



HACIA UNA **ELECTROMOVILIDAD PÚBLICA** EN MÉXICO

JORGE CARRILLO
JOSÉ SAÚL DE LOS SANTOS GÓMEZ
JULIO BRIONES



NACIONES UNIDAS

CEPAL



cooperación
alemana

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



Si desea recibir información oportuna sobre nuestros productos editoriales y actividades, le invitamos a registrarse. Podrá definir sus áreas de interés y acceder a nuestros productos en otros formatos.



www.cepal.org/es/publications



www.cepal.org/apps

Hacia una electromovilidad pública en México

Jorge Carrillo
José Saúl de los Santos Gómez
Julio Briones



Este documento fue preparado por Jorge Carrillo, José Saúl de los Santos Gómez y Julio Briones, Consultores de la Unidad de Políticas para el Desarrollo Sostenible, División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos, de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), y contó con la supervisión y sistematización de Luiz Krieger Merico, Oficial de Asuntos Económicos de dicha Unidad, en el marco de las actividades del proyecto CEPAL/Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) "Sendas de desarrollo sostenible para países de ingresos medios en el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en América Latina y el Caribe", del período 2018-2020. Esta publicación se elaboró con el aporte financiero del proyecto mencionado, específicamente las actividades definidas como su producto/clúster 3. El texto representa un resumen de la contribución de la CEPAL a las políticas de desarrollo urbanas propuestas en el ámbito de la Coalición para la Transformación Urbana en México (CTU MX).

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la Organización.

Publicación de las Naciones Unidas
LC/TS.2020/115
Distribución: L
Copyright © Naciones Unidas, 2020
Todos los derechos reservados
Impreso en Naciones Unidas, Santiago
S.20-00368

Esta publicación debe citarse como: J. Carrillo, J. S. de los Santos Gómez y J. Briones, "Hacia una electromovilidad pública en México", *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2020/115), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2020.

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Publicaciones y Servicios Web, publicaciones.cepal@un.org. Los Estados Miembros de las Naciones Unidas y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a la CEPAL de tal reproducción.

Índice

Resumen	7
Introducción	9
I. Desarrollo Industrial	11
A. Las políticas de electromovilidad en México	11
B. El sector automotriz en México	15
C. Programa potencial nacional de electromovilidad	24
1. Ejes del programa	24
II. Impactos de una Electromovilidad Pública	31
A. Estado del arte de la implementación de proyectos de electromovilidad en México	31
1. Zona Metropolitana del Valle de México	32
2. Zona Metropolitana de Guadalajara	34
3. Zona Metropolitana de Monterrey	35
B. Escenarios de impactos potenciales	36
III. Modelos de negocios	45
A. Características del transporte público en México	45
B. Modelos de negocios actuales	53
1. Concesiones individuales ("Hombre-camión")	54
2. Concesiones a organización "ruta-empresa"	55
3. Concesión a una o varias empresas privadas	55
4. Participación público-privada	55
5. Sistema público a través de un organismo público descentralizado	56
C. Análisis de nuevos modelos de negocios	59
1. Sistemas estructurados	62
2. Sistemas no estructurados	63
D. Futuro de la electromovilidad en México: barreras y oportunidades	71

Biobliografía	77
Anexo	81

Cuadros

Cuadro 1	Base productiva instalada en México para componentes de autobuses eléctricos.....	19
Cuadro 2	Instituciones de referencia para apoyo a la industria automotriz en México.....	19
Cuadro 3	Oferta de asistencia técnica y tecnológica de los centros de investigación del CONACYT vinculados a la industria automotriz y de autopartes	21
Cuadro 4	Número de unidades de autobús para transporte público en las 3 principales zonas metropolitanas de México	24
Cuadro 5	Etapas de sustitución de unidades acorde a políticas aplicadas bajo un escenario de cambio acelerado	25
Cuadro 6	Metas de impacto del programa	28
Cuadro 7	Criterios cualitativos para la construcción de escenarios.....	37
Cuadro 8	Proyección de impactos agregados –unidades en uso - para las ZM del Valle de México, Guadalajara y Monterrey	38
Cuadro 9	Escenario A tendencial	40
Cuadro 10	Escenario B sustitución paulatina	41
Cuadro 11	Escenario C cambio acelerado	42
Cuadro 12	Servicios de transporte público ofrecidos en la Zona Metropolitana del Valle de México	47
Cuadro 13	Modos de transporte público ofrecidos en otras ciudades de México	50
Cuadro 14	Oferta de transporte público en México.....	52
Cuadro 15	Modelos de negocios en operación en México	54
Cuadro 16	Modos de Transporte eléctricos en funcionamiento en México.....	58
Cuadro 17	Principales problemáticas de los modelos de negocios actuales en México	59
Cuadro 18	Modelo de negocios propuesto para sistemas estructurados de México	62
Cuadro 19	Caso base: Análisis financiero del "hombre-camión" sin buses eléctricos.....	65
Cuadro 20	Caso 2: Análisis financiero del "hombre-camión" con la implementación de buses eléctricos.....	65
Cuadro 21	Análisis de sensibilidad para el análisis financiero del "hombre-camión".....	66
Cuadro 22	Caso base: Análisis financiero de la "ruta-empresa" sin buses eléctricos	68
Cuadro 23	Análisis financiero de la "ruta-empresa" con la implementación de buses eléctricos.....	68
Cuadro 24	Modelo de negocios propuesto para las "ruta-empresa" de México	69
Cuadro 25	Análisis de sensibilidad para el análisis financiero de la "ruta-empresa"	70
Cuadro 26	Barreras que se enfrentan en el proceso de implementación de buses eléctricos	72
Cuadro 27	Costo mensual de leasing, operación y mantenimiento de un autobús diésel o eléctrico.....	74
Cuadro 28	Principales problemáticas a la implementación de buses eléctricos, según los entrevistados	75
Cuadro 29	Precios de unidades de transporte público, según entrevistados	75
Cuadro A1	Descripción general de las entrevistas realizadas.....	82

Gráficos

Gráfico 1	México: Porcentaje del PIB de la Industria automotriz respecto al PIB de las industrias manufactureras, 1993-2017.....	15
Gráfico 2	Empleos en la Industria Automotriz en México	16

Recuadros

Recuadro 1	Características del transporte público en el valle de México.....	47
Recuadro 2	El problema de la tarifa comercial vs la tarifa técnica en la ciudad de México.....	49
Recuadro 3	Características del transporte público en otras ciudades de México	50

Diagramas

Diagrama 1	Plantas de ensamble de autobús y chasis en México	17
Diagrama 2	Composición por nivel de la industria asociada potencialmente a la fabricación de vehículos pesados en México	18
Diagrama 3	Localización y caracterización de las 3 zonas metropolitanas de estudio	32
Diagrama 4	Marco conceptual aplicado a modelos de negocios en México.....	61

Resumen

El documento identifica proposiciones de políticas para desarrollar/impulsar la electromovilidad en el transporte público de México, como parte de las actividades de la cooperación entre la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) 2018-2020, proyecto “Sendas de desarrollo sostenible para países de ingresos medios en el marco de la Agenda 2030 sobre el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe”. En su Producto/Clúster 3 el proyecto tuvo como objetivo la búsqueda de experiencias asociadas a un crecimiento económico con menores emisiones, eficiente en el uso de los recursos y socialmente inclusivo, o sea, propuestas para un gran impulso ambiental.

Se presenta proposiciones para promover un impulso a una política industrial para la electromovilidad, evaluando la política industrial automotriz actual de México e identificando medios de promover el desarrollo de la industria nacional de vehículos de transporte público eléctricos, especialmente buses eléctricos, para el posicionamiento de México como centro de fabricación de vehículos de transporte público eléctricos a nivel regional.

Considerando las experiencias implementadas en México en el sentido de promover una transición hacia una movilidad urbana pública más sostenible, se produjo una evaluación de los impactos de las actividades ya desarrolladas en México en sus principales regiones metropolitanas, incluyendo los impactos que han generado/pueden generar en la economía, particularmente en el empleo y crecimiento en México.

Finalmente se analiza la dimensión financiera para esa transición, los esquemas de cooperación público-privados y los incentivos apropiados para la promoción de nuevos modelos de negocios y su correcta operación y mantenimiento, mirando hacia la superación de una de las grandes barreras a la instalación de flotas de autobuses eléctricos comerciales, que es la alta inversión inicial que requieren este tipo de vehículos.

Introducción

México, cuenta con una trayectoria reconocida en la industria automotriz. Por lo tanto, tiene el potencial para jugar un rol preponderante en la región en la producción y ensamblaje de vehículos eléctricos y sus partes. El país reúne las condiciones de promover el desarrollo de la industria nacional de vehículos de transporte eléctricos para el posicionamiento de México como centro de fabricación de vehículos eléctricos, especialmente buses eléctricos, a nivel regional y promover la adopción masiva de un modelo de movilidad eléctrica por parte de las regiones metropolitanas y de las ciudades medias.

Actualmente el país se encuentra situado como uno de los principales fabricantes de la industria automotriz a nivel mundial, con una trayectoria de más de un siglo, siendo este un sector estratégico de la economía nacional, generador de casi el 3% del Producto Interno Bruto (PIB) nacional y más del 20% del PIB manufacturero, es además uno de los sectores industriales más atractivos en cuanto a inversión extranjera, importante generador de empleo y con alto dinamismo exportador.

Se propone la generación de crecimiento económico, generación de empleos, aumento del valor agregado en la producción, innovación tecnológica, articulación de políticas públicas, nuevos flujos de inversiones y eficiencia urbana por medio de:

- alineación de la implementación de la movilidad eléctrica a las necesidades de desarrollo social y medioambiental que enfrentan los grupos vulnerables en las ciudades del país;
- impulso a la movilidad eléctrica de manera consistente con las tendencias que favorecen el cambio hacia modos sustentables, a la par del fomento y mejoramiento del transporte público de calidad;
- fomento a la innovación tecnológica para el desarrollo de vehículos e infraestructura de carga adecuados a las necesidades de movilidad y al nivel adquisitivo de las ciudades;
- desarrollo equitativo de la industria y cadenas de valor, propiciando generación de capacidades específicas en temas de fabricación y mantenimiento de vehículos eléctricos, así como carga y almacenamiento de energía;

- gestión inteligente de la nueva demanda de energía, buscando incrementar la participación de las fuentes renovables, con el propósito de disminuir la dependencia de combustibles fósiles;
- atención coordinada entre los diferentes niveles de gobierno a las necesidades de financiamiento, particularmente de transporte público.

La perspectiva adoptada en ese estudio es fomentar un crecimiento económico con menores emisiones, eficiente en el uso de los recursos y socialmente inclusivo, asociados a la idea de promoción de un *Gran Impulso Ambiental*. Tal proposición demanda un paquete coordinado de inversiones, estrategias y políticas para la construcción del desarrollo sostenible, generando un salto en el crecimiento económico y en la creación de empleos. Un gran impulso ambiental es coherente, por lo tanto, con la agenda internacional del desarrollo y su proceso de implantación. La proposición de un gran impulso ambiental para América Latina y el Caribe, se da en el medio del importante proceso de implementación de la Agenda 2030 y sus ODSs, del Acuerdo de París y de la Nueva Agenda Urbana.

Las sugerencias de políticas presentadas por este documento se suman a las actividades desarrolladas por la Coalición para la Transformación Urbana en México CTU-MX, que tiene como objetivo dar apoyo a tomadores de decisión a nivel nacional, con el fin de poder impulsar el potencial de las ciudades para un mejor desarrollo económico, social y ambiental a nivel nacional, incluyendo la reducción del riesgo de cambio climático y con un enfoque de derechos colectivos. La CTU-MX fue lanzada en noviembre de 2018 en la Ciudad de México y actúa como una plataforma de organizaciones internacionales, gubernamentales, académicas y de la sociedad civil.

I. Desarrollo Industrial

A. Las políticas de electromovilidad en México

Dado que se estima que la fuente principal de emisiones de dióxido de carbono en México es el transporte, seguido por la generación de energía¹, se manifiesta como una prioridad la creación y ejecución de estrategias que fomenten el uso de medios de transporte eléctricos e híbridos a nivel nacional. El sector transporte en México ha sido el más importante en la demanda del consumo energético final². En 25 años este sector ha promediado una participación de 43,6% del consumo energético final, seguido del sector industrial con 32,2% y el sector residencial con 17,9%. Respecto a los tipos de combustibles que el subsector transporte demanda, en 2015 el 70% se cubrió con gasolinas y naftas, el 27,4% con diésel – cambios marginales desde el 2000. El gas natural y la electricidad no son significativos en el consumo del sector.

La Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica Visión 2030³, surge, así, en 2018 como una iniciativa nacional por parte de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) para plasmar la necesidad de encontrar alternativas de movilidad sustentable a mediano y largo plazo, con el fin de que pudieran ser retomadas por las próximas administraciones federales.

El Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) 2019-2033⁴, generado por la Secretaría de Energía, considera el Escenario de Transición Energética Soberana (TES) con la finalidad de plantear los impulsores necesarios para este proceso de cambio. El PRODESEN contempla los objetivos establecidos por la Estrategia Nacional de Movilidad, tales como disminuir la contaminación generada por vehículos de combustión interna, alcanzar determinadas metas de reducción de emisiones, utilizar

¹ Edwards, G., Viscidi, L., Mojica, C. (2018). Cargando el futuro: El crecimiento de los mercados de autos y autobuses eléctricos en las ciudades de América Latina. Recuperado de <https://www.thedialogue.org/wp-content/uploads/2018/09/CARGANDO-EL-FUTURO-4.pdf>.

² CEPAL - 2018 - Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de México, 2018. Ciudad de México.

³ SEMARNAT - Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica - Visión 2030. Gobierno de la República, México.

⁴ Secretaría de Energía – 2019 – PRODESEN 2019-2033 – Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional. México.

estratégicamente los medios de movilidad eléctrica ya existentes e impulsar más esquemas de movilidad inteligente. Finalmente, dicho documento indica el interés por promover el desarrollo de la industria nacional automotriz para la producción de vehículos eléctricos e híbridos.

Por parte de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), dentro del Programa de Trabajo 2019⁵, contempla que se “apoyarán los programas para propiciar un transporte ambientalmente sustentable”. Sin embargo, al no enfocarse específicamente en transporte urbano eléctrico, el término de “ambientalmente sustentable” también puede incluir transporte masivo con menores niveles de emisiones o sistemas de tránsito rápido, pero que funcionan con combustión interna. Por su lado, el sector ferroviario aborda de manera más directa el tema de electromovilidad al mencionar que se asignará presupuesto para la finalización de líneas de pasajeros por medio de trenes eléctricos en las ciudades de Guadalajara y Monterrey.

El Fondo Nacional de Infraestructura (FONADIN), a través de su Programa de Apoyo Federal al Transporte Urbano Masivo (PROTRAM), financia estudios y proyectos de transporte público para la implementación de soluciones de movilidad urbana. Entre los ejes de inversión se identifica el apoyo a la electrificación, así como el financiamiento para equipo de transporte incluyendo trenes, tranvías o autobuses de alta capacidad y convencionales⁶. La categoría de autobuses la comprende “sistemas de autobuses”, Buses Rápidos Troncales (BRTs) y Trolebuses que transiten por carriles exclusivos y con estaciones para el ascenso y descenso de usuarios⁷. A pesar de que se cuenta por parte de SCT con la Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica Visión 2030, así como planes estratégicos por parte de otras secretarías conexas, es importante mencionar que el fomento a la electro-movilidad no es referido específicamente en documentos de gran alcance, como el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. Por su parte, en el caso de algunos gobiernos estatales se han realizado esfuerzos alineados al Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire (ProAire) promovido por SEMARNAT⁸. Este programa, de carácter preventivo y correctivo, establece como objetivos para reducir la emisión de contaminantes en el aire, a corto, mediano y largo plazo, el fomento de vehículos eléctricos y la transición a sistemas de movilidad urbana eléctrica.

Entre las facilidades para los usuarios de vehículos eléctricos incluyen estar exentos del pago de tenencia (impuesto de propiedad) los primeros 5 años y un descuento del 50% en los 5 años posteriores. Particularmente, la Ciudad de México y el Estado de México fomentan el uso de vehículos eléctricos ya que estos coadyuvan en aliviar cuestiones medioambientales y de tráfico que actualmente aquejan a su población.

En estas dos entidades se ha implementado el programa “Hoy no Circula”⁹. Bajo este programa, los vehículos eléctricos tienen derecho a transitar libremente al estar excluidos de dichas restricciones, además de no ser requerido realizar la verificación de emisiones ambientales, la cual es obligatoria para los vehículos de combustión interna. Algunos estados de la Zona Metropolitana de Valle de México han habilitado el trámite del holograma “E” para distinguir por medio de las placas vehiculares a los automóviles que están exentos de los requisitos antes mencionados. En el caso particular de la Ciudad de México, los

⁵ Gobierno de México/Secretaría de Comunicaciones y Transportes – 2019 – Programa de Trabajo 2019. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/data/file/477031/Programa_de_Trabajo.pdf.

⁶ Fondo Nacional de Infraestructura (2018). Programa de Apoyo Federal al Transporte Urbano Masivo. Recuperado de https://www.fonadin.gob.mx/productos-fonadin/programas-sectoriales/programa-federal-de-apoyo-al-transporte-urbano-masivo/?fbclid=IwAR2wSV4Hoq_JZcEB3WdFv0EcuS4DFi45MBsLqRIG2HoPzFQjZHpyhwmQc.

⁷ Fondo Nacional de Infraestructura (2008). Lineamientos del programa de apoyo federal al transporte masivo. Recuperado de http://www.fonadin.gob.mx/wp-content/uploads/2016/08/Lineamientos_Programa_Transporte.pdf.

⁸ Gobierno de México/SEMARNAT <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/programas-de-gestion-para-mejorar-la-calidad-del-aire> (publicado en 9 de enero de 2020).

⁹ Este programa limita el flujo vehicular y regulan la verificación vehicular del estado baso en las placas de los automóviles.

vehículos eléctricos e híbridos pueden obtener una etiqueta adhesiva llamada “EcoTAG” que otorga un 20% de descuento permanente al transitar por las determinadas autopistas urbanas de cuota¹⁰.

La implementación de tecnologías e infraestructura para la electromovilidad, tanto particular como compartida, se ha dado de manera somera en México. A diferencia de otros países, principalmente China, Estados Unidos y los países de la Comunidad Europea, la venta y uso de vehículos híbridos y eléctricos en México se ha mantenido muy por debajo en comparación a los de combustión interna y del índice en países desarrollados (representa alrededor del 0.68% del mercado para el año 2018)¹¹.

De acuerdo al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), la Ciudad de México, el Estado de México y Aguascalientes cuentan con la mayor cantidad de vehículos eléctricos en el país con 270, 83 y 81 automóviles respectivamente¹². Por su parte, a mediados del año 2018, ya se contaba con 1528 electrolineras públicas a nivel nacional, de las cuales la Ciudad de México contaba con un 50%, seguida de los estados de Nuevo León con el 11% y Jalisco con el 9% (Comisión Federal de Electricidad, 2018)¹³.

La Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica Visión 2030 plantea distintas aristas para abordar el impulso hacia la electromovilidad urbana. Entre los ejes estratégicos que se plantean y que abordan específicamente el uso de autobuses eléctricos, se encuentra la reactivación de programas de chatarrización para retirar autobuses viejos de las calles y promover la transición a autobuses eléctricos; apoyar la implementación de proyectos piloto que preparen a las ciudades para el despliegue masivo de unidades eléctricas; e instalar la infraestructura necesaria para la recarga de autobuses en los patios de encierro.

No obstante, entre las principales barreras para adquirir una flota de autobuses eléctricos, se identifica la alta inversión inicial que estos representan, por lo que la fabricación de estas unidades en territorio nacional podría representar una posibilidad para disminuir los costos de adquisición. Debido a que México mantiene un importante lugar en la producción mundial de vehículos y autopartes, el país tiene el potencial para incursionar en la producción de autobuses eléctricos con aporte no solamente al desarrollo sustentable sino también al económico.

Se estima que los autobuses eléctricos generan un 185%¹⁴ más en valor agregado en comparación a los autobuses de diésel, especialmente en la fabricación de partes. Por ello, manufacturar autobuses eléctricos e híbridos representa una oportunidad de negocio para México ya que la tendencia al alza de los países de adquirir este tipo de transporte sustentable le permitirá participar en una cadena global de valor donde dichas actividades de manufactura representen una mayor derrama económica para los territorios de hospedaje.

Actualmente, ya se cuenta con empresas mexicanas que participan en la fabricación de autobuses eléctricos. Tal es el caso de DINA¹⁵, la cual fabrica en el estado de Hidalgo el modelo “Ridder E” estilo trolebús híbrido, que fue diseñado en conjunto por medio de una colaboración con la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) y con respaldo del CONACYT¹⁶. Dicho modelo ya opera dentro del sistema de transporte urbano en Ciudad de México y Guadalajara.

¹⁰ I+D México (s.f.). EcoTAG PASE. Recuperado de <https://www.idmexico.com.mx/EcoTagPase/assets/pdf/TyCEcoTagPase.pdf>

¹¹ INECC (2018). Electromovilidad: un camino a seguir para mejorar la calidad del aire. Oportunidades y retos. Recuperado de <http://iki-alliance.mx/wp-content/uploads/Electromovilidad-26.11.18.pdf>.

¹² Véase la referencia 11.

¹³ Comisión Federal de Electricidad. (2018). *Reporte de Instalación de Electrolineras con el PEII al 22 de junio de 2018*. Ciudad de México: Comisión Federal de Electricidad.

¹⁴ Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2017). “Estudios de cadenas de valor de tecnologías climáticas seleccionadas para apoyar la toma de decisiones en materia de mitigación en el sector autotransporte y contribuir al fortalecimiento de la innovación y desarrollo de tecnologías”. México.

¹⁵ Esta es una empresa originalmente mexicana surgida en el modelo de industrialización por sustitución de importaciones que producía autobuses convencionales.

¹⁶ DINA (s.f.). Autobuses. Recuperado de <http://www.dina.com.mx/autobuses.html#especiales>.

El PRODESEN hace referencia a la necesidad de virar hacia formas de movilidad urbana más sustentables, planteando dentro de sus objetivos la “electrificación tanto como sea posible de los diferentes medios de transporte tanto públicos como privados”. Sin embargo, la ambigüedad en dicho objetivo no permite saber si los esfuerzos se realizarán hacia transporte público eléctrico el cual puede incluir autobuses, trolebuses, metro y tren ligero.

Entre los objetivos que sostiene la Estrategia Nacional de Movilidad es la promoción de la fabricación de vehículos híbridos y eléctricos, sin embargo, este objetivo no precisa si contempla vehículos particulares o de uso en movilidad urbana. Del mismo modo, a pesar de que los programas ProAire implementados en las principales ciudades del país reconocen que entre los factores de contaminación se encuentra el uso de vehículos particulares y transporte público, no se hace referencia específicamente a la necesidad de optar por autobuses eléctricos, y mantiene el tema de movilidad urbana eléctrica en un sentido amplio.

Por ejemplo, el Programa para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México hace mención a la reducción de emisiones del transporte público por medio del uso de unidades con mayor capacidad de pasajeros y una “ampliación del sistema de transporte público limpio” que busca una movilidad urbana con tecnologías menos contaminantes. El programa ProAire de la ZMVM incluye como línea de acción la promoción de vehículos híbridos y eléctricos tanto para el transporte particular, público y de carga¹⁷. No obstante, la falta de un impulso preciso hacia el uso de vehículos eléctricos para transporte público ha generado resultados someros después de una década desde su implementación.

Por su parte, entre las medidas que apoya el ProAire del estado de Jalisco se encuentra el fomento del transporte público masivo incluyendo el SITEUR y el Macrobús, así como el retiro de vehículos que no cumplan con los criterios máximos de contaminación, omitiendo la promoción y uso del transporte público eléctrico¹⁸.

En el caso de Nuevo León, el programa menciona brevemente la existencia de apoyos económicos del FONADIN para la “electrificación”, estableciendo que las acciones se concentrarán prioritariamente en la promoción y difusión del uso de transporte público en mayor grado que el particular, así como en el uso de “transporte sustentable” tanto motorizado como no motorizado¹⁹. De manera general, los tres estados coinciden en la promoción de sistemas integrales de movilidad para disminuir la emisión de contaminantes provocados por los sistemas masivos de transporte, no obstante, a excepción de la ZMVM, los programas de mejora de calidad del aire de otras zonas metropolitanas clave no consideran entre sus líneas de acción la introducción de transporte público eléctrico.

17 Gobierno del Estado de México, Gobierno del Distrito Federal, SEMARNAT, y Secretaría de Salud. (2010). Programa para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México. Recuperado de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/proaire2011-2020/proaire2011-2020.pdf>.

18 Cruzado, J. (2018). Revisión del Programa para mejorar la calidad del aire (PROAIRE) Jalisco 2014-2020 y Recomendaciones para lograr impactos en la calidad del aire de la Zona Metropolitana de Guadalajara. Recuperado de https://semadet.jalisco.gob.mx/sites/semadet.jalisco.gob.mx/files/revision_y_recomendaciones_del_programa_para_mejorar_la_calidad_del_aire_2014-2020.pdf.

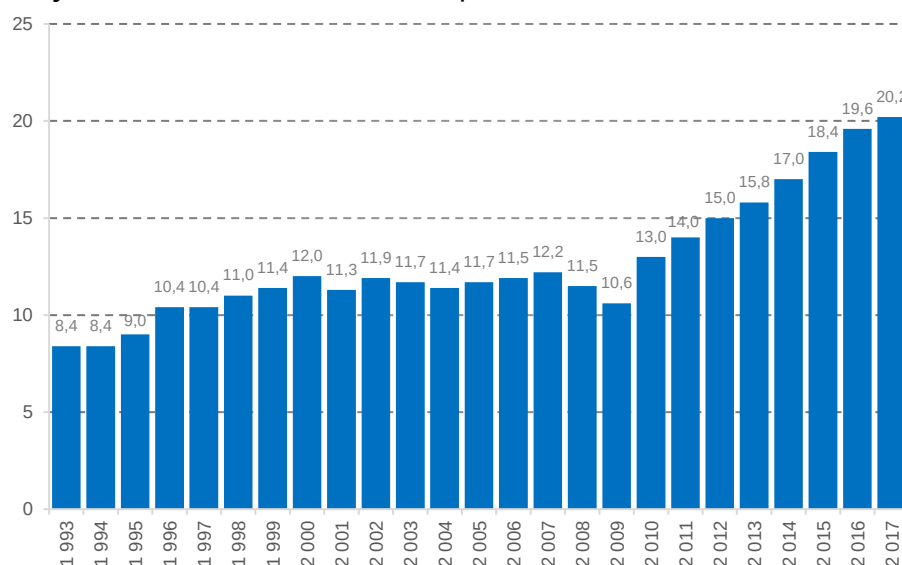
19 SEMARNAT (2016). Programa de gestión para mejorar la calidad del aire del Estado de Nuevo León; ProAire 2016-2025. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/250974/ProAire_Nuevo_Leon.pdf.

B. El sector automotriz en México

Las estadísticas del INEGI (base de datos en línea <https://www.inegi.org.mx/datos/>) que se presentan a continuación (véase en el gráfico 1) dan sustento de la importancia que representa este sector para la economía en México. En el 2017 fue generador del 3,7% del Producto Interno Bruto (PIB) nacional y del 20,2% del PIB manufacturero, solo por debajo de la industria alimentaria. Actualmente la industria automotriz tiene un rol preponderante en la vinculación con el exterior, al ser uno de los sectores industriales más atractivos a la inversión extranjera y ser de alto dinamismo exportador. Estados Unidos es el principal país de destino de las exportaciones de estos bienes desde México con el 83,2% respecto al total.

Gráfico 1

México: Porcentaje del PIB de la Industria automotriz respecto al PIB de las industrias manufactureras, 1993-2017



Fuente: INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México. Año base 2013.

Destaca el hecho de que, en el 2017, la balanza comercial de esta industria obtuvo un superávit de 70.766 millones de dólares, por encima de las exportaciones petroleras del orden de 28.771 millones de dólares²⁰. Respecto a la inversión extranjera directa (IED), el sector aportó el 12% del total de inversión recibida en México en el período de 2000 a 2017, lo que equivale a una inversión acumulada de 60.677 millones de dólares, presentando su mayor dinamismo a partir del año 2012. En este mismo periodo, la industria automotriz fue el principal receptor de IED, incluso por encima de otros sectores como el de banca múltiple y la industria de las bebidas²¹. Sin lugar a duda, México destaca en el nivel mundial como uno de los países más competitivos en la fabricación de vehículos y autopartes; en el 2017 ocupó la séptima posición a nivel mundial en la fabricación de vehículos y la quinta posición en la fabricación de autopartes. En América Latina, mantiene el liderazgo en ambas manufacturas.

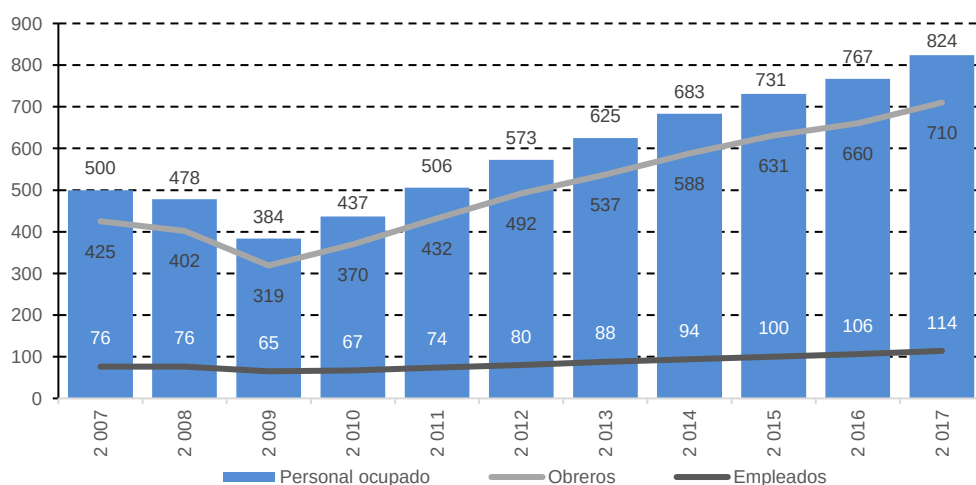
²⁰ INEGI. Balanza Comercial de Mercancías de México. *Se consideran vehículos ligeros, pesados y autopartes. <https://www.inegi.org.mx/programas/comext/default.html>.

²¹ AMIA, AMDA, ANPACT, INA. (2018). Diálogo con la industria automotriz 2018-2024. Recuperado de: <http://www.anpact.com.mx/docs/IAM2018-2024.pdf>.

La producción automotriz alcanzó los 4.10 millones de vehículos en el 2018, lo que representó un incremento del 8% respecto al año anterior. Resalta que, de cada 100 vehículos producidos mundialmente, 4.2 se fabricaron en México en el 2017.

En términos del empleo, su contribución es de enorme importancia. El personal ocupado de la industria automotriz, como se muestra en el siguiente gráfico 2, mantiene una tendencia de crecimiento constante desde el año 2010, ubicándose en 824 mil personas en 2017. El 86% corresponde a obreros, los cuales (de acuerdo con INEGI) se definen como personal que realiza actividades ligadas a la operación de maquinaria en la fabricación, supervisores de línea, así como el personal vinculado con tareas auxiliares al proceso productivo. El 14% corresponde a personal administrativo.

Gráfico 2
Empleos en la Industria Automotriz en México
(en miles de personas ocupadas)



Fuente: INEGI. Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera (en línea).

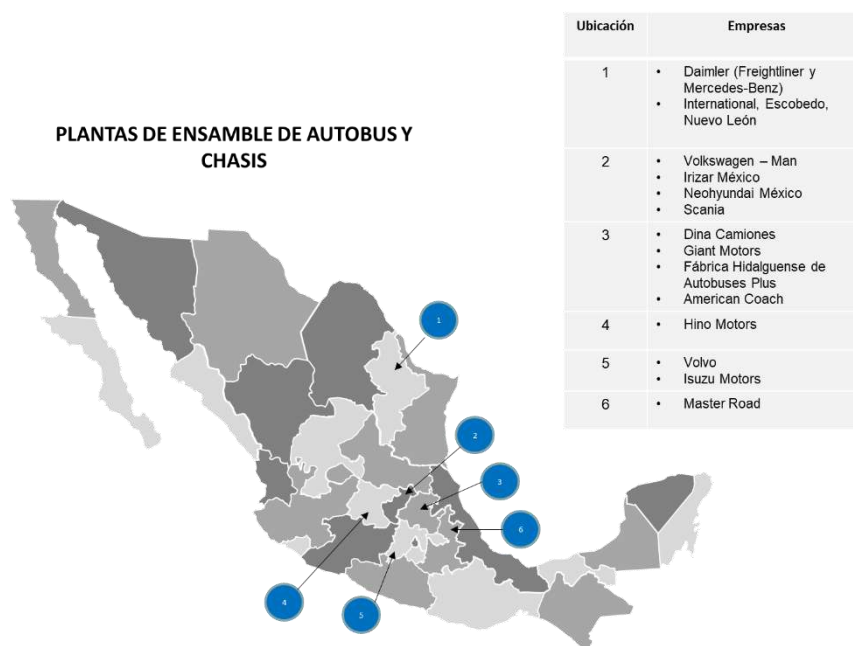
Específicamente la industria de vehículos pesados, donde se clasifica a la fabricación de autobuses de pasajeros, ha alcanzado un importante nivel de desarrollo al igual que la industria de vehículos ligeros, actualmente se identifican 14 empresas de ensamble de autobuses y chasis, distribuidas principalmente en la región centro y noreste del país. Algunas de estas empresas tienen el 100% de su producción enfocada en la fabricación de autobuses. Otras más combinan procesos para la fabricación de camiones de carga. De la misma manera abastecen la demanda del mercado nacional y exportan sus unidades a países tales como Colombia, Costa Rica, El Salvador, Estados Unidos, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Perú, tal es el caso de la empresa Dina.

No obstante, hoy en día, esta industria enfrenta grandes retos ante los principales impulsores de cambio tecnológico como la electrificación, la conectividad, la conducción autónoma y el desarrollo de nuevos modelos de negocio de movilidad compartida, los cuales están cambiando la composición de la industria.

Actualmente en México no se comercializan autobuses eléctricos, sin embargo, el país ha sido considerado un destino para establecer una operación de fabricación de este tipo de autobuses, por una

importante firma internacional, BYD²², bajo un esquema de fases graduales a tres años, hasta ensamblar completamente el autobús eléctrico en el país, proyectando una producción de más de 2.000 unidades anuales. De acuerdo con las cifras proporcionadas en el planteamiento de dicho proyecto, se estimó que la operación representaría para México la creación de más de 1.550 empleos directos e indirectos y una inversión en infraestructura y equipamiento en el orden de los 422 millones de pesos (más de 22 millones de dólares).

Diagrama 1
Plantas de ensamble de autobús y chasis en México



Fuente: Elaborado por Jorge Carrillo y AXIS Centro de Inteligencia Estratégica, a partir de múltiples fuentes.

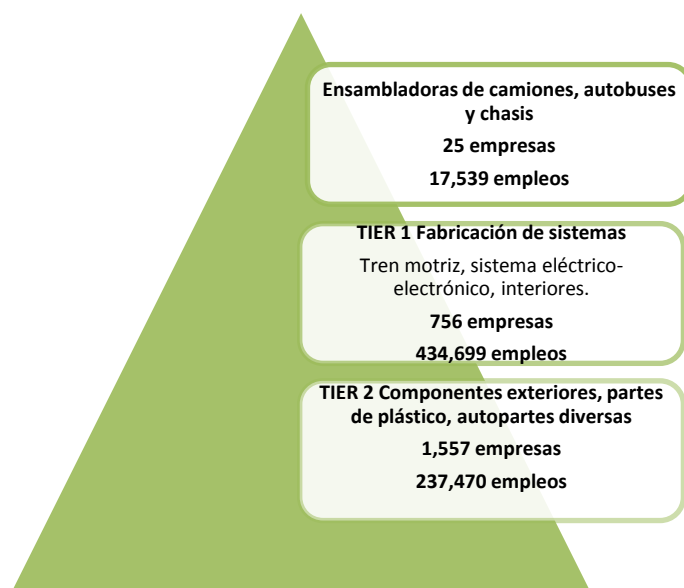
Se requiere conocer las capacidades específicas de partes y componentes para autobuses con el fin de poder analizar la cadena productiva. Si bien la fabricación de autobuses en México corresponde a la categoría de actividades económicas de “fabricación de vehículos pesados”, desafortunadamente las estadísticas oficiales no permiten distinguir la fabricación de partes para vehículos ligeros y pesados, o lo que se fabrica para ensamble de unidades nuevas y de reemplazo (aftermarket). Por tanto, sólo es posible precisar la presencia de actividades productivas por nivel (tier) y por eslabón de manera general. Esto implica que, si bien se puede dar cuenta de la existencia de la capacidad técnica de producción, no permite tener un verdadero reflejo de la integración de cadenas productivas para cada una de las familias de productos (léase vehículos ligeros, transporte de carga, autobuses, otros).

En el siguiente diagrama se muestran de manera agregada las cifras del número de establecimientos y empleo para cada nivel de la cadena productiva que presumiblemente pudieran estar asociadas a la

²² Se logró obtener información del caso de la empresa de origen chino BYD que en el año 2012 hizo el planteamiento de inversión en México de una planta para la fabricación de sus unidades de autobuses eléctricos, pero no se llegó a un acuerdo. Según Enrique Dussel, coordinador del Cechimex de la UNAM, BYD nunca estableció el precio al que serían vendidos dichos autobuses.

fabricación de vehículos pesados en México²³, excluyendo “Fabricación de motores de gasolina y sus partes” dado que por su naturaleza no corresponde a la fabricación de autobuses eléctricos.

Diagrama 2
Composición por nivel de la industria asociada potencialmente a la fabricación de vehículos pesados en México



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

Dada la presencia significativa de empresas fabricantes de productos electrónicos en México que asciende a 910 unidades económicas y generan 458.563 empleos directos²⁴ se infiere que los nuevos sistemas asociados a la carga-recarga e inversión de energía para los sistemas de propulsión eléctrica son en todos los casos técnicamente susceptibles de ser fabricados en México.

En términos de las capacidades técnicas para la fabricación de los componentes requeridos en las cadenas de producción de autobuses eléctricos, se considera que no existen limitaciones dentro del territorio nacional, dada la presencia de fabricantes de productos en dichas categorías; sin embargo, las decisiones de relocalización y/o abasto nacional dependen de cada empresa en función de sus estrategias de suministro, consideraciones de volumen y ubicación de los proveedores actuales.

Particularizando en los subsistemas y componentes que se adicionan a los autobuses eléctricos respecto a los de combustión, se identifica (véase en el cuadro 1) en el territorio nacional la base productiva instalada.

²³ Dada la escala predominante de producción de vehículos ligeros, se presume que en mayor proporción la fabricación de partes automotrices corresponde a dicha cadena productiva.

²⁴ CANIETI (2017). Estudio de diagnóstico e identificación de oportunidades de desarrollo de la industria electrónica en Baja California.

Cuadro 1
Base productiva instalada en México para componentes de autobuses eléctricos

Componente	Unidades económicas	Personal ocupado	Concentración
Motores eléctricos 335 311	74	27 665	Chihuahua, Nuevo León Tamaulipas
Baterías recargables 335 910	22	5 123	Nuevo León
Cables y conectores eléctricos 335 930	93	18 142	Ciudad de México, Baja California, Nuevo León, Chihuahua
Inversores de poder 335 999	80	10 530	Ciudad de México, Nuevo León, Baja California

Fuente: INEGI, Censo Económico 2014.

Otro importante aspecto está relacionado a los centros de investigación, centros de ingeniería y diseño privados de las propias empresas. En México existen instituciones de soporte a la manufactura automotriz que son un activo para fortalecer las capacidades del sector, así como para el desarrollo de nuevas capacidades. A continuación, se enlistan los centros vinculados al Conacyt, los laboratorios de soporte y los clústers sectoriales.

Cuadro 2
Instituciones de referencia para apoyo a la industria automotriz en México

Centros de Investigación Asociados a la Industria Automotriz	Laboratorios de Soporte a la Industria Automotriz	Asistencia Técnica Local a la Industria Automotriz
 Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas www.ciatec.mx	Centro de Innovación y Transferencia Tecnológica del Estado de Aguascalientes para el Sector Automotriz (CITTA) www.cittaa.mx	Clúster Automotriz de Chihuahua, www.autocluster.org
 Centro de Investigación y asistencia técnica del Estado de Querétaro. www.ciateq.mx	Centro de Investigación de Tlaxcala (CITLAX) www.citlax.mx	Clúster Automotriz de Nuevo León www.claut.com.mx
 Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial www.cidesi.com	Consorcio de Moldes Troqueles y Herramentales (MTH) www.centrosconacyt.mx/consorcio/mth/	Clúster Automotriz de San Luis Potosí www.clusterautomotrizslp.com
 Centro de investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica www.cideteq.mx	Laboratorio Nacional en Innovación y Desarrollo de Materiales ligeros para la Industria Automotriz (LANIAUTO) http://laniauto.ciqa.mx/	Clúster Automotriz del Estado de México www.clautedomex.mx
 Centro de Investigación en Matemáticas www.cimat.mx		Clúster Automotriz de Querétaro www.autoqro.mx
 Centro de Investigación en Materiales Avanzados. www.cimav.edu.mx		Clúster Automotriz de Guanajuato www.claugto.org
 Centro de Investigación en óptica www.cio.mx		Centro de Desarrollo de la Industria Automotriz en México (CEDIAM) www.cediam.org
 Centro de Investigación en Química Aplicada. www.ciqa.mx		Centro de Tecnología Electrónica Vehicular (CTEV)

	Centro de Investigación científica y de Educación Superior de Ensenada. www.cicese.edu.mx	
Centros de Investigación Asociados a la Industria Automotriz	Laboratorios de Soporte a la Industria Automotriz	Asistencia Técnica Local a la Industria Automotriz
	Corporación Mexicana de Investigación en Materiales. www.comimsa.com.mx	
	Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica www.inaoep.mx	
	Centro de Investigación e Innovación en Tecnologías de la Información y Comunicación. www.infotec.mx	
	Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica www.ipicyt.edu.mx	

Fuente: AXIS-Centro de Inteligencia estratégica, documentos de trabajo "Taller de identificación de áreas oportunidad" ECATI Automotriz, 2017.

En el cuadro anterior se clasifican las diversas entidades de apoyo a la industria automotriz, en primera instancia destacan trece centros de investigación que pertenecen al sistema de Centros Públicos de Investigación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de un total de veintiséis que son un componente base del desarrollo tecnológico del país. En un inicio estos centros no fueron concebidos específicamente para el fortalecimiento de algún sector en particular sin embargo los centros enlistados tienen capacidades de soporte a la industria automotriz y de autopartes mediante servicios técnicos y tecnológicos, así como de investigación aplicada.

En el siguiente cuadro se presentan las capacidades y oferta de estos centros para el sector automotriz, con base en los ejercicios de planificación de la iniciativa "ECATI Automotriz", que representa la Estrategia de Centros para la Atención Tecnológica de la Industria del CONACYT cuyo propósito fue articular, coordinar e integrar las capacidades de los Centros Públicos de Investigación vinculados, en este caso al sector automotriz y de autopartes, a fin de atender sus demandas científicas y tecnológicas.

Por lo tanto, dada su amplia trayectoria en la manufactura automotriz, México tiene una ventaja competitiva que le permite trasladar parte de sus capacidades productivas para el ensamble de autobuses eléctricos, así como la fabricación de partes y componentes de carga y almacenamiento de energía para la infraestructura en las estaciones de recarga.

Actualmente el país se encuentra en el umbral de poder llevar a cabo un proceso de desarrollo industrial endógeno, en particular para la manufactura automotriz, que permita la apropiación de valor y contribuya de esta manera a mitigar los potenciales efectos adversos en el empleo ante la incertidumbre del contexto internacional, así como promover el desarrollo de nuevas posiciones de trabajo tanto de manufactura como de servicio de operación y carga de las unidades eléctricas; así como desarrollar nuevos negocios con relación a los servicios de movilidad eléctrica, como servicios de mantenimiento y servicios de suministros de energía eléctrica, entre otros.

Cuadro 3
Oferta de asistencia técnica y tecnológica de los centros de investigación del CONACYT
vinculados a la industria automotriz y de autopartes

[illegible]

[illegible]

5	SERVICIOS	CIMAV	CIATEQ	CIQA	COMIMSA	CIATEC	CIDETEQ	CIO	CIDESI	IPICYT	INAOE	INFOTEC	CIMAT
5.1	Servicios tecnológicos de simulación CAE, CAD y CAM.												
5.2	Servicio de evaluación de propiedades reológicas												
5.3	Servicio de evaluación a la intemperie en diferentes regiones de México (Ensayo en cámaras climáticas – intemperismo acelerado y corrosión)												
5.4	Pruebas Físico-Mecánicas a materiales en general												
5.5	Ensayos físico-mecánicos a bajas temperaturas -40 grados C y a altas temperaturas 120 grados C. (flexión, elongación, tensión, resistencia al impacto)												
5.6	Evaluación y caracterización de recubrimientos superficiales												
5.7	Servicios de espectrofotocolorimetría												
5.8	Análisis de Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC's)												
5.9	Análisis de falla en materiales, componentes y recubrimientos												
5.10	Análisis de fallas de productos terminados												
5.11	Caracterización de materiales ferrosos, poliméricos y orgánicos												
5.12	Caracterización química de materiales												
5.13	Calibración y servicios de metrología												
5.14	Servicio de síntesis de materiales a alta velocidad (Química Combinatoria)												
5.15	Caracterización de materiales y superficies, apariencia, morfología y composición												
5.16	Establecimiento /asesoría en sistemas para la eficiencia energética												
5.17	Certificación de procesos de soldadura												
5.18	Asesoría en la implementación de laboratorios de pruebas												
5.19	Cursos de alta especialización de óptica en la industria												
5.20	Capacitación en metrología industrial												
5.21	Capacitación en estampado y troquelado metálico												
5.22	Capacitación en corrosión, corrosión acelerada, control de baños de galvanoplastia.												
5.23	Capacitación en Soldadura y Posgrados												
5.24	Capacitación en procesos de transformación de plásticos.												
5.25	Capacitación / formación de herramentistas												
5.26	Formación en posgrado "Maestría en la Industria"												

Fuente: AXIS-Centro de Inteligencia estratégica, documentos de trabajo "Taller de identificación de áreas oportunidad" ECATI Automotriz, 2017.

Desde el ámbito federal corresponde el establecimiento de los lineamientos generales de reducción de niveles permisibles de emisión de contaminantes, esquemas de incentivos y/o subsidios que promuevan la adquisición de autobuses eléctricos; así como el fomento de una industria nacional mediante la creación de un Programa de Promoción Sectorial con alcance particular en la fabricación de unidades eléctricas de transporte colectivo. Desde el ámbito estatal las políticas públicas a ser desarrolladas e implementadas recaen en materia de la regulación al transporte público, así como para la canalización de programas de modernización que conllevan la gestión y consenso gubernamental con los grupos de operadores, de manera que estos puedan ser implementados adecuadamente y sean medidos los impactos. Un programa con estas características se deberá implementar primordialmente en las zonas metropolitanas con mayor concentración poblacional.

C. Programa potencial nacional de electromovilidad

En México se concentra el 25% de la población en tan solo tres grandes zonas metropolitanas. Este es un factor importante que resaltar si lo que se busca es lograr efectos significativos en la mitigación del impacto climático ocasionado por las emisiones del transporte urbano de combustión interna; en estas zonas metropolitanas se identifica que más del 95% de las unidades son operadas mediante concesiones a particulares, quienes adquieren (son propietarios), operan y dan mantenimiento a las unidades por sus propios medios; por ende las dependencias gubernamentales no pueden tomar decisiones respecto a la sustitución o reconversión de dichas unidades de forma directa, por lo que corresponde, en su campo de acción, actividades de gestión, aplicación de medidas regulatorias que obliguen al cambio y/o la promoción de programas de apoyo para facilitar la transición.

Cuadro 4
Número de unidades de autobús para transporte público en las 3 principales zonas metropolitanas de México
(Unidades de autobús)

	ZM Monterrey	ZM Guadalajara	ZM Valle de México
Total de unidades	6 932	6 006	74 128
Operadas por el gobierno	174	237	1 900
Operadas por concesionarios	6 758	5 769	72 228

Fuente: Elaboración propia

Nota: en el caso de la ZMVM, considera la suma de las unidades que integran los principales sistemas de movilidad (operados por gobierno) y las unidades concesionadas que operan bajo el modelo hombre-camión en la Ciudad de México, el Estado de México e Hidalgo, obtenidas del Inventario de Emisiones de la Ciudad de México 2016 e información oficial proporcionada por los sistemas de movilidad respectivos. La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), dicha zona se compone por 16 municipios de la Ciudad de México, 59 del Estado de México, y 1 municipio del estado de Hidalgo, que agregados suman una extensión territorial de 7,866.1 km² y concentran una población de 20,892,724 habitantes. Con ese mismo alcance se tomó el número de autobuses definido en el reporte de "Inventario" citado y los registros de autobuses con placas vigentes.

Un programa de desarrollo de la electromovilidad en México debe delinear estrategias y acciones con el propósito de promover la electromovilidad urbana de autobuses como un medio de transporte eficiente y ecológico que mejore la calidad de vida de los ciudadanos y que contribuya a la reducción de contaminantes al medio ambiente derivados del uso de combustibles fósiles. Al mismo tiempo, debe impulsar el posicionamiento de México como fabricante de autobuses eléctricos, equipos de almacenamiento y carga de energía.

1. Ejes del programa

Partiendo de los objetivos propuestos en el párrafo anterior, un Programa Nacional de Electro Movilidad articularía un conjunto de objetivos específicos y sus estrategias correspondientes en torno a cuatro ejes:

- i) Fomento a la adopción de la electromovilidad
 - ii) Fomento a una industria de autobuses eléctricos y equipo de almacenamiento y carga de energía
 - iii) Coordinación y comunicación interinstitucional
 - iv) Metas e indicadores del programa
- a) Eje 1. Fomento a la adopción de electro movilidad**
- i) *Establecimiento de parámetros escalonados para reducir el impacto ambiental del transporte urbano.***

Objetivo: Acelerar a la reducción de emisiones de contaminantes al medio ambiente por parte del transporte público, mediante la actualización de las normas correspondientes para transporte basado en diésel²⁵ y/o la generación de nuevos estándares particulares para autotransporte público, acorde a parámetros internacionales²⁶ y la aplicación del seguimiento para su cumplimiento obligatorio.

Línea de acción 1: Definición y/o modificación de estándares de eficiencia energética con incrementos graduales para transporte público.

Línea de acción 2: Establecimiento de manera escalonada de guías más severas de calidad del aire de emisiones máximas al medio ambiente.

Línea de acción 3: Establecimiento de instrumentos normativos para el cumplimiento de los estándares de eficiencia energética y calidad del aire.

Línea de acción 4: Desarrollo de un plan de sustitución gradual de unidades de combustión diésel por tecnología eléctrica, ambas de transporte público operados por concesionarios y gobierno, considerando acorde a las proyecciones y planteamientos de impactos superar el 40% del total de unidades en 10 años²⁷.

Cuadro 5
Etapas de sustitución de unidades acorde a políticas aplicadas bajo un escenario de cambio acelerado

Periodo	Porcentaje neto de sustitución	Proyección de unidades eléctricas en uso
Años 1 a 5	Unidades operadas por gobierno: 25% vía sustitución 100% de compra de nuevas unidades	18 994
	Unidades operadas por concesionarios: 20% vía sustitución 50% de compra de nuevas unidades	
Años 6 a 10	Unidades operadas por gobierno: 50% vía sustitución 100% de compra de nuevas unidades	20 589
	Unidades operadas por concesionarios: 40% vía sustitución 100% de compra de nuevas unidades	
Total de unidades eléctricas en operación en una década	42.64% sobre el total de unidades	39 583

Fuente: Elaboración propia.

NOTA: Se pudiera esperar que la mayor proporción de unidades remplazadas ocurra en los años cercanos al vencimiento de cada plazo y no distribuida de manera gradual año con año, a pesar de que las políticas establezcan fechas límite de transición a los 5 y 10 años, y aún con la existencia de programas de estímulo y subsidio.

²⁵ En particular "NOM-044-SEMARNAT-2006, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales, hidrocarburos no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas y opacidad de humo provenientes del escape de motores nuevos que usan diésel como combustible y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores nuevos con peso bruto vehicular mayor de 3.857 kilogramos, así como para unidades nuevas con peso bruto vehicular mayor a 3.857 kilogramos equipadas con este tipo de motores." Sin embargo, esta norma es aplicable a todo tipo de vehículos pesados y no solo a los de autotransporte, por lo que su actualización requiere precisiones particulares por tratarse de aplicaciones de naturaleza distinta para el caso de transporte de personas versus carga.

²⁶ Se considera que los referentes a ser considerados en la ventana de tiempo de la próxima década deben ser tales como EPA10 y EURO VI.

²⁷ Partiendo de una base de 87.066 unidades estimadas en uso en las 3 principales zonas metropolitanas del país para el año inicial (2020) y una proyección de crecimiento a 93.294 unidades en uso en las mismas locaciones una década después (año 2030).

ii) Desarrollo de infraestructura para recarga eléctrica de unidades

Objetivo: Contar con la infraestructura de recarga eléctrica para el abastecimiento y operación de los autobuses eléctricos de transporte urbano en las principales zonas metropolitanas del país acorde al número de unidades proyectadas para estar en operación (Monterrey, Guadalajara y el Valle de México).

Línea de acción 1: Planificación de la red de puntos estratégicos para la instalación de estaciones de recarga eléctrica en corredores y pensiones de pernocta.

Línea de acción 2: Instalación de estaciones de recarga por parte del gobierno federal para la transmisión de energía eléctrica a autobuses.

iii) Esquemas de incentivos para promover el uso de unidades de transporte público con tecnología eléctrica

Objetivo: Impulsar el uso de autobuses eléctricos mediante esquemas de incentivos que mitiguen en primera instancia el alto precio de las unidades eléctricas para su adopción masiva, brindando diversas alternativas de reconversión, importación de autobuses eléctricos usados y/o adquisición de nuevas unidades.

Línea de acción 1: Provisionamiento de energía eléctrica gratuita y/o subsidiada para la recarga de autobuses eléctricos por una década en las zonas metropolitanas de Monterrey, Guadalajara y el Valle de México. Es posible considerar una disminución gradual del subsidio con el paso del tiempo.

Línea de acción 2: Desarrollar un esquema federal de facilidades para la importación de autobuses eléctricos bajo tasa cero de arancel.

Línea de acción 3: Diseñar un programa de financiamiento blando para la compra de autobuses eléctricos nuevos.

b) Eje 2. Fomento para una industria de autobuses eléctricos y equipo de almacenamiento y carga de energía (La estrategia de manufactura y ensamble de estas unidades debe orientarse a la fabricación de unidades para exportación y para el consumo en el mercado doméstico)

i) Impulsar la fabricación y reconversión de autobuses eléctricos en el país.

Objetivo: Tiene el propósito de crear una industria nacional de autobuses eléctricos y el desarrollo de cadenas productivas, aprovechando las capacidades y base de proveeduría existente.

Línea de acción 1: Desarrollo de un programa de promoción sectorial automotriz enfocado en la fabricación de autobuses eléctricos, que permita la importación con un arancel ad-valorem preferencial para diversos bienes para ser incorporados y utilizados en el proceso productivo.

Línea de acción 2: Establecimiento de un esquema de subsidio federal a operadores privados de autobuses para reconversión en territorio nacional de unidades diésel a eléctricas con vida útil de una década con viabilidad económica de reconversión, mediante el otorgamiento de un “Bono Federal” que puede representar ahorro del orden del 50%²⁸ comparativamente con adquisición de unidades nuevas.²⁹

ii) Desarrollo de programa de capacitación y formación técnica especializada

Objetivo: Fomentar el desarrollo de competencias en la industria mediante programas académicos y capacitación técnica especializada en temas de movilidad eléctrica, para sustentar el desarrollo de la industria a largo plazo.

Línea de acción 1: Revisar y actualizar los planes de estudio en las carreras de ingeniería de las universidades, así como a nivel de técnico superior universitario, reforzando los temas asociados a electro movilidad.

Línea de acción 2: Desarrollar programas de capacitación especializada para personal operativo en la industria para asimilación tecnológica de electro movilidad.

Línea de acción 3: Desarrollar un programa de certificación de competencias de mantenimiento y reparación de unidades eléctricas.

Línea de acción 4: Desarrollar programa de certificación de competencias de sistemas y estaciones de recarga para unidades eléctricas.

Línea de acción 5: Desarrollar programa de certificación de competencias en manufactura de unidades eléctricas.

iii) Fomento de la inversión

Objetivo: La inversión nacional y extranjera tiene un rol importante como motor de desarrollo de la industria automotriz en México que es caracterizada por su alto dinamismo exportador, por lo que es necesario alinear las políticas de fomento a la inversión al objetivo de desarrollar una industria nacional de manufactura y ensamble de unidades eléctricas.

Línea de acción 1: Promover la inversión nacional y extranjera estratégica en los eslabones no cubiertos de la cadena productiva de manufactura y ensamble de autobuses eléctricos como la fabricación de motores y generadores eléctricos, la fabricación de acumuladores, fabricación de inversores de carga y la fabricación de puertos de carga mediante la inclusión en el decreto automotriz de incentivos especiales para instalación de empresas fabricantes de componentes para autobuses eléctricos y la coordinación con entidades federativas para los efectos de facilitar los procesos de instalación y arranque de operaciones (softlanding).

²⁸ Tomando como referente el parámetro propuesto por la compañía alemana e-troFit, subsidiaria de la empresa In-Tech.

²⁹ El costo de reconversión de un autobús varía de acuerdo a su tipo y modelo; los fabricantes estiman que el costo promedio de reconversión es del orden del 50% menor de la compra de un autobús eléctrico nuevo; considerando el precio promedio de un autobús eléctrico para el mercado de América Latina de \$500.000 dólares, la reconversión tendría un costo de alrededor de \$5 millones pesos mexicanos por unidad. El bono de reconversión del 50% por unidad correspondería a \$ 2,5 millones de pesos, importe que pudiera ser canalizado por parte del gobierno federal mediante una línea de acción específica del Programa para la Productividad y Competitividad Industrial, operado por la Secretaría de Economía, considerándolo como un estímulo y estrategia al desarrollo de la industria automotriz o por un programa generado específicamente para este fin que sea operado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes o la misma Secretaría de Economía, considerándolo esencialmente como un apoyo subsidiario a los operadores. Acorde a las proyecciones del mejor escenario a una década y considerando la reconversión del 50% de las unidades en operación, el monto total a canalizar a estos apoyos correspondería a un valor cercano a los \$ 100.000 millones de pesos a precios actuales (\$5.000 millones de dólares), a ser aplicados de manera gradual, según el programa y metas de transición.

iv) Investigación y desarrollo aplicadas a la electromovilidad

Objetivo: Dirigir la investigación aplicada al fomento del desarrollo de la electromovilidad en el país, aprovechando la base de centros de investigación privados y públicos.

Línea de acción 1: Priorizar el otorgamiento de fondos existentes a proyectos de desarrollo tecnológico en tecnologías eléctricas particularmente investigación y desarrollo en áreas de componentes clave como baterías, acumuladores e inversores, entre otros.

Línea de acción 2: Priorizar el otorgamiento de becas para la formación de recurso humano especializado en investigación y desarrollo en tecnologías eléctricas.

c) Eje 3. Coordinación y comunicación interinstitucional

i) *Diseñar una estructura de gobernanza interinstitucional para la gestión del programa nacional de electro movilidad*

Objetivo: Contar con un ente encargado de coordinar e impulsar los ejes estratégicos contenidos en el plan de desarrollo y cumplimiento de métricas de desempeño.

Línea de acción 1: Conformar una figura de articulación pública-privada para coordinar la agenda interinstitucional y la ejecución adecuada de los proyectos y acciones derivados de ella.

Línea de acción 2: Establecer canales de comunicación, espacios de discusión entre actores públicos y privados para un mejor despliegue de esta tecnología en el país y así como planes de difusión al público en general del concepto y ventajas de electro movilidad.

d) Eje 4. Indicadores o metas de impacto del programa

Las metas del programa propuesto se plantean para las tres zonas metropolitanas conjuntamente, se propone sean de largo plazo (10 a 20 años), requiriéndose realizar mediciones de manera periódica, de acuerdo con el cuadro 6.

Cuadro 6
Metas de impacto del programa

Indicador	Descripción	Meta sugerida
Emisiones CN y GEI	Reducción de emisiones nacionales de carbono negro y Gases de Efecto Invernadero (GEI) generados por el transporte conforme la Contribución Prevista y Determinada a nivel Nacional de México presentada ante las Naciones Unidas el 27 de marzo de 2015 y que constituye la aportación de México al acuerdo global de la Cumbre del Clima en París. De acuerdo a los escenarios tendenciales de manera no condicionada.	52 mil de toneladas métricas de carbono negro al año 2025 58 mil de toneladas métricas de carbono negro al año 2030 237 MtCO ₂ e de GEI al año 2025 266 MtCO ₂ e de GEI al año 2030
Industrialización	Con el reemplazo de unidades eléctricas reconvertidas y la adquisición de nuevas unidades se podría impulsar el cumplimiento de las metas propuestas. Generar las condiciones para el desarrollo de una industria de fabricación y reconversión nacional de autobuses con tecnología eléctrica.	A 10 años El 50% del total de las unidades eléctricas se fabrican en el país. El 42.64% del total de la flota de autobuses en operación se han sustituido.
Empleo manufacturero	Se generan las condiciones para mantener la base de mano de obra del sector automotriz y la creación de nuevos empleos.	Se dispone de personal calificado suficiente para el proceso de manufactura de unidades y la cadena de suministro.

Indicador	Descripción	Meta sugerida
Empleo técnico de operación	Generar las condiciones para elevar el número de posiciones de trabajo técnico en la conducción, mantenimiento, reconversión y servicios a unidades.	Se certifica por competencias laborales al personal técnico. Se dispone de personal suficiente a 10 años que conduce, y ofrece servicio de mantenimiento, y reconversión de unidades eléctricas con experiencia.
Infraestructura / Estaciones de recarga	Se instalan estaciones de recarga rápida a lo largo de las rutas de operación de las unidades en las tres zonas metropolitanas	Se dispone a 10 años de una red en suficiencia para abastecer las necesidades de recarga; el origen de la energía para dichas estaciones es limpio.
Cadenas de suministro	Se desarrolla una base de proveeduría que atiende fabricación de piezas y refacciones para autobuses eléctricos, así como servicios de apoyo y se incorporan proveedores de industrias como metalmecánica, plástico, automotriz, autopartes, química, entre otras.	60% de contenido nacional a 5 años 80% de contenido nacional a 10 años.
Salud pública	Diminución de enfermedades cuya causalidad es la contaminación ambiental. Efectos en el sistema nervioso central (PM) Dolor de cabeza y ansiedad (SO ₂) Enfermedades cardiovasculares (SO ₂ , PM, O ₃) Efectos en el sistema reproductivo (PM) Problemas respiratorios (SO ₂ , PM, BaP, NO ₂ , O ₃ ,) Cáncer de pulmón (PM, BaP) Enfermedad pulmonar crónica obstructiva (PM) Efectos en el hígado, bazo y en la sangre (NO ₂ ,) Fuente: OMS, AEMA (Agencia Europea del Medio Ambiente).	Meta para precisar por autoridad correspondiente.
Ruido	Se reduce el ruido generado por el transporte público proveniente de autobuses en los corredores de tránsito de los autobuses eléctricos.	A 10 años el ruido generado por el transporte público proveniente de autobuses se reduce de manera significativa, particularmente en corredores designados. (Meta a precisar por autoridad correspondiente.)

Fuente: Elaboración propia.

Sin lugar a duda es necesario un fuerte respaldo del gobierno federal y del poder legislativo para la transición a la electromovilidad en el país. Por la dimensión de la Zona Metropolitana del Valle de México en el número de unidades en tránsito, particularmente de operadores privados que representan el 97% del total, la política debe centrarse (particularmente en esta zona) en marcar una diferencia sustancial en materia de emisiones ambientales. En tanto que el gobierno debe asumir el compromiso de reemplazar, a la brevedad, la flota que opera de manera directa por unidades convencionales a manera de actuar con el ejemplo y fomentar el desarrollo de una industria nacional.

El desarrollar un programa de promoción sectorial en particular para el desarrollo de unidades eléctricas contribuirá de manera significativa en el impulso de la fabricación de unidades eléctricas, así como de equipo de almacenamiento y carga de energía. Dadas las condiciones y requerimientos de inversión que pueden volver sumamente compleja la implementación de un programa como el planteado, se plantean las siguientes alternativas derivadas, las cuales de manera independiente pudieran mostrar mayor viabilidad:

- Desarrollar una industria de manufactura de exportación de autobuses eléctricos, en donde las propias fuerzas del mercado como la potencial demanda no solo regional sino a nivel mundial, sean las impulsoras y el gobierno tenga un rol de facilitador de las condiciones necesarias para su desarrollo. Las líneas de acción que se recomienda impulsar pueden

aplicarse por separado y, por sí solas, pudieran tener mayor factibilidad para impulsar la transición a la electromovilidad, pero principalmente orientarse al desarrollo de una industria nacional de fabricación de autobuses eléctricos que atienda la demanda nacional en la medida que ésta se manifieste.

- Desarrollar una industria de reconversión de unidades para operación en el mercado nacional, aprovechando las capacidades desarrolladas para la exportación hacia América Central y América del Sur, países con economías similares a la de México.
- Desarrollar un programa de innovación y desarrollo tecnológico, con el propósito de mejorar las tecnologías asociadas a los autobuses, así como la infraestructura de soporte, el cual tenga como objetivo principal el abaratamiento de las tecnologías, la capacidad de replicar elementos de ellas cuando no haya restricciones técnicas o de propiedad intelectual, volverlas eficientes y adecuarlas a las condiciones de cada país.

II. Impactos de una Electromovilidad Pública

A. Estado del arte de la implementación de proyectos de electromovilidad en México

Entre los problemas compartidos que experimentan las principales zonas metropolitanas de México se encuentra el crecimiento acelerado de la población y de la mancha urbana que a su vez ocasionan problemas de aumento del parque vehicular, congestionamiento vial, desarticulación entre las modalidades de transporte urbano, sin mencionar efectos negativos al medio ambiente y la calidad de vida de la población. A continuación, se presentan las experiencias de las zonas metropolitanas del Valle de México, Guadalajara y Monterrey, tomadas como referente para este análisis, las cuales no solamente presentan el mayor avance en cuestiones de movilidad urbana eléctrica, sino que se consideran las principales urbes del país por su dinámica poblacional y económica.

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) se compone por 16 municipios de la Ciudad de México, 59 del Estado de México, y 1 municipio del estado de Hidalgo, que agregados suman una extensión territorial de 7.866.1 km² y concentran una población de 20.892,724 habitantes. Se estima que la tasa de crecimiento anual para esta zona metropolitana fue de 0,8% en el periodo de 2010 a 2015 (SEDATU, CONAPO, INEGI, 2018). La Zona Metropolitana de Guadalajara está conformada por 10 municipios que en total suman una extensión superficial de 3.560.6 km², de acuerdo con datos de la encuesta Intercensal de INEGI 2015. Dicha zona metropolitana contaba con una población de 4.887.383 habitantes en 2015, mostrando una tasa de crecimiento del 1,6% entre los años 2010 y 2015. La Zona Metropolitana de Monterrey cuenta con 13 municipios³⁰, donde habitaban 4.475.949 personas en 2015

³⁰ El Área Metropolitana de Monterrey está conformada por los 13 municipios que reconoce el Plan de Desarrollo de Nuevo León 2016-2021: Apodaca, Cadereyta Jiménez, El Carmen, García, San Pedro Garza García, Gral. Escobedo, Guadalupe, Juárez, Monterrey, Salinas Victoria, San Nicolás de los Garza, Santa Catarina y Santiago.

en una extensión territorial de 6.794 km². De acuerdo a la Encuesta Intercensal de INEGI 2015, la tasa de crecimiento poblacional de esta zona fue del 2,2% entre los años 2010 y 2015³¹.

Estos tres casos tomados como referentes en conjunto representan poco más del 25% de la población nacional, adicionalmente a ser las más grandes concentraciones urbanas del país. A continuación, se describe para cada uno de los casos la situación que guarda en ellos el transporte público eléctrico.

Diagrama 3
Localización y caracterización de las 3 zonas metropolitanas de estudio



Fuente: AXIS Centro de Inteligencia Estratégica con datos de SEDATU, CONAPO e INEGI (2018)

1. Zona Metropolitana del Valle de México

Para el caso particular de la Zona Metropolitana del Valle de México, se requiere hacer especial énfasis en la Ciudad de México pues dicha localidad tiene una amplia experiencia desde hace décadas con proyectos de electromovilidad pública y actualmente es el único sitio dentro de esta zona metropolitana que tiene algún tipo de sistema de movilidad urbano que opera con suministro eléctrico.

³¹ Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, Consejo Nacional de Población, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2018). Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2015. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/460253/3_Anexo_cartogr_fico_segunda_parte.pdf.

A principios de los años 50 se establece la red de trolebuses de la Ciudad de México, mismos que aun a la fecha son de propulsión eléctrica, sin embargo, a pesar de su relevancia por varias décadas, a medida que aumentó exponencialmente la población se prefirió impulsar medios de transporte con una mayor capacidad y cobertura geográfica, como los sistemas de transporte colectivo metro y el denominado Metrobús³².

Esta red de transporte urbano basada en trolebuses llegó a transitar hasta por 18 líneas en 2007, año a partir del cual se comenzaron a reducir las rutas por considerársele un sistema que operaba con unidades obsoletas y costosas. La falta de planeación y coordinación con otros sistemas de transporte redujo significativamente el número de usuarios, los cuales prefirieron optar por otras alternativas de movilidad urbana. Se estima que el número de pasajeros transportados disminuyó de 72.6 millones en 2012 a 55 millones en 2018, es decir, un decrecimiento del 24,24% en sólo 6 años³³.

Si bien la red de trolebuses cuenta con una flota vehicular de 290 unidades, estas superan los 20 años de vida útil, además que la falta de mantenimiento ocasiona que solamente el 63% se encuentre en servicio³⁴. En los últimos años se ha ido transformando gradualmente la red por medio de la reparación de unidades en uso y el reordenamiento de sus rutas principales.

En el Plan Estratégico de Movilidad de la Ciudad de México 2019, se definen líneas de acción que incluyen la ampliación de la flota de trolebuses en 100 unidades adicionales y el equipamiento para que los trolebuses puedan efectuar cobros de manera electrónica vía tarjetas de prepago que a su vez puedan ser utilizadas en otras modalidades de transporte dentro de la ciudad. De acuerdo al Plan de Reducción de Emisiones del Sector Movilidad en la Ciudad de México, se espera ampliar la red de trolebuses a 500 unidades para el año 2024, así como una línea de autobuses del Metrobús de cero o bajas emisiones, para el mismo año³⁵.

Se espera que por medio de este plan para unificar el sistema de movilidad de la ciudad se pueda hacer más eficiente el tránsito de vehículos, facilitar la movilidad de los usuarios entre los distintos medios de transporte público y disminuir el costo de la movilidad en la ciudad; entre las modalidades de transporte a integrar se encuentran el metro, tren ligero, trolebús, sistema Metrobús, Red de Transporte de Pasajeros (RTP) tren suburbano, Cablebús y Mexibús³⁶.

Actualmente, la red de trolebuses tiene una longitud de 203.64 km comprendida por 8 rutas, las cuales son transitadas por una flota vehicular de 290 unidades³⁷ por carriles exclusivos, incluyendo el Corredor Cero Emisiones. La tarifa del trolebús puede ser de \$2.00 MXN o \$4.00 MXN, según la ruta (equivalente a cerca de \$ 0,10 o 0,20 USD). Dentro de las líneas de acción de la Estrategia de Electromovilidad de la Ciudad de México 2018-2030, se encuentra el “duplicar la participación de trolebuses de nueva generación bajo el Sistema de Transportes Eléctricos en comparación a la flota del 2016”³⁸; de realizarse, dicha flota ascendería a 565 trolebuses.

³² Medina, S. (2013). “El rescate del trolebús”. Recuperado de <https://redaccion.nexos.com.mx/?p=5906>.

³³ Secretaría de Movilidad (2019). Plan estratégico de movilidad de la Ciudad de México 2019. Recuperado de <https://semovi.cdmx.gob.mx/storage/app/media/uploaded-files/plan-estrategico-de-movilidad-2019.pdf>.

³⁴ Secretaría de Movilidad (2019). Plan estratégico de movilidad de la Ciudad de México 2019. Recuperado de <https://semovi.cdmx.gob.mx/storage/app/media/uploaded-files/plan-estrategico-de-movilidad-2019.pdf>.

³⁵ Secretaría de Movilidad (2019). Plan de reducción de emisiones del sector movilidad. Recuperado de <https://www.jefaturadegobierno.cdmx.gob.mx/storage/app/media/plan-reduccion-de-emisiones.pdf>.

³⁶ Secretaría de Movilidad (2019). Mapa de Movilidad Integrada de la Ciudad de México. Recuperado de <https://metro.cdmx.gob.mx/mapa-micdmx>.

³⁷ A principios de 2019, el Servicio de Transportes Eléctricos (STE) convocó a una licitación pública internacional para la adquisición de 30 trolebuses sencillos de nueva generación (Gobierno de la Ciudad de México, 2019).

³⁸ C4o Cities Finance Facility (2018). Estrategia de electromovilidad de la Ciudad de México 2018-2030. Recuperado de <https://cff-prod.s3.amazonaws.com/storage/files/ml2mWzTOCnwzfjm5PP4NuPrEtEzHITM1SQgYmjDu.pdf>.

Por su parte, desde el 2012, nueve unidades híbridas operan como parte del sistema Metrobús que en total dispone de una flota de 688 autobuses. La Línea 4 es la única ruta del sistema en la que operan estas unidades híbridas que se trasladan a lo largo de un recorrido de 28 kilómetros; las principales terminales son Buenavista, San Lázaro y las Terminales 1 y 2 del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, con conectividad a otras líneas del Metrobús, el metro, el tren suburbano y el Corredor Cero Emisiones. Se estima que las nueve unidades híbridas ahorran alrededor de un 30% de consumo de combustible y constituyen un acercamiento gradual a la electromovilidad. De acuerdo con la Estrategia de Electromovilidad de la Ciudad de México 2018-2030, una línea de acción contempla que el 30% de la flota de Metrobús sea eléctrica para el año 2030, lo que equivaldría a un total de 300 autobuses.

En 2017, la Ciudad de México ganó un concurso del C40 para la creación del “Corredor Verde Eje 8”, sin embargo, este proyecto se mantiene incompleto puesto que actualmente solo se han habilitado 1.5 kilómetros de los 22 kilómetros originalmente contemplados. Aun es incierto si este proyecto será retomado ya que el Plan Estratégico de Movilidad de la Ciudad de México 2019 no hace mención a la construcción y uso de este corredor ecológico. Cabe mencionar que, de haberse concretado dicho proyecto, la compañía Volvo tenía contemplado participar en la licitación para las 80 unidades que transitarían por el Corredor Verde, además de la instalación de 10 estaciones de recarga para las unidades del modelo eléctrico denominado 7900. Estas unidades tendrían un uso eficiente de la energía de tres veces más que un vehículo diésel y 4 veces más en el caso de uno de gas natural³⁹.

Del mismo modo, ya se habían realizado esfuerzos anteriores; en el 2012 el Gobierno de la Ciudad de México (Gobierno del Distrito Federal, en su momento) mediante un enlace establecido vía el Centro de Estudios de China-México (Cechimex) buscó adquirir una flota de autobuses eléctricos de la marca china BYD, para promover la movilidad eléctrica en América Latina y Caribe. En una primera etapa, se esperaba que algunas unidades pudieran ser obsequiados o colocados en comodato a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en donde se realizarían pruebas técnicas por parte de la escuela de Ingeniería para conocer su viabilidad. Si bien BYD presentó iniciativas de arrendamiento financiero, no se pudo llegar a acuerdos con el Gobierno de la Ciudad de México para la adquisición de dichas unidades.

2. Zona Metropolitana de Guadalajara

El Plan Estatal de Desarrollo de Jalisco 2013-2033⁴⁰ establece que es una prioridad atender los problemas de calidad y cobertura que aquejan a los sistemas de movilidad urbana en esta región, relegando así inversiones que privilegien al transporte privado sobre el público. Si bien la ciudad de Guadalajara ya contaba con un sistema de electromovilidad a través de la red de trolebuses desde los años setenta, con el paso del tiempo estos han decaído debido a la falta de mantenimiento a las unidades y la escasa reinversión, por lo que para la década del 2000 este sistema se consideraba obsoleto.

En 2014 da inicio el programa ProAire gestionado por la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del estado de Jalisco, con la intención de mejorar la calidad del aire por medio de distintas líneas de acción, dentro de las cuales se encontraba el mejoramiento del transporte público, y entre ellos el uso del trolebús⁴¹. Consecuentemente, el trolebús resurge en 2016 como parte de la línea de autobuses SiTren, con unidades nuevas y ecológicas, que ofrecen condiciones más seguras para los

³⁹ Lastiri, X. (2016). Volvo luce autobús híbrido eléctrico y reafirma su interés en CDMX. Recuperado de <http://t21.com.mx/terrestre/2016/12/05/volvo-luce-autobus-hibrido-electrico-reafirma-su-interes-cdmx>.

⁴⁰ Gobierno del Estado de Jalisco. (2016). Plan estatal de desarrollo Jalisco 2013-2033.

⁴¹ Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial. (2014). ProAire Jalisco. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/418381/13_ProAire_Jalisco.pdf.

pasajeros incluyendo tecnología de videovigilancia, radiocomunicación y GPS. En una etapa posterior se contempló la instalación de una red de wifi accesible a los usuarios⁴².

Actualmente, este servicio opera bajo el nombre de ruta “Línea 3”, el cual cuenta con 25 trolebuses con una capacidad de 100 pasajeros por unidad. Estos autobuses eléctricos se trasladan desde zonas céntricas hacia la zona oriente de la ciudad, en un recorrido que se extiende por 34 kilómetros (ida y regreso) incluyendo 54 paradas oficiales.

El servicio ofrece descuentos a los pasajeros que transborden al Tren Ligero y autobuses de la red SITREN. Las modalidades de SITEUR tienen una tarifa de \$9,50 MXN (equivalente a alrededor de \$0.48 USD), o una tarifa preferencial de \$4,75 MXN (equivalente a alrededor de \$0,24 USD), para menores de edad, estudiantes, maestros, adultos mayores y personas con discapacidad presentando una tarjeta electrónica personalizada⁴³. Los trolebuses operan a base de fuentes renovables pues son alimentados por medio de generadores basados en energía eólica. Se estima que las 25 unidades en servicio evitan una contaminación ambiental equivalente a 3.900 toneladas de CO₂ anualmente.

Dentro de los proyectos futuros se identifica la creación de la red del Peribús, la cual recorrerá alrededor de 41 kilómetros del corredor troncal a lo largo del anillo periférico de Guadalajara. Esta iniciativa ha sido apoyada por el Fondo Nacional de Infraestructura (Fonadin) perteneciente al Gobierno de México, y por el C4o Cities Finance Facility⁴⁴. Dicha red estará compuesta por unidades BRT (Bus de Tránsito Rápido) que se espera estén circulando para el año 2021. Se prevé que la implementación del Peribús puede llegar a remover 17 rutas de camiones que actualmente circulan por el periférico⁴⁵. Cabe mencionar que, si bien los autobuses BRT funcionan con gas natural y diésel, el Instituto Metropolitano de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara (Imeplan) ha conseguido el apoyo económico necesario para realizar estudios de factibilidad para incorporar autobuses eléctricos a esta misma red de movilidad. A la fecha de realización del presente reporte se desconocen los resultados de dicho estudio para sustentar el ingreso de autobuses eléctricos a la ruta del Peribús.

3. Zona Metropolitana de Monterrey

De acuerdo con el programa ProAire para el estado de Nuevo León publicado por la SEMARNAT, el transporte de carga y pasajeros que opera con diésel representa el 5% de la flota vehicular en el estado, sin embargo, produce la mitad de las partículas PM₁₀ y PM_{2,5}⁴⁶ del total que genera la flota vehicular del estado. Por ello, ProAire reconoce la necesidad de un cambio en cuestión de movilidad urbana que propicie una mejor calidad del aire. A pesar de que el documento propone la renovación del transporte de carga y pasajeros, así como la incorporación de unidades que funcionen a base de “combustibles limpios”, no se hace mención específica al uso de unidades eléctricas o híbridas⁴⁷.

A diferencia del Valle de México y Guadalajara, la Zona Metropolitana de Monterrey no cuenta con una red de autobuses o trolebuses, ya sea híbridos o eléctricos. No obstante, entre las opciones de

⁴² Sistema de Tren Urbano Eléctrico. (2016). Recuperado de <http://www.siteur.gob.mx/noticias/item/troleb%C3%BAse-se-suma-a-la-red-de-transporte-del-siteur.html>.

⁴³ Sistema de Tren Eléctrico Urbano. (2019). Costo del servicio. Recuperado de <http://www.siteur.gob.mx/forma-de-pago/tren-ligero-y-sitren.html> (Fecha de obtención al 10 de julio, 2019).

⁴⁴ C4o Cities Finance Facility (2019). Guadalajara Hermosillo y Monterrey electrificarán principales rutas de autobuses para reducir precios y mejorar la calidad del aire. Recuperado de https://c4oproductionimages.s3.amazonaws.com/other_uploads/images/2266_Mexican_Cities_Lead_on_E-Mobility_July_2019-SPA.original.pdf?1562074123.

⁴⁵ El Informador (2019). Nuevo proyecto duplica costo de Peribús. Recuperado de <https://www.informador.mx/jalisco/Nuevo-proyecto-duplica-costo-de-Peribus-20190311-0030.html>.

⁴⁶ Partículas emitidas principalmente por vehículos diésel, las cuales contaminan el medio ambiente y pueden llegar a causar enfermedades respiratorias, cardiovasculares, y cáncer, de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (2018). Recuperado de [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).

⁴⁷ Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2016). Programa de gestión para mejorar la calidad del aire del estado de Nuevo León. ProAire 2016-2025. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/250974/ProAire_Nuevo_Leon.pdf.

movilidad urbana a base de energía eléctrica en la ciudad se encuentra el tren ligero eléctrico conocido como "Metrorrey", o Sistema de Transporte Colectivo de Metrorrey, por su nombre oficial. Desde su inicio de operación en los años noventa, Metrorrey cuenta con dos líneas en operación las cuales suman un total de 32 estaciones de servicio con una cobertura de 32 kilómetros entre ambas líneas.

Entre las iniciativas más recientes en Monterrey para el fomento del transporte urbano sustentable se ubica la construcción de una tercera línea de Metrorrey que tendrá una longitud de 7.5 kilómetros divididos en 8 estaciones de ascenso y descenso. Se espera que la Línea 3 de Metrorrey funcione a finales de 2020, puesto que, si bien ya se encuentra terminada la obra, aun no se cuenta con las unidades que transitarán sobre dicha ruta. Recientemente, la organización C40 Cities Finance Facility anunció que, Monterrey se encuentra dentro de las ciudades seleccionadas para participar en proyectos de electro movilidad. Esto se realizaría por medio de la electrificación de su red de autobuses BRT TransMetro que conecta a la red del metro local. A la fecha de este reporte, se desconoce información acerca del alcance y fecha de operación dicha iniciativa.

Los esfuerzos de las principales zonas metropolitanas de México para implementar autobuses eléctricos se han basado prioritariamente en la modernización de flotas ya existentes; sustitución de autobuses de diésel por eléctricos e híbridos, o ampliación de la flota de trolebuses ya existentes. En menor medida se ha identificado la creación de nuevas redes de movilidad pues esto implica altos costos de infraestructura relacionados a la construcción de carriles exclusivos y estaciones, así como una extensión del inicio de operaciones.

Si bien existen iniciativas en las principales zonas metropolitanas del país y se han establecido compromisos que implican el uso masivo de autobuses eléctricos para la próxima década, los esfuerzos actuales para alcanzar dichos objetivos aún son someros y carecen de momentum para que sea observable un cambio significativo a nivel nacional.

B. Escenarios de impactos potenciales

Para fines de la proyección de impactos potenciales de una transición hacia un fortalecimiento de la electromovilidad pública en México se han producido 3 escenarios. En todos los casos se considera como indicador a estimar el número de unidades (autobuses) eléctricos en cada una de las zonas metropolitanas consideradas (Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey). A partir de la investigación realizada se toman los vectores de incidencia en cada caso y se estiman los impactos de cambio para estos escenarios, considerando la proyección de la demanda. El cuadro 7 expresa las combinaciones de escenarios y los argumentos de estimación en términos conceptuales.

Cuadro 7
Criterios cualitativos para la construcción de escenarios

Enfoque de la formulación de escenarios	Mediano plazo 5 años (2025)	Largo plazo 10 años (2030)
Escenario A Tendencial / políticas conservadoras. (El patrón de cambio se asemeja a lo que ocurre en la actualidad, dado que no hay programa alguno de fomento.)	Los autobuses eléctricos disponibles son primordialmente de importación. En el segmento de los autobuses de sistemas operados por el gobierno se realizan proyectos piloto para adquisición cuando más del 10% de unidades nuevas bajo sistema de propulsión eléctrica. En el segmento de autobuses operados por concesionarios (privados) no se visualiza un esquema específico que haga evidente el costo-beneficio de la migración a autobuses eléctricos, por lo que se mantiene la compra de unidades de combustión.	Los autobuses eléctricos disponibles son primordialmente de importación y complementariamente por conversión de unidades preexistentes en el país. Se dispone de la posibilidad de importación de unidades usadas para operar un segundo ciclo de vida. En el segmento de los autobuses de sistemas operados por el gobierno se realizan proyectos piloto para adquisición del 20% de unidades nuevas o usadas - de importación bajo sistema de propulsión eléctrica. En el segmento de autobuses operados por concesionarios (privados) se adquiere el 5% de unidades eléctricas vía reconversión unidades usadas de importación.
Escenario B Sustitución paulatina (La rápida evolución a escala internacional de los autobuses eléctricos los hace más accesibles y paulatinamente el estándar de la industria, la normatividad mexicana establece niveles graduales de reducción de emisiones del transporte público como sistema que llevan a una sustitución gradual para cumplir niveles requeridos).	Debido a las ventajas de costo de manufactura, se establece en México la industria fabricante de autobuses eléctricos para el mercado de exportación y con capacidad para vender nacionalmente. Existe también la posibilidad de importar unidades. En el segmento de los autobuses de sistemas operados por el gobierno realiza un 20% de la compra de nuevos autobuses con sistemas eléctricos de propulsión. En el segmento de autobuses operados por concesionarios (privados) realiza un 5% de la compra de autobuses usados (de importación) con sistemas eléctricos de propulsión para sus requerimientos de crecimiento.	En México se producen autobuses eléctricos por fabricantes nacionales y del extranjero, tanto para el mercado nacional como para la exportación. Existe también la posibilidad de importar unidades y el avance tecnológico permite la reconversión relativamente económica de ciertos tipos de unidades de sistemas de combustión. En el segmento de los autobuses de sistemas operados por el gobierno realiza un 40% de la compra de nuevos autobuses con sistemas eléctricos de propulsión. En el segmento de autobuses operados por concesionarios (privados) se realiza un 10% de la compra de autobuses nuevos o usados con sistemas eléctricos de propulsión para sus requerimientos de crecimiento.
Escenario C Cambio acelerado (Implementación de un programa agresivo de gobierno en torno a la electromovilidad que obliga a sustituir unidades, otorga apoyos para hacerlo y fomenta una industria nacional fabricante de autobuses eléctricos)	En México se producen autobuses eléctricos por fabricantes nacionales y del extranjero, incluyendo alianzas tecnológicas entre empresas, se dispone de capacidad productiva tanto para el mercado nacional como para la exportación. En el segmento de los autobuses de sistemas ya operados por el gobierno el 25% del total de los autobuses en operación cuentan con sistemas eléctricos de propulsión y 100% de las nuevas adquisiciones. En el segmento de autobuses operados por concesionarios (privados) el 20% de los autobuses ya en operación se sustituyen por unidades con sistemas eléctricos de propulsión, así como el 50% de las compras de unidades adicionales.	México se ha posicionado como uno de los principales países en la manufactura de autobuses eléctricos. En el segmento de los autobuses de sistemas ya operados por el gobierno el 50% del total de autobuses en operación cuentan con sistemas eléctricos de propulsión y el 100% de las nuevas adquisiciones. En el segmento de autobuses operados por concesionarios (privados) el 40% de los autobuses ya en operación se sustituyen por unidades con sistemas eléctricos de propulsión, así como el 100% de las compras de unidades adicionales.

Fuente: Elaboración propia.

Se presenta abajo una proyección del número de unidades que bajo cada escenario corresponderían a autobuses eléctricos en el acumulado de las tres zonas metropolitanas consideradas, así como la proporción porcentual que dichas unidades representarían sobre el total de unidades en operación.

Cuadro 8
Proyección de impactos agregados –unidades en uso - para las ZM del Valle de México, Guadalajara y Monterrey

	Base 2020	Proyección 2025	Proyección 2030
ZMVM	74 128	76 214	78 340
ZMG	6 006	6 301	6 566
ZMM	6 932	7 404	7 919
Totales unidades en uso	87 066	89 919	92 825
Escenario A tendencial/políticas conservadoras			
Unidades eléctricas adicionales (adquiridas)		8	182
Unidades eléctricas totales en uso		8	190
Porcentaje Unidades eléctricas sobre el total		0.01%	0.20%
Escenario B Sustitución paulatina			
Unidades eléctricas adicionales		154	365
Unidades eléctricas totales en uso		154	519
Porcentaje Unidades eléctricas sobre el total		0.17%	0.56%
Escenario C Cambio acelerado			
Unidades eléctricas adicionales		18 994	20 589
Unidades eléctricas totales en uso		18 994	39 583
Porcentaje unidades eléctricas sobre el total		21.12%	42.64%

Fuente: Elaboración propia.

En primera instancia, resulta evidente que el único escenario en el cual hay un impacto significativo es en el de “Cambio acelerado”, el cual combina en esencia políticas regulatorias que requieren la sustitución de unidades de transporte y no solo ofrecen incentivos para la compra voluntaria de nuevas unidades que presumiblemente podrían corresponder de manera mayoritaria a atender la expansión del sistema de transporte urbano. La demanda de este número de unidades adicionales para abastecer a los sistemas metropolitanos de transporte constituiría un aliciente para el desarrollo de una industria en México de fabricación de autobuses eléctricos (considerando el escenario “C”).

Se considera que el escenario A (tendencial), se dará de forma natural con el tiempo si las condiciones actuales se mantienen hacia la próxima década, y si por parte de entidades de gobierno no se realiza alguna labor complementaria para impulsar la adquisición de nuevas unidades eléctricas de todos los operadores. Si bien este escenario tiene una alta probabilidad de que suceda (estimada superior al 90%), los efectos sobre la movilidad eléctrica urbana serían de una escala ínfima y los impactos derivados poco significativos, como se proyecta en la siguiente sección.

Con respecto al escenario B (cambio paulatino), este coloca a los gobiernos estatales de las zonas metropolitanas a la cabeza de la transformación en el transporte urbano, dado que se centra en mayor medida en incidir en las unidades operadas por el gobierno e incentivar al sector privado en lo referente a la compra de nuevas unidades eléctricas. Este escenario puede considerarse que tiene una probabilidad de ocurrir de alrededor del 66%, puesto que demanda medidas a escala negociable que pueden ser soportadas con esquemas de subsidio e incentivo para la compra de nuevas unidades, sin embargo, la tasa en que la transición se realiza es de igual manera limitada y representa una contribución baja en términos de la mitigación de impactos ambientales.

Este escenario se ve sujeto a que los actores del gobierno proporcionen incentivos para la compra de nuevas unidades de operación eléctrica, los precios de los autobuses sean los suficientemente accesibles para los compradores, exista un considerable esfuerzo de negociación entre gobierno y los gremios a los que pertenecen los transportistas de la movilidad urbana, y que las unidades usadas importadas y/o reconvertidas pueden ser consideradas como alternativas para dar viabilidad económica a los concesionarios privados.

En este sentido, políticas públicas encaminadas a propiciar el escenario B incluyen el cumplimiento de estándares previamente establecidos para la reducción gradual de emisiones del transporte público y el desarrollo de infraestructura para estaciones de recarga (subsidios a su construcción y abastecimiento de

unidades). Se requiere de la promoción de incentivos para promover el uso de unidades eléctricas para alcanzar una sustitución gradual de transporte público de autobuses vía la reducción de la tasa de arancel a la importación de autopartes de autobuses eléctricos, la reducción de la tasa de arancel a la importación de unidades eléctricas y la creación de planes de financiamiento para la compra de autobuses eléctricos nuevos y reconvertidos. Además, se contempla el desarrollo de programas de capacitación y formación técnica especializada y el establecimiento de una estructura de gobernanza institucional. El escenario de sustitución paulatina requerirá de considerables apoyos gubernamentales en materia de fomento a la inversión e investigación aplicada en temas de electro movilidad para poder desarrollar una industria nacional tanto para la fabricación como para la reconversión de unidades.

Finalmente, el escenario C (de cambio acelerado) requiere de una postura determinada y de gran escala por parte del gobierno para la transformación del transporte público en la modalidad de autobús hacia esquemas de cero emisiones, lo que implica una alta voluntad y capacidad de gestión de parte de los actores políticos que se encuentren involucrados en las negociaciones con grupos de operadores, lo cual no fuese necesario si un mayor número de las unidades de transporte público fuesen operadas de manera directa por el gobierno. Paralelamente, se requiere de fuertes inversiones que faciliten la transición a unidades eléctricas (en estaciones de recarga, por ejemplo) que recaerían al menos de manera subsidiaria en entidades de gobierno como parte de un esquema promotor. Considerando estos factores y las condiciones del país antes descritas se considera muy poco probable que el escenario de cambio acelerado suceda, por lo que se asigna una probabilidad de ocurrencia menor al 33%.

Dado que solo el escenario C conlleva a impactos significativos en la transformación del sistema de transporte por autobuses a esquemas de cero emisiones, se pudieran contemplar algunos alicientes que lo hagan más propenso a ocurrir, tales como la oferta de facilidades para la compra de unidades eléctricas, la gestión gubernamental con los líderes transportistas agremiados, la alineación de voluntades gubernamentales entre entidades federales y locales. La probabilidad de ocurrir también se circunscribe en mejores términos a nivel local, y no a nivel país de manera homologada.

Finalmente, en el indicador de emisión de contaminantes a la atmósfera por concepto de autobuses urbanos, se tendría en una década una disminución de 42,64% de fuentes emisoras, lo cual no se traduce directamente en volumen de emisiones, pues ello depende de factores tales como las capacidades de las unidades, las condiciones topográficas y de altitud de cada región y la tecnología específica seleccionada, sin embargo, puede considerarse altamente significativo. El país tiene como meta la reducción de las emisiones de gases efecto invernadero en un 50% para el año 2050; a escala nacional del orden del 22% de dichas emisiones provienen del sector transporte y en urbes como la Ciudad de México este porcentaje es hasta del 38%, por lo que la transición hacia el uso de energías limpias en el transporte hace una diferencia a considerar.

De manera más detallada, las políticas públicas que propicien el escenario de cambio acelerado deberán contemplar el establecimiento y cumplimiento de estándares más estrictos para la reducción de emisiones del transporte público. Se requerirá de la sustitución masiva del transporte público de autobuses operado por gobierno y concesionarios, por medio de esquemas de incentivos para promover su fabricación, reconversión y uso impulsado por medidas que establezcan una tasa de arancel “cero” para la importación de autopartes de autobuses eléctricos, reducción de la tasa de arancel para la importación de unidades eléctricas, y subsidios para la construcción de estaciones de recarga y energía eléctrica los primeros años de uso.

El escenario acelerado plantea una fuerte intervención de política pública en materia de apoyos a la consolidación de una industria automotriz nacional enfocada en la fabricación de autobuses eléctricos, vía fondos de investigación para proyectos de desarrollo tecnológico en autobuses eléctricos para centros de investigación, universidades y empresas nacionales, gestión de apoyos para la exportación de unidades eléctricas al mercado global, y la consolidación de una estructura de gobernanza interinstitucional que pueda gestionar un plan nacional de electromovilidad. En los siguientes cuadros, se ve un resumen de los impactos de adopción de los escenarios analizados.

Cuadro 9
Escenario A tendencial

Impactos	5 años (8 unidades eléctricas en operación en el agregado de las 3 zonas metropolitanas)	10 años (190 unidades eléctricas en operación en el agregado de las 3 zonas metropolitanas)
Ambiental		
Emisiones CO ₂ Aceites y aguas residuales	La reducción de emisiones de CO ₂ , así como aceites y aguas residuales es mínima; dado que los autobuses eléctricos representan tan solo el 0.01% del total de unidades de autobuses; el impacto ambiental es marginal.	La reducción de emisiones de CO ₂ continúa siendo poco significativa; dado que los autobuses eléctricos representan tan solo el 0.2% de las unidades totales de autobuses en esta proporción se reducen las fuentes emisoras de aceites y aguas residuales en el segmento de esta modalidad de transporte. El impacto ambiental es marginal.
Económico		
Costo operación	A escala tan reducida y en un corto plazo no se visualizan las ganancias o reducción en el costo de operación por lo que el impacto no es representativo.	Aun con el reducido aumento en el número de unidades eléctricas en uso y considerando que el tiempo que ha transcurrido desde su puesta en operación no alcanza en la mayoría de los casos una década, resulta complejo disponer de un estándar de la estructura de costos de operación para unidades eléctricas; los ahorros en el agregado aún no son representativos.
Empleo técnico (operación)	El reducido número de autobuses eléctricos en uso genera un limitado número de conductores para su operación (del orden de 3 conductores por autobús). Del mismo modo, la existencia de pocos autobuses hace a los operadores dependientes en gran medida de proveedores foráneos de servicio y mantenimiento, por lo que no se desarrollan capacidades significativas localmente.	Considerando que se mantiene la proporción de 3 conductores por autobús, a 10 años transcurridos se contaría con alrededor de 570 conductores de autobuses eléctricos en las 3 zonas metropolitanas. Es factible generar una base compacta de personal para actividades de mantenimiento y servicio a unidades eléctricas; cuestiones más complejas aún requerirían ser subcontratadas a proveedores foráneos.
Impactos	5 años (8 unidades eléctricas en operación en el agregado de las 3 zonas metropolitanas)	10 años (190 unidades eléctricas en operación en el agregado de las 3 zonas metropolitanas)
Infraestructura	La demanda de recarga podría abastecerse vía una estación de recarga por zona metropolitana.	Se estima la instalación de alrededor de 27 estaciones de recarga en el agregado, asentadas a lo largo de las rutas específicas donde se operan autobuses eléctricos.
Proveeduría asociada	No es viable que se desarrolle proveeduría local; las refacciones son provistas mediante importación directa de partes.	El stock de refacciones sería manejado por los propios operadores y/o por concesionarios de las empresas fabricantes.
Social		
Salud pública	El número reducido de autobuses eléctricos circulando no sería suficiente para disminuir de manera significativa las emisiones tóxicas del transporte público que perjudican la salud de la población.	La baja proporción de autobuses eléctricos circulando (en comparación de aquellos de diésel) no sería suficiente para reducir de manera significativa las emisiones tóxicas del transporte público que perjudican la salud de la población.
Ruido	El número reducido de autobuses eléctricos circulando no sería suficiente para reducir de manera significativa el ruido emitido por el transporte público.	La baja proporción de autobuses eléctricos circulando (en comparación de aquellos de diésel) no sería suficiente para reducir de manera significativa el ruido generado por el transporte público.
Beneficios complementarios en materia de inclusión social	A escala tan reducida, no se visualizaría un cambio en la composición por género, edad o discapacidad en el personal de operación y mantenimiento de las unidades eléctricas.	
Industrialización		
Inversión en manufactura		
Empleo manufacturero	No existe suficiente demanda nacional para sustentar una industria de manufactura en torno a autobuses eléctricos.	
Cadenas de suministro	No existe suficiente demanda nacional para sustentar una industria de manufactura en torno a autobuses eléctricos.	
Valor de la producción		

Fuente: Elaborado por AXIS Centro de Inteligencia Estratégica.

Cuadro 10
Escenario B sustitución paulatina

Impactos	5 años (154 unidades eléctricas en operación en el agregado de las 3 zonas metropolitanas)	10 años (519 unidades eléctricas en operación en el agregado de las 3 zonas metropolitanas)
Ambiental		
Emisiones CO ₂	El impacto ambiental es marginal pues la flota de autobuses eléctricos representa solamente el 0.17% de las unidades de autobuses en total; en esta proporción se reducen las fuentes emisoras de aceites y aguas residuales en el segmento de esta modalidad de transporte. Dado que el 9% de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI), se considera proveniente de autobuses y microbuses, este nivel de uso de autobuses eléctricos representaría una disminución de emisiones al ambiente de 0.0153 %.	Impacto ambiental es reducido; tan solo el 0.56% de las unidades son eléctricas; en esta proporción se reducen las fuentes emisoras de aceites y aguas residuales en el segmento de esta modalidad de transporte. Dado que el 9% de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI), se considera proveniente de autobuses y microbuses, este nivel de uso de autobuses eléctricos representaría una disminución de emisiones de 0.0504 %.
Aceites y aguas residuales		
Económico		
Costo operación	El número de unidades eléctricas circulando y el poco tiempo transcurrido desde la implementación no permitiría conocer la estructura de costos de operación para unidades eléctricas; los ahorros en el agregado aún no son representativos.	El número de unidades y el tiempo que se tendría en operación apenas permite conocer la estructura de costos de operación para unidades eléctricas. En el caso de optar por la importación o reconversión de unidades se observa la diferencia en costos entre autobuses convencionales y sus contrapartes importadas/reconvertidas. No obstante, los ahorros en el agregado continuarían sin ser representativos.
Empleo técnico (operación)	Considerando que se mantiene la proporción de 3 conductores por autobús, se contaría con alrededor de 462 conductores de autobuses eléctricos en las 3 zonas metropolitanas. Se generaría una base reducida de personal para actividades de mantenimiento y servicio a unidades eléctricas nuevas, usadas y reconvertidas. Cuestiones más complejas aún requerirían ser subcontratadas a proveedores foráneos	Considerando que se mantiene la proporción de 3 conductores por autobús, a 10 años transcurridos se contaría con alrededor de 1,557 conductores de autobuses eléctricos en las 3 zonas metropolitanas. Se requeriría de un mayor número de personal técnico especializado para dar servicio a flotas de autobuses eléctricos nuevos, importados y reconvertidos. El personal de mantenimiento podría haber desarrollado capacidades para atender cuestiones más complejas de servicio a unidades.
Infraestructura	Se requiere la instalación de alrededor de 22 estaciones de recarga para las 3 zonas metropolitanas.	Se requiere la instalación de alrededor de 74 estaciones de recarga asentadas a lo largo de las rutas específicas donde se operan autobuses eléctricos para las 3 zonas metropolitanas.
Proveeduría asociada	El stock de refacciones sería manejado por los propios operadores y/o por concesionarios de las empresas fabricantes.	Se podría desarrollar una base de proveeduría local en cada una de las zonas metropolitanas para atender necesidades de mantenimiento y refacciones, así como para la reconversión de unidades convencionales a eléctricas.
Social		
Salud pública	La baja proporción de autobuses eléctricos circulando (en comparación de aquellos de diésel) no sería suficiente para reducir de manera significativa las emisiones tóxicas del transporte público que perjudican la salud de la población.	Si bien el número de autobuses eléctricos es mayor, la baja proporción que representan en comparación a aquellos de combustión convencional no permite que se distingan cambios significativos en las emisiones que afectan la salud pública.
Ruido	La baja proporción de autobuses eléctricos circulando (en comparación de aquellos de diésel) no sería suficiente para reducir de manera significativa el ruido proveniente del transporte público.	La baja proporción de autobuses eléctricos circulando (en comparación de aquellos de diésel) continuaría sin ser suficiente para reducir de manera significativa el ruido generado por el transporte público.
Beneficios complementarios en materia de inclusión social	A escala tan reducida, no se visualizaría un cambio en la composición por género, edad o discapacidad en el personal de operación y mantenimiento de las unidades eléctricas.	El reducido aumento en el personal requerido para la operación y mantenimiento de unidades eléctricas permitiría fomentar programas piloto de inclusión que contemplen la participación de mujeres y personas con capacidades diferentes.

Industrialización		
Inversión en manufactura	No existe suficiente demanda nacional para sustentar una industria de manufactura en torno a autobuses eléctricos. Se estima que las unidades pertenecientes a concesionarios privados sean adquiridas por medio de importación de unidades usadas provenientes de otros países o mediante la reconversión de unidades ya disponibles.	Puede desarrollarse un mercado moderado para la reconversión de unidades de propulsión convencional a unidades eléctricas
Empleo manufacturero		Se puede generar una reducida base de empleo relacionado a la reconversión de unidades convencionales.
Cadenas de suministro		Se desarrolla proveeduría básica a nivel local derivada de la industria actual de vehículos pesados requerida para la reconversión de unidades.
Valor de la producción		Se comienza a desarrollar un sector para la reconversión de unidades apto para la exportación de las mismas.

Fuente: Elaborado por AXIS Centro de Inteligencia Estratégica.

Cuadro 11
Escenario C cambio acelerado

Impactos	5 años (18.994 unidades eléctricas en operación en el agregado de las 3 zonas metropolitanas)	10 años (39.583 unidades eléctricas en operación en el agregado de las 3 zonas metropolitanas)
Ambiental		
Emisiones de CO ₂	El impacto ambiental en términos de emisiones de GEI y CO ₂ disminuyen ligeramente; al disponer del 21% de la flota cubierta por autobuses eléctricos esto representaría una disminución de emisiones en torno al 1,89 %, considerando que el 9% de las emisiones provienen de autobuses y microbuses.	El impacto ambiental en términos de emisiones de GEI y CO ₂ disminuyen ligeramente; al disponer del 42,64% de la flota cubierta por autobuses eléctricos esto representaría una disminución de emisiones en torno al 3,84 %, considerando que el 9% de las emisiones provienen de autobuses y microbuses.
Aceites y aguas residuales	En la misma proporción (21%) se reducen las fuentes emisoras de aceites y aguas residuales en el segmento de esta modalidad de transporte.	En la misma proporción (42,64%) se reducen las fuentes emisoras de aceites y aguas residuales en el segmento de esta modalidad de transporte.
Económico		
Costo de operación	Si bien se cuenta con una considerable cantidad de unidades eléctricas en circulación, el poco tiempo transcurrido aún no permite analizar completamente la estructura de costos de la operación. No obstante, deberá ser cuantificable el ahorro de combustible diésel.	La cantidad de unidades eléctricas y el tiempo transcurrido en operación permite analizar la estructura de costos de la operación. Debido al número de unidades circulando, los ahorros podrían ser representativos, particularmente términos de ahorro de combustible y mantenimiento
Empleo técnico (operación)	A 5 años transcurridos se contaría con una base bien establecida de conductores de autobuses eléctrico de casi 57.000 plazas en las 3 zonas metropolitanas. Se crea una base establecida de personal que conduce, y ofrece servicio de mantenimiento y reconversión de unidades eléctricas.	Considerando que se mantiene la proporción de 3 conductores por autobús, a 10 años transcurridos las 3 zonas metropolitanas sumarían alrededor de 118.749 conductores. Se consolida una base establecida de personal que conduce, y ofrece servicio de mantenimiento y reconversión de unidades eléctricas.
Impactos	5 años (18.994 unidades eléctricas en operación en el agregado de las 3 zonas metropolitanas)	10 años (39.583 unidades eléctricas en operación en el agregado de las 3 zonas metropolitanas)
Infraestructura	Los autobuses eléctricos representarían el 21,12% del total de unidades en las 3 zonas metropolitanas en el segmento. Se dispondría de poco más de 2.700 estaciones de recarga rápida a lo largo de las rutas.	Al representar casi el 45% del transporte público en autobuses, sería requerido disponer de infraestructura en gran parte de las zonas metropolitanas, incluyendo estaciones de recarga rápida a lo largo de las rutas (alrededor de 5.655 estaciones en las 3 zonas), y la designación de corredores "Cero emisiones" en donde transitan exclusivamente vehículos y autobuses eléctricos.

Proveeduría asociada	Se podría desarrollar una base de proveeduría de refacciones y servicios en cada una de las 3 zonas metropolitanas para el mantenimiento de autobuses eléctricos nuevos. Simultáneamente, se desarrollaría un mercado para la reconversión de unidades convencionales a eléctricas.	A nivel nacional se desarrollaría una base de proveeduría de refacciones exclusiva para el mantenimiento y servicio de autobuses eléctricos, dado el número de unidades en uso. A nivel de cada zona metropolitana se consolidaría el sector de servicios técnicos para la reconversión de unidades convencionales a eléctricas.
Social		
Salud pública	La disminución de emisiones tendría un impacto moderado en indicadores tales como el número de muertes prematuras relacionadas a enfermedades pulmonares y cáncer, generados por la exposición a agentes contaminantes.	
Ruido	Se percibe la disminución en el ruido generado por el transporte público proveniente de autobuses particularmente en las vías por las que se designan las rutas.	
Beneficios complementarios en materia de inclusión social	Debido a una escala de mayor de utilización de unidades eléctricas en México, se podría generar espacios para una mayor inclusión de mujeres, adultos mayores y personas con capacidades diferentes en la fabricación, operación y mantenimiento de dichos autobuses y estaciones de recarga. Las características de más del 42% de las unidades ofrecen beneficios a usuarios al contar con secciones y asientos designados para mejor acceso, comodidad y seguridad.	
Industrialización		
Inversión en manufactura	El volumen de demanda interna puede justificar la instalación o reconversión de una o más plantas de ensamble y prueba de autobuses eléctricos, e inclusive la instalación eventual de plantas de manufactura con mayor nivel de integración. La instalación de cada nueva planta de ensamble final y prueba traería consigo una inversión en el orden de 15,4 millones de pesos ⁴⁸ , mientras que una planta de manufactura completa representaría inversiones del orden de 428,5 millones de pesos.	El volumen de demanda interna puede justificar la instalación o reconversión de diversas plantas de manufactura, ensamble y prueba de autobuses eléctricos. La instalación de cada nueva planta de ensamble final y prueba traería consigo una inversión en el orden de 15,4 millones de pesos ⁴⁹ , mientras que una planta de manufactura completa representaría inversiones del orden de 428,5 millones de pesos.
Impactos	5 años (18.994 unidades eléctricas en operación en el agregado de las 3 zonas metropolitanas)	10 años (39.583 unidades eléctricas en operación en el agregado de las 3 zonas metropolitanas)
Empleo manufacturero	Una planta de ensamble final y prueba pudiera generar alrededor de 80 a 100 nuevos empleos para la instalación de una planta de autobuses eléctricos, mientras que una planta de fabricación altamente integrada se contempla que pudiera generar más de 1.500 empleos.	
Cadenas de suministro	Se desarrollaría la base de proveeduría que suministre fabricación de piezas y refacciones, así como para dar soporte a las operaciones de planta y brindar servicios de logística.	Se complementaría la base de proveeduría que suministre fabricación de piezas y refacciones, así como para dar soporte a las operaciones de planta y brindar servicios de logística.
Valor de la producción	El valor de la producción sería el equivalente a 200 unidades (al año). De fabricarse el 100% de los autobuses requeridos proyectados, el valor de producción sería en el orden de 100 millones USD ⁵⁰	El valor de la producción sería el equivalente a más de 2.000 unidades fabricadas al año. De fabricarse el 100% de los autobuses requeridos proyectados, el valor de producción sería en el orden de 1.000 millones USD ⁵¹

Fuente: Elaboración propia.

⁴⁸ Cifra calculada al tipo de cambio 1RMB= 2.74 MXN. Fecha de referencia: octubre 2019.

⁴⁹ Cifra calculada al tipo de cambio 1RMB= 2.74 MXN. Fecha de referencia: octubre 2019.

⁵⁰ El precio de autobuses eléctricos se coloca entre 500,000 y 800.000 USD, para efectos de la estimación del valor de producción, se considera el valor inferior.

⁵¹ El precio de autobuses eléctricos se coloca entre 500,000 y 800.000 USD, para efectos de la estimación del valor de producción, se considera el valor inferior.

III. Modelos de negocios

El desarrollo de ese capítulo fue basado en informaciones publicadas o disponibles en sitios web y en una secuencia de entrevistas realizadas en México con actores gubernamentales, operadores del sistema de transporte público y organismos internacionales, listados en el anexo 1.

A. Características del transporte público en México

México tiene una población de 126,2 millones de habitantes⁵² y se estima que, diariamente, cerca de 103 millones de personas se mueven en el país, ya sea en transporte público o privado⁵³. De estos viajes, el 50% se observa en grandes conurbaciones urbanas como el Valle de la Ciudad de México, el área metropolitana de Guadalajara y el área metropolitana de Monterrey⁵⁴. Estas tres zonas albergan a cerca de un quinto de la población de todo México. La Zona Metropolitana del Valle de México corresponde al área metropolitana formada por la Ciudad de México y 60 municipios aglomerados. Tiene una población de casi 22 millones de habitantes⁵⁵, de los cuales 15,63 millones realizan al menos un viaje a la semana⁵⁶. En toda la zona metropolitana se realizan 34,56 millones de viajes al día y 15,57 de ellos son en transporte público, equivalente a un 45%. De estos, más de la mitad son registrados en sistemas no estructurados.

⁵² The World Bank. (2018). *The World Bank*. Obtenido de The World Bank: <http://datatopics.worldbank.org/world-development-indicators/themes/people.html>.

⁵³ Robles, R., & Méndez, G. (2018). *Anatomía de la movilidad en México, hacia dónde vamos*. Secretaría de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano (Sedatu).

⁵⁴ Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (.s.f.). *INEGI*. Obtenido de INEGI: <https://www.inegi.org.mx/>.

⁵⁵ Naciones Unidas. (2019). *UN Data*. Obtenido de UN Data: <http://data.un.org/Data.aspx?q=population+by+city&d=POP&f=tableCode%3a240>.

⁵⁶ Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (. (2017). *Encuesta Origen Destino en Hogares de la Zona Metropolitana del Valle de México 2017*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/programas/eod/2017/>.

Lamentablemente, debido a la falta de regulación de los sistemas de transporte, no existe centralización de la información⁵⁷. Es por eso que no se cuenta con información fidedigna y actualizada de la operación de las unidades de baja y mediana capacidad, tanto en la zona metropolitana como en el resto del país⁵⁸. Por esa razón se contó con entrevistas hechas directamente con los operadores de sistemas de transporte en México para el levantamiento de informaciones más actualizadas.

La Zona Metropolitana del Valle de México cuenta con la mayor variedad de sistemas de alta capacidad. Pero, a pesar del nivel de desarrollo del transporte público, este se caracteriza por ser muy diverso⁵⁹, coexistiendo sistemas de transporte públicos y privados, bajo distintos modelos de regulación y operación. Solo algunos medios utilizan el mismo sistema de pago, sin ser compatibles con el resto y solo Metrobús cuenta con un centro de control y geolocalización.

En términos de grado de formalidad de las empresas, el transporte público en México se puede clasificar en estructurado, semi estructurado y no estructurado. El sistema de transporte público estructurado, o regulado estatalmente, opera generalmente sistemas de alta capacidad, como el metro o los trolebuses. Su nombre nace del hecho que tienen participación parcial o total del estado, estando regulados en términos de operación y de cobro de tarifa⁶⁰. En contraste, el sistema de transporte público semi estructurado y no estructurado, con poca o nula regulación, opera unidades de mediana o baja capacidad, como buses de menor estándar de calidad, microbuses, minibuses y combis. En este caso la participación del estado es mínima, dejando todas las responsabilidades en mano de los cientos o a veces miles de operadores privados. Estos sistemas son generalmente ineficientes, inseguros y con bajos estándares de calidad⁶¹. Sin embargo, cubren gran parte de la demanda por transporte público en México.

En el cuadro 12 se puede observar todos los servicios de transporte público ofrecidos en la Zona Metropolitana del Valle de México, y sus principales características están detalladas en el recuadro 1. Dentro de los sistemas estructurados se consideran el Metro, los sistemas de BRT Metrobús y Mexibús, los sistemas de electromovilidad Trolebús y Tren ligero, los buses públicos RTP, el tren suburbano y el Mexicable, la línea de teleférico de Ciudad de México. Dentro de los sistemas no estructurados, se considera a los “hombre-camión” y las Concesiones, también llamadas “ruta-empresa”.

⁵⁷ Peón, G., & Medina, S. (2017). *Movilidad inteligente para la Ciudad de México*. Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (ITDP).

⁵⁸ Orbea, J. (19 de Agosto de 2019). Comunicación oral (J. Briones, Entrevistador)

⁵⁹ Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2017). *Encuesