

Germán Jorge Carmona Paredes

Electromovilidad para el transporte público



Trolebús articulado. Foto: Sistema de Transportes Eléctricos.

Para atender los desafíos de la movilidad y la contaminación ambiental en la Ciudad de México, se creó la Red de Electromovilidad, como parte de la Red ECOS, con la participación de las dependencias de gobierno, la academia y la iniciativa privada, para la implementación de proyectos específicos de planeación, evaluación, innovación y desarrollo de tecnologías de electromovilidad.

Introducción

La Ciudad de México (CDMX) ocupa un área de 1495 km², que representa 0.1% de la superficie total del país; tiene una población de 8.9 millones de habitantes; y para 2016 contaba con 5 725 574 vehículos de motor registrados, de los cuales la mayoría corresponde a automóviles, de acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía publicados en 2017. Todo ello hace que esta ciudad presente grandes problemas de movilidad y contaminación ambiental.

Para atender los grandes desafíos, la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación (Sectei) de la Ciudad de México creó la Red ECOS, con la visión de formular soluciones mediante la aplicación del conocimiento científico y la innovación técnica y social a partir de la vinculación de las instituciones académicas con el gobierno, la sociedad y el sector productivo. Como parte de esta red, se creó la Red de Electromovilidad, como un espacio común para discutir los retos y las acciones necesarias para impulsar la electromovilidad en la CDMX, con la participación de la Secretaría de Movilidad (Semovi) y la Secretaría del



Medio Ambiente (Sedema), así como la iniciativa privada y la academia.

■ ■ ■ Antecedentes

■ En el *Plan estratégico de movilidad para la Ciudad de México 2019*, el cual nació de las discusiones que durante el periodo electoral y de transición de gobierno se realizaron en foros ciudadanos y reuniones con expertos, se calificó a la movilidad en la CDMX como “un sistema fragmentado, altamente ineficiente y que profundiza inequidades sociales”. En dicho plan se propone una estrategia basada en la redistribución de tres componentes estructurales de la movilidad urbana: redistribución de modos, redistribución del espacio vial y redistribución de los recursos. Con este enfoque redistributivo se pretenden abordar tres grandes ejes u objetivos estratégicos para la movilidad:

Articulado

Autobús de dos o más secciones tipo módulos; el primer módulo tiene dos ejes en la sección delantera y un tercer eje en la sección trasera (remolque).

1. Integrar los distintos sistemas de transporte de la ciudad para promover los viajes a pie, en bicicleta y en transporte público.
2. Proteger a las personas que utilizan los distintos sistemas de transporte, mediante infraestructura y servicios incluyentes, dignos y seguros.
3. Mejorar la infraestructura y los servicios de transporte existentes, a partir de seis estrategias específicas:
 - 3.1. Rescate y mejora del transporte público.
 - 3.2. Gestión del tránsito y el estacionamiento.
 - 3.3. Regulación de los servicios privados de movilidad.
 - 3.4. Impulso a la innovación y mejora tecnológica.
 - 3.5. Reordenamiento del transporte de carga.
 - 3.6. Mejora de la atención ciudadana.

La primera acción específica para la electromovilidad en la ciudad se enmarca en la primera estrategia del tercer objetivo, y propone recuperar la movilidad en trolebús. De los 1045 trolebuses que llegó a tener el parque vehicular del Sistema de Transportes Eléctricos (STE) en 1986, al inicio de la presente administración solamente contaba con

poco más de 100 unidades en operación, y la totalidad de la flota ya había superado los 20 años en uso, lo que contribuyó a una disminución del número de personas transportadas, de 72.6 millones en 2012 a 55 millones en 2018. La recuperación de la movilidad en trolebús se estableció como una prioridad; para ello, se adquirieron 193 nuevos trolebuses en tan sólo dos años: 63 en 2019 y 130 en 2020, de los cuales 50 son **articulados**. Al final de 2020 el STE operará 300 trolebuses, con el compromiso de llegar a 500 trolebuses para 2024.

La cuarta estrategia específica, para impulsar la innovación y mejora tecnológica, explícitamente plantea como una de sus metas: “generar programas integrales de fomento a la electromovilidad y hoja de ruta hacia la movilidad inteligente en la Ciudad de México”. Para atender esta estrategia, la Red de Electromovilidad propuso desarrollar el Programa de Electromovilidad de la Ciudad de México, el cual se describe a continuación.

■ ■ ■ ¿Por qué y para qué?

■ Es claro que uno de los grandes problemas de la CDMX consiste en que la movilidad para el transporte público y privado está basada en vehículos de combustión interna que circulan por calles y avenidas con una alta congestión vial, lo cual conlleva, además, otro gran problema de la ciudad: la contaminación ambiental. Por ello, la Sectei decidió orientar los esfuerzos de la Red de Electromovilidad a la implementación de los siguientes proyectos específicos de evaluación, innovación y desarrollo de tecnologías de electromovilidad.

1. Mapa de ruta de electromovilidad

Se desarrolló un mapa de ruta (véase la Figura 1), con una visión a 2030, para la planeación estratégica de la electromovilidad en la CDMX. El mapa permite orientar la definición de proyectos e iniciativas enfocadas a fortalecer y generar las capacidades tecnológicas, de infraestructura, regulación, recursos humanos especializados y servicios tecnológicos, entre otros, que se requieren para el desarrollo sustentable de la electromovilidad en la ciudad.

Mapa de ruta de electromovilidad de la Ciudad de México

Estrategia prospectiva de electromovilidad

Áreas de innovación objetivo — AIO CdMx



Figura 1. Mapa de ruta para la electromovilidad de la Ciudad de México. Áreas de oportunidad para la innovación.

2. Laboratorio de evaluación de tecnologías vehiculares

En el mundo se están suscitando grandes cambios para las tecnologías vehiculares; hoy contamos con sistemas motrices basados en sistemas híbridos (combustión interna-eléctrico) y eléctricos, además de los motores de combustión interna. Sin embargo, no conocemos cuál es el desempeño real de cada una de estas tecnologías y cómo se pueden comparar desde el punto de vista de la eficiencia energética y las emisiones. ¿Cómo operan estas tecnologías vehiculares en la CDMX y cómo están implementadas?

Existe una creciente preocupación sobre la forma en que se lleva a cabo el análisis de las emisiones y del uso energético de las tecnologías vehiculares, no sólo después de la experiencia con el *software* para falsificar resultados implementado por Volkswagen en casi 500 000 automóviles con motores diésel en Estados Unidos de América y sus consecuencias para la salud pública, sino también por las dudas acerca de la adaptabilidad de los estudios de emisiones en condiciones geográficas, de mercado, de mantenimiento y de manejo diferentes a las de la CDMX. Hasta la fecha no se sabe, con base en mediciones de campo, cuáles son los factores reales de emisión y uso energético de las distintas tecnologías vehicu-

lares usadas en la ciudad. Para el caso de los automóviles eléctricos, no se han realizado estudios con mediciones de campo que den información real del desempeño desde el punto de vista de la eficiencia energética, ni estudios del efecto de ruido armónico que puede generarse en la red eléctrica como resultado de la carga masiva de los vehículos eléctricos, entre otras cuestiones.

Para poder evaluar los vehículos equipados con cualquiera de los sistemas motrices actuales, disponibles en el mercado, es indispensable contar con un laboratorio equipado con la infraestructura física y de medición necesarias para analizar cada una de estas nuevas tecnologías vehiculares, tanto en pruebas fijas con un **dinamómetro** como en pruebas de campo, ya sea en rutas predefinidas o en uso común bajo condiciones reales de manejo en la CDMX.

3. Desarrollo de sistemas para hibridar vehículos de combustión interna

Una de las principales causas de la cantidad de emisiones de gases contaminantes de los vehículos que transitan en las ciudades del país, y particularmente en la CDMX, es que los motores de combustión interna son muy poco eficientes cuando operan en regímenes de arranque y paro, que es lo más común en

Dinamómetro

También llamado banco dinamométrico, es un dispositivo empleado para medir el par (torque) y la velocidad angular de un motor y, con ello, calcular la potencia mecánica generada.

las condiciones de tráfico que se tiene en las grandes ciudades. El beneficio que se logra con un sistema de tracción híbrida (combustión interna-eléctrico) es mejorar la eficiencia del motor de combustión interna al ponerlo a trabajar en un régimen de operación lo más estable posible, ya que el motor eléctrico será el encargado del trabajo de arranque y paro del vehículo. En este proyecto se desarrollarán sistemas de hibridación para automóviles (de cinco pasajeros) y un sistema de tracción híbrida para un autobús de 6 metros (30 pasajeros), los cuales incorporarán motores de tracción eléctrica para operar en conjunto con el motor de combustión interna. De esta manera, se puede mejorar el rendimiento de los vehículos para disminuir el consumo de combustible y, por lo tanto, las emisiones de gases contaminantes.

4. Desarrollo de mototaxi para la Ciudad de México

En la ciudad operan más de 30 000 mototaxis, distribuidos principalmente en ocho alcaldías y agrupados en al menos 52 organizaciones, los cuales circulan de forma irregular desde hace más de 10 años. En su mayoría, estos vehículos son motocicletas que jalan a una calandria con mecanismos muy rudimentarios y muchas veces muy riesgosos, además de altamente contaminantes. Con el objetivo de regularizar y mejorar las condiciones de este tipo de trans-

porte público, que sin duda es uno de los medios más utilizados en varias alcaldías, se propuso desarrollar un mototaxi considerando los aspectos técnicos y de seguridad necesarios, entre los que destacan que debe ser un monovehículo con tracción eléctrica, con limitación de velocidad máxima, con una estructura resistente a volcaduras y con cinturones de seguridad para todos los ocupantes.

5. Desarrollo de un tren motriz eléctrico para autobús de 9 metros

Según datos de Semovi, los autobuses, microbuses y combis trasladan a más del 80% de los pasajeros en la CDMX. En particular, para el caso de los autobuses de 9 y 11 metros, una gran parte de la flotilla de este tipo de vehículos se renovó durante la administración anterior y, por lo tanto, son vehículos con no más de siete años de antigüedad, pero el estado de sus motores y sistemas de control de emisiones es deplorable. Debido a que estos vehículos todavía tienen bastante “vida legal”, ha sido imposible convencer a los permisionarios de actualizar las unidades, y por ello se decidió explorar la posibilidad de convertir estos vehículos a tracción eléctrica. Para esto se planteó el proyecto de desarrollo de un tren motriz eléctrico, con el menor costo posible, eficiente, confiable y seguro para este tipo de autobuses, encabezado por la empresa Reliance de México, S. A. de C. V.

6. Programa de conversión de taxis de combustión interna a tracción eléctrica

Derivado del proyecto de desarrollo de un tren motriz eléctrico para taxi, llevado a cabo durante la administración anterior por la empresa Potencia Industrial, S. A. de C. V., para la entonces Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación, se realizó la conversión a tracción eléctrica de 15 vehículos Nissan Tsuru (véase la Figura 2), con autonomía de más de 200 km, y que a la fecha han acumulado entre todos más de 1 500 000 km recorridos en más de dos años de operación; con ellos se ha demostrado que este desarrollo ha sido altamente eficiente y totalmente confiable.





Figura 2. Taxi convertido a tracción eléctrica, con 250 km de autonomía y más de 100 000 km recorridos en la Ciudad de México.

Actualmente, mediante el seguimiento de la operación de estos 15 taxis convertidos, se recaba información técnica y económica para conocer sus costos de operación, inversión y mantenimiento. De esta manera, se ha comprobado la viabilidad técnica y financiera de estos vehículos. A partir de ello, se ha planteado un proyecto de conversión de taxis cuyo estado físico sea bueno, el cual pudiera en un corto plazo sustituir motores de combustión interna por sistemas de tracción eléctrica con un costo menor al de adquirir un vehículo eléctrico nuevo.

7. Conversión a tracción eléctrica de 50 unidades de la flota vehicular del gobierno

A partir del éxito demostrado en el proyecto de desarrollo de un tren motriz eléctrico para taxi, la Sec-tei propuso la conversión a tracción eléctrica de 50 unidades de la flota vehicular del Gobierno de la CDMX, a partir de la filosofía de “pregonar con el ejemplo”. Este proyecto aún se encuentra en revisión,

al tiempo que se negocia la participación de las distintas secretarías y dependencias gubernamentales.

8. Evaluación de un minibús eléctrico de origen turco para 22 pasajeros

Hoy día es claro que los vehículos eléctricos, a pesar de su alto costo de adquisición, son económicamente viables para implementar acciones de alto recorrido, como el transporte público y el transporte de mercancías, debido al bajo costo de operación y mantenimiento, comparado con los vehículos de combustión interna. Una de las estrategias consiste en formar alianzas con la industria privada para considerar a la electromovilidad como una oportunidad desde la óptica de la eficiencia energética. Con esta visión, la empresa de energía de origen francés ENGIE ha comprado y traído a México un minibús eléctrico de origen turco, marca Karsan, que será evaluado en una primera fase en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de

México (UNAM), por el Instituto de Ingeniería, en coordinación con la Dirección de Movilidad, responsable del programa Pumabús, con el fin de asegurar que tanto el vehículo como la infraestructura cumplan con su función, además de ayudar a mitigar el riesgo tecnológico.

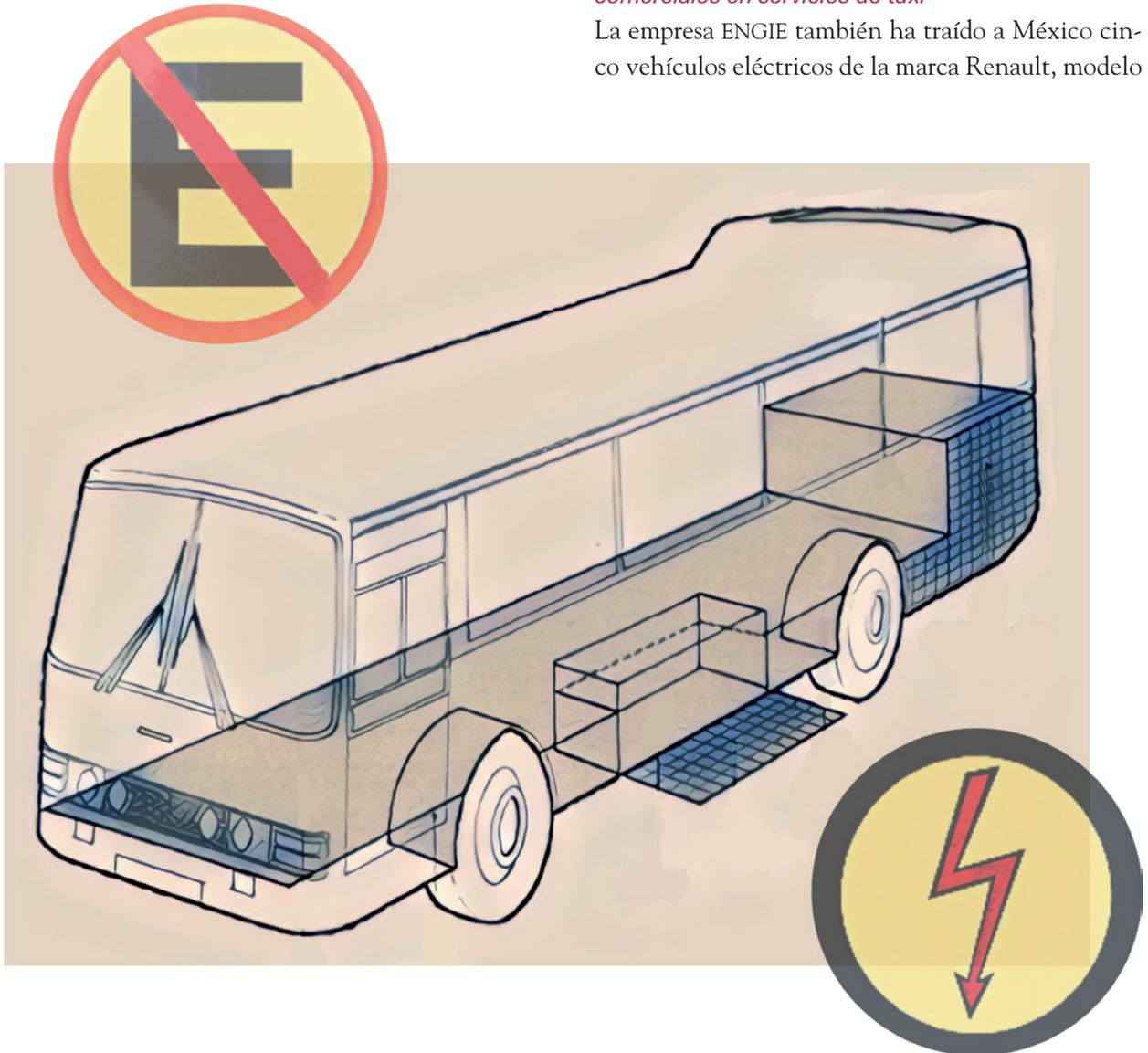
Este minibús tiene capacidad para 22 pasajeros; su puerta se ubica detrás del eje delantero, lo que permite que sea una puerta de acceso amplia en medio del vehículo, con un mecanismo de apertura *outswing* (tipo vagón de metro), además de que cuenta con una rampa que se puede desplegar para el acceso de personas con alguna discapacidad física. Su batería de 88 kWh permite una autonomía de 200 km y una velocidad máxima de 70 km/h, limita-

da por *software* a 50 km/h. La recarga se realizará en una estación inteligente instalada por ENGIE en el Instituto de Ingeniería, con un techo solar de 32 m² y 5 kW, que permitirá compensar parte de la energía consumida y de las emisiones asociadas.

Posteriormente, este vehículo se pondrá en operación en alguna ruta que definirá la Semovi, con el objetivo de evaluarlo como una alternativa de movilidad barrial que sirva de medio de transporte masivo y para la movilidad intrazonal como un servicio de “último tramo” que fortalezca la conectividad de los viajes. En este proyecto también participa la empresa Potencia Industrial, S. A. de C. V., para dar el respaldo técnico y de servicio del vehículo.

9. Evaluación de la operación de vehículos eléctricos comerciales en servicios de taxi

La empresa ENGIE también ha traído a México cinco vehículos eléctricos de la marca Renault, modelo



Zoé, con el objetivo de evaluar su uso como taxi de aplicación, con la empresa DiDi, y como taxi de sitio, en colaboración con la Semovi y el Instituto de Ingeniería de la UNAM. En este último se han estado evaluando dos unidades desde hace más de seis meses para corroborar las especificaciones técnicas de los vehículos y resolver aspectos técnicos importantes para las estaciones de recarga, ya que su proceso de carga está apegado a la norma europea (IEC), por lo que se tuvo que hacer una instalación específica para la estación de carga tipo europea.

10. Evaluación de un autobús articulado eléctrico para Metrobús

Asimismo, la empresa ENGIE propuso implementar un proyecto piloto para evaluar un autobús articulado totalmente eléctrico en el Sistema de Corredores de Transporte Público de Pasajeros de la Ciudad de México Metrobús, en colaboración con la empresa ADO, concesionaria de la línea 3 de este sistema de transporte. El objetivo es demostrar la viabilidad técnica y económica de un vehículo 100% eléctrico de estas dimensiones, y al mismo tiempo disminuir al máximo el riesgo que implica una nueva tecnología en la operación, mantenimiento e infraestructura física y de recarga. La conjunción de gobierno, academia e industria –la llamada triple hélice para la investigación aplicada– es vital para solucionar los retos de la movilidad en las ciudades. Eso es lo que estamos haciendo juntos, de la mano con el Gobierno de la CDMX, el Instituto de Ingeniería de la UNAM y la empresa ENGIE.

¿Qué retos y pasos siguen?

Los proyectos de electromovilidad que se están implementando han dejado en claro que, a pesar de los altos costos de adquisición de los vehículos eléctricos, los bajos costos de operación y de mantenimiento, comparados con los de los vehículos de combustión interna, hacen que la electromovilidad ya sea técnica y financieramente viable para las implementaciones de alto recorrido, como el transporte público en todas sus modalidades.

La transición hacia la electromovilidad es todo un cambio de paradigma; los principales retos son disminuir los costos de adquisición y generar nuevos modelos de financiamiento para que la población pueda tener acceso a estas tecnologías. Es importante crear la infraestructura eléctrica necesaria para abastecer la demanda que tendrán todos estos vehículos. También se requieren diversas reformas y modificaciones al marco jurídico, tanto local como federal, para dar certidumbre a los vehículos eléctricos de fábrica y convertidos. Asimismo, es vital formar alianzas con la industria privada para considerar a la electromovilidad como una oportunidad desde la óptica de la eficiencia energética.

El grupo de trabajo de la Red de Electromovilidad de la Ciudad de México está conformado por: Valentín Bautista Camino, de Reliance de México, S. A. de C. V., con el proyecto “Desarrollo de un tren motriz eléctrico para autobús de 9 metros”; Germán Carmona Paredes, del Instituto de Ingeniería de la UNAM, con el proyecto “Desarrollo de sistemas para hibridar vehículos de combustión interna”; Felipe Gallego Llano, de Potencia Industrial, S. A. de C. V., con el proyecto “Programa de conversión de taxis de combustión interna a tracción eléctrica”; Fernando Ocaña Espinosa, de RZVA, S. C., e Iván Andrés Pérez Torres, de Crecer en Colectivo, S. C., ambos con el proyecto “Desarrollo de mototaxi para la Ciudad de México”; Arturo Palacio Pérez, del Instituto de Ingeniería de la UNAM, con el proyecto “Laboratorio de evaluación de tecnologías vehiculares”; Manuel Sandoval Ríos, con el proyecto “Mapa de ruta de electromovilidad de la Ciudad de México”; Jorge Suárez Velandia, de E-Mobility, ENGIE, con el proyecto “Evaluación de un minibús eléctrico de origen turco para 22 pasajeros”; así como Gerardo Cardoso Espín, René Salvador López Cabrera y José Bernardo Rosas Fernández, de la Sectei.

Germán Jorge Carmona Paredes

Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

gcarmonap@iingen.unam.mx