo Madrid y Sevilla cuentan con autobuses de bioetanol pero su presencia en la flota es minoritaria, 0,24% y 0,53% respectivamente. En Madrid la mezcla se compone de 95% bioetanol puro y 5% producto desnaturalizante, y los autobuses utilizados son de ciclo diésel con algunas modificaciones. En Sevilla la mezcla utilizada se denomina e-diésel (8% de bioetanol, 1% de aditivos y el resto gasóleo). Esta iniciativa forma parte del proyecto CENIT I+DEA (Investigación y Desarrollo del Etanol en Automoción), en el que participa.

GNC.

Los autobuses de GNC también se encuentran presentes en todas las ciudades, siendo en Sevilla donde mayor proporción ocupan respecto al total de la flota, con un 41,44%. En Málaga el uso de estos autobuses es minoritario, con un 1,56%.

GLP.

No se han encontrado autobuses de GLP en las ciudades consultadas.

Eléctrico.

Sevilla fue pionera en el uso de estos vehículos, que recorren sus calles del centro histórico desde 2007. En Madrid adquirieron 20 microbuses eléctricos a finales de 2007, para que transiten por el centro y en líneas con calles muy estrechas. En Málaga se han realizado dos experiencias piloto con un microbús eléctrico, recorriendo las calles del casco antiguo de la ciudad entre 2008 y 2010.

Híbrido.

Barcelona es la única que dispone de autobuses híbridos, con 4 unidades incorporadas a la flota durante 2010. Además participa en varios proyectos para el impulso de estos vehículos, como el Proyecto Retrofit, que plantea la hibridación haciendo que el motor diésel produzca electricidad sólo cuando es necesario, sin actuar sobre la tracción, siendo la energía generada almacenada en condensadores. Sevilla llevó a cabo un proyecto de prueba de autobús híbrido diésel-eléctrico en una línea, durante septiembre de 2009, con el objetivo de estudiar el rendimiento en servicio urbano. Con el mismo fin, Málaga llevó a cabo otra prueba en septiembre de 2011.

Pila de Hidrógeno.

No se han encontrado autobuses de pila de hidrógeno en las ciudades estudiadas. Madrid y Barcelona realizaron algunas experiencias piloto con esta tecnología

dentro del Proyecto HyFleet CUTE (Clean Urban Transport for Europe) de la Unión Europea. Este proyecto, finalizado en 2009, hizo el seguimiento y demostración de la viabilidad de la operación de 47 autobuses de hidrógeno en 10 ciudades del mundo. Además Madrid también participó en 2003 en la iniciativa europea City Cell, en la que dispuso de un autobús propulsado por hidrógeno.

1.4 Discusión

Como se observa, existe un amplio abanico de alternativas de tecnologías de vehículos y combustibles capaces de reducir la dependencia del petróleo y los problemas medioambientales derivados de su consumo. La elección de una u otra depende principalmente del estado de desarrollo de la tecnología y de las condiciones específicas de movilidad. En particular, deben evaluarse aspectos como el flujo de pasajeros, la disponibilidad del combustible y volatilidad del precio, costo del vehículo, fiabilidad, políticas gubernamentales e impacto ambiental.

En numerosos casos, la elección del tipo de vehículo viene marcada por las limitaciones de las otras tecnologías existentes para un determinado servicio de transporte. Es el caso del vehículo eléctrico puro, que sólo es viable para trayectos cortos principalmente por razones de autonomía y peso de las baterías. La electrificación completa de vehículos mayores con la tecnología actual es prácticamente inviable. Es por ello que las ciudades están avanzando hacia la tecnología híbrida como solución intermedia a corto plazo hasta que se desarrollen e implanten en el mercado autobuses eléctricos capaces de cubrir cualquier ruta.

