

VEHÍCULOS ELÉCTRICOS: EL TRANSPORTE DEL FUTURO



388.4
V425v
J.
P.

sga 68/204

VEHÍCULOS ELÉCTRICOS: EL TRANSPORTE DEL FUTURO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
BIBLIOTECA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE BOGOTÁ
FACULTAD DE ABNRS
CENTRO DE ESTUDIOS ACADÉMICOS

Con el apoyo de:



Catalogación en la publicación Universidad Nacional de Colombia

Vehículos eléctricos : el transporte del futuro / docentes investigadores Ricardo Montezuma ... [et al.] – Bogotá : Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Artes. Centro de Extensión Académica, 2009
204 p. : il.

Incluye referencias bibliográficas e índice

ISBN : 978-958-719-376-3

1. Transporte urbano - Aspectos ambientales 2. Urbanismo - Aspectos ambientales
3. Vehículos eléctricos 4. Bogotá (Colombia) - Condiciones ambientales 5. América Latina - Condiciones ambientales I. Montezuma Enriquez, Ricardo, 1965-

CDD-21 388.4 / 2009

Derechos reservados

© Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá
Facultad de Artes - CEA

ISBN: 978-958-719-376-3

Rector general

Moisés Wasserman Lerner

Vicerrector de Sede

Javier Esteban Colmenares

Fernando Montenegro Lizarralde

Decano Facultad de Artes

Jaime Franky Rodríguez

Vicedecano Académico

Pablo Abril Contreras

Secretaría Académica

Fredy Chaparro Sanabria

Director Centro de Extensión Académica

Andrés Sicard Currea

Director Centro de Divulgación y Medios

Alfonso Espinosa Parada

Director Investigación

Ricardo Montezuma

Asistente de investigación

Javier Satizábal Murcia

Docentes investigadores

Ricardo Montezuma

Ana Luisa Flechas Camacho

Néstor Rojas Roa

Jorge Iván González Borrero

Coinvestigadores

Javier Andrés Satizábal Murcia

Adolfo Ferney Pérez Villota

María Virginia Angulo Salazar

Sandra Mondragón Álvarez

Carolina Rojas Guío

Coordinación editorial

Sandra Mondragón Álvarez

Fundación Ciudad Humana

Corrección de estilo

Martha Elena Reyes

Cecilia Gómez Velásquez

Diseño gráfico

Gabriel Gutiérrez Jara

Fotografías

Las fotografías de la Fundación

Ciudad Humana están autorizadas

por su director, Ricardo Montezuma

Diagramación

Martha Echeverry P.



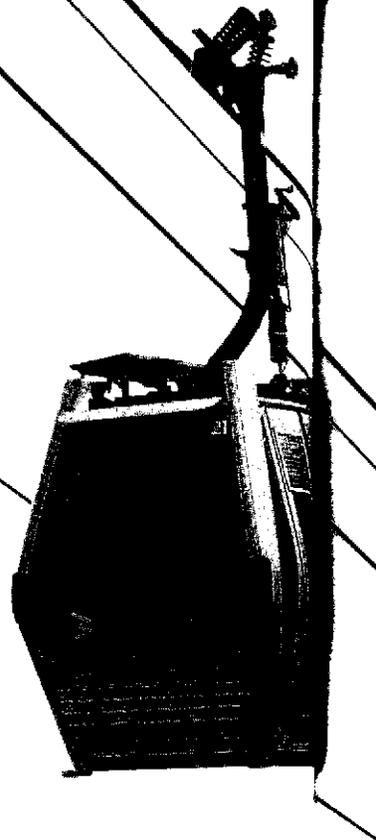
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE BOGOTÁ
FACULTAD DE ARTES
CENTRO DE EXTENSIÓN ACADÉMICA

Con el apoyo de:

 CAMARA
DE COMERCIO DE BOGOTÁ
Por nuestra sociedad

CIUDAD
FUNDACION
HUMANA
www.ciudadhumana.org

 e^u
comités



PRÓLOGO	11
<hr/>	
INTRODUCCIÓN	15
<hr/>	
PRIMERA PARTE	
ANTECEDENTES Y SITUACIÓN ACTUAL DEL USO DE TRACCIÓN ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE URBANO	19
Autor: Ricardo Montezuma	
<hr/>	
○ La tracción eléctrica en vehículos de transporte particular	20
○ La tracción eléctrica en vehículos de transporte público	24
○ Antecedentes del uso de tracción eléctrica en el transporte público en Bogotá	
○ Alternativas del uso de tracción eléctrica en el transporte público urbano	31
○ Vehículos eléctricos híbridos	
○ Vehículos híbridos eléctricos <i>plug-in</i>	
○ Vehículos eléctricos de batería	
○ Vehículos con celda de combustible	
○ Vehículos con alimentación de fuente externa	
○ Situación actual del uso de tracción eléctrica en el transporte público	44
○ Los fabricantes	
○ El renacer del trolebús	
○ La popularidad de los buses híbridos	
○ La reinención del tranvía	
○ Otras alternativas tecnológicas	
SEGUNDA PARTE	
EXPERIENCIAS DEL USO DE TRACCIÓN ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE PÚBLICO URBANO	65
Autor: Javier Satizábal	
<hr/>	
○ México D. F.	65
○ Panorama general del transporte público en Ciudad de México D. F.	
○ San Francisco	75
○ Características generales del Gran San Francisco	
○ Características de la ciudad de San Francisco	
○ Perspectivas	
○ Quito	79
○ Panorama del transporte público en la ciudad	
○ El nacimiento del trole	
○ Operación e infraestructura del trolebús	
○ Características de los trolebuses	
○ Perspectivas	
TERCERA PARTE	
IMPLICACIONES ECONÓMICAS, TÉCNICAS Y AMBIENTALES DEL USO DE TRACCIÓN ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE PÚBLICO URBANO	93
<hr/>	
○ Aspectos técnicos y operacionales	93
Autora: Ana Luisa Flechas Camacho	
○ Aspectos institucionales	
○ Parque automotor	
○ Los conductores	

○	El marco de política y regulación	97
○	○ La movilidad como un servicio público	
○	○ Competencias de los municipios	
○	○ Participación del Gobierno Nacional	
○	○ Instituciones responsables del tránsito y el transporte en las ciudades colombianas	
○	○ Implicaciones en relación con la fase III del sistema TransMilenio	
○	○ Normatividad sobre homologación de equipos de transporte público colectivo urbano de pasajeros	
○	○ Identificación de indicadores sobre diagnóstico técnico-mecánico y operacional de la flota actual, tanto en el servicio de transporte público colectivo como en el sistema TransMilenio	
○	○ Identificación de aspectos técnicos de las alternativas tecnológicas disponibles en el mercado mundial relacionadas con el parque automotor, susceptibles de operar en diferentes zonas de Bogotá	
○	○ Evaluación operacional de tecnologías disponibles	
○	○ Priorización y recomendación de alternativas tecnológicas	
○	Aspectos económicos, financieros y de costos	116
	Autor: Jorge Iván González Borrero	
○	○ Eficiencia y equidad en el transporte público	
○	○ Estado del arte de las tecnologías eléctricas alternativas	
○	○ Relación entre los costos, los beneficios y la sostenibilidad financiera	
○	○ Términos de referencia	
○	Aspectos ambientales	125
	Autor: Néstor Rojas Roa	
CONCLUSIONES GENERALES		
○	La existencia de una tracción eléctrica en el transporte urbano	133
○	Potencial del contexto bogotano y nacional	135
○	Condicionantes locales del cambio tecnológico: ¿de qué dependería la introducción de la tracción eléctrica en bogotá?	136
	BIBLIOGRAFÍA	143
○	Libros y publicaciones	143
○	Referencias en internet	146
	ANEXOS	153
○	Normas vigentes que reglamentan el sector transporte en el ámbito urbano y metropolitano	153
○	○ Relación de principales normas vigentes que reglamentan el sector transporte en el ámbito urbano y metropolitano	
○	○ Normatividad sobre accesibilidad al transporte público a personas con movilidad reducida	
○	○ Normatividad vigente y políticas de combustible del Gobierno	
○	○ Desmante de subsidios	
○	○ Sistemas de transporte masivos como grandes consumidores de ACPM	
○	Documento técnico del servicio de transportes eléctricos de México, D. F.	167
○	○ Servicio de transportes eléctricos de Ciudad de México, D. F.	



“Volver al futuro - El regreso del trolebús”

Hablar del trolebús me recuerda la película de ciencia ficción *Volver al futuro*. Conocido en un principio como el tranvía sin riel, el trolebús es una idea de hace tiempo, que tuvo su auge en las décadas entre 1930 y 1960, para después iniciar un retroceso que parecía relegarlo a la historia. Pero no es así. En una época de renovada conciencia ambiental, en la que el transporte urbano de cero emisiones ha captado el interés del público, el trolebús ha vuelto a ser una de las mejores opciones de transporte alternativo. De hecho, desde una perspectiva de aire limpio, creo que solamente el uso de la bicicleta ofrece una mejor relación costo-beneficio. Mientras que el transporte sobre riel como los metros y tranvías ofrecen alternativas costosas que no todas las ciudades pueden financiar o incluso justificar, el trolebús representa una solución que es eficiente en costos y amable con el medio ambiente. Si se combina con sistemas BRT, el trolebús puede potenciar aún más las ventajas que ofrece cualquier sistema de transporte con carril reservado.

Crecí en San Francisco, California, una ciudad en donde el transporte urbano de tracción eléctrica ha prosperado por generaciones. Con sus 10 líneas de tren y 16 de trolebús, la ciudad se enorgullece de su transporte de cero emisiones. El Tren Municipal de San Francisco “Muni”, el sistema de transporte urbano propiedad de la ciudad, tiene su propia posición acerca del valor del trolebús: aunque las nuevas líneas de tren reciben la mayor atención de la prensa, el trolebús no ha sido descuidado. Recientemente Muni ha comprado 273 nuevos buses, ha expandido algunas rutas y ha reemplazado buses diesel por buses con alimentación eléctrica externa.

Citando a Muni:

A pesar de que su operación es menos flexible que la de los autobuses, los trolebuses son más silenciosos, más eficientes en términos energéticos y mucho menos contaminantes. Los trolebuses funcionan mejor en los cerros, requieren menos mantenimiento y ofrecen más años de servicio que los autobuses. Los trolebuses modernos cuentan con unidades de alimentación auxiliar (APU) que les permite transitar sin conexión a la red por varias cuadras y esquivar cualquier obstáculo en la vía, como una feria o una obra en la calle. El uso de trolebuses suele estar restringido a rutas en donde la alta frecuencia del servicio justifica el costo de instalación de la red eléctrica y de los vehículos.

En este momento me encuentro en Beijing, China, y en algunos días viajaré a Guangzhou, en el sur de China. Ambas ciudades tienen redes de trolebús muy extensas, equipadas con vehículos de última generación. La operación corriente de estos trolebuses se hace con conexión a la red eléctrica y con alimentación auxiliar, pero a diferencia de las unidades de alimentación auxiliar empleadas en muchas ciudades, en estas se usan baterías de compuesto de silicato. Estas baterías se utilizan para la operación en áreas en donde no hay catenarias, y no solamente para desvíos. Al contrario de las unidades de alimentación auxiliar con diesel, tan populares en Norte y Suramérica, los trolebuses de China son realmente de cero emisiones.

En la actualidad, el uso de trolebuses en Estados Unidos es muy bajo. Solamente San Francisco y Seattle tienen sistemas extensos. Otras ciudades del Este, como Dayton, Boston y Filadelfia, tienen redes pequeñas. De hecho, Filadelfia ha clausurado algunas líneas, aunque compró vehículos nuevos para renovar el servicio en tres líneas al norte de la ciudad. Claramente el caso más interesante es el de Boston. Tres líneas de trolebús operan en el área de Harvard, como alimentadores del subterráneo de la ciudad. Esta también inauguró el primer sistema BRT con trolebús en el país: el Silver Line. Aunque la construcción de todo el sistema aún no se ha completado, una de sus secciones conecta el centro de Boston con el Aeropuerto Internacional Logan por medio de un túnel de 2,5 km por debajo de la bahía. En algunas partes del trayecto, incluido el túnel, los buses están conectados a la catenaria, y en otras usan sus motores auxiliares diesel.

El trolebús tiene ventajas y desventajas. El uso de unidades de alimentación auxiliar, ya sean diesel o con batería, ha permitido superar la necesidad del contacto permanente con la red eléctrica, que era el reparo más frecuente a su operación. En donde sea conveniente, la catenaria seguirá siendo la fuente de alimentación principal. Ahora el trolebús podrá transitar libremente por donde se necesite, ofreciendo una alternativa flexible, económica y ecológica. Así como el tranvía ha reencarnado bajo la forma de tren ligero, el trolebús aprovecha lo mejor del pasado para ser parte del futuro.

Dr. John A. Kirchner

Profesor emérito de Geografía y Transportes,
Universidad Estatal de California, Los Ángeles



Vehículos eléctricos: el transporte del futuro compila los resultados principales del estudio Introducción de autobuses eléctricos en el Sistema TransMilenio, que adelantó la Universidad Nacional de Colombia con el apoyo de TransMilenio S.A. En la primera parte se busca explorar el estado de avance, la disponibilidad y las alternativas de vehículos eléctricos para un posible cambio tecnológico. En la segunda, se esbozan los factores económicos, tecnológicos, técnicos, operativos, urbanísticos y ambientales que podrían facilitar o limitar una posible introducción de autobuses eléctricos en la operación del servicio de transporte masivo de Bogotá. En la tercera parte se hace un análisis de implicaciones y se proponen los criterios, las metodologías y los modelos necesarios para evaluar las posibilidades de implementación en Bogotá. Este esfuerzo es un aporte al debate que es preciso iniciar para abordar responsablemente los retos, los desafíos, las oportunidades y los contextos asociados al uso de vehículos eléctricos en el transporte público, e imaginar las posibilidades de su implementación en ciudades como Bogotá y aun en sistemas de transporte masivo como TransMilenio.