En referencia al costo de las distintas tecnologías, aunque el autobús más económico es el que utiliza bioetanol, por poder utilizarse con motor convencional para porcentajes inferiores al 10% de este biocombustible, la producción del bioetanol es más cara que la de los combustibles procedentes del crudo y también es mayor su consumo por su menor poder calorífico, lo que hace que las ciudades no estén apostando más por esta tecnología. En GLP y GNC, ante el mismo precio del vehículo, las ciudades prefieren los autobuses de GNC por sus mejores resultados de funcionamiento. El alto coste de los autobuses de hidrógeno junto con todos los obstáculos que presentan a día de hoy debido a su bajo nivel de desarrollo, hacen que no sea una opción que se vaya a generalizar a corto plazo. Pese a que el alto coste de adquisición de ciertos vehículos sea una de las grandes barreras para la diversificación sostenible de las flotas de autobuses, no hay que olvidar que actualmente existen incentivos para fomentar el uso de estas tecnologías y que en muchos casos presentan bajos costes de mantenimiento y menores gastos de funcionamiento que los autobuses convencionales con motor de combustión interna.

Todas las ciudades analizadas, concienciadas a favor de una movilidad más sostenible, están transformando sus flotas de autobuses en otras más amigables con

el medio ambiente a través de la introducción progresiva de vehículos que utilizan combustibles alternativos. No obstante, el uso de autobuses con energías alternativas se limita casi en exclusiva al biodiésel y al GNC. Destacar que todas ellas han participado o están inmersas en proyectos de investigación en este ámbito, obteniendo resultados bastante positivos en el uso de autobuses híbridos, eléctricos e incluso de hidrógeno, lo que revela que cuando se estandaricen estos vehículos y exista una mayor oferta en el mercado serán opciones a tener muy en cuenta.

1.5 Agradecimientos

Los trabajos de este artículo forman parte de la aportación de la Cátedra de Gestión del Transporte de la Universidad de Málaga al Proyecto E-Mobility Accelerator, cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y encuadrado en el Programa Interregional POWER Low Carbon Economies (INTERREG IVC).

A las distintas operadoras de transporte público urbano de las ciudades estudiadas, por proporcionar los datos necesarios para llevar a cabo este trabajo y en particular a la EMT de Málaga por su continua colaboración.

1.6 Bibliografía

- ATUC/IDAE, (2009). "Gestión Eficiente del Transporte Colectivo. Guía Técnica: Madrid". ISBN: 978-84-613-4065-1
- Contreras V. (2011). "Los autobuses del futuro". Disponible vía Diario Sur. <http://www.diariosur.es/v/20110925/malaga/autobuses-futuro-20110925.html> documento consultado 24 octubre 2011.
- EMTMADRID (2011). "Informe anual 2010: Un enfoque desde la responsabilidad social corporativa". Madrid 2011.
- López J., Jiménez F. (2011) "Requerimientos energéticos de los vehículos híbridos de transporte urbano de alto tonelaje". DYNA Ingeniería e Industria. Vol. 86-2 p.182-189
- Maeso E., González G. (2011) "Soluciones Sostenibles para el Transporte Público Urbano en Autobús". En: Jornadas Técnicas Greencities Málaga 2011 [S.l.]: [s.n.].
- Pérez P., Maeso E. (2011). "Estudio de viabilidad técnico económica para la implantación de un sistema de autobuses de tránsito rápido (BRT) en la ciudad de Málaga". ETS Ingenieros Industriales. Universidad de Málaga.
- Terrón JA (2010). "El punto de vista del gestor de transporte público: Vehículos eléctricos e híbridos". En: Seminario de Gestión Ambiental: El coche eléctrico, Valladolid 2010, [S.l.]: [s.n.].
- TMB (2011). "Informe Anual 10". Barcelona 2011.
- Tricas A. (2011). "La acción de la Comisión en el área de la movilidad urbana y en el transporte limpio". En: Primeras Jornadas sobre Avances en el Transporte de Carga en Área Urbana, Santander, 2011. [S.l.]: [s.n.].
- TUSSAM (2010). "Distribución flota autobuses". Sevilla: diciembre 2010. Disponible vía Web: <http://www.tussam.es/index.php?id=402> documento referenciado 20 octubre 2011.
- TUSSAM (2011). "Proyecto de Microbuses Eléctricos". Sevilla. Disponible vía Web: <http://www.tussam.es/index.php?id=158> documento referenciado 26 octubre 2011.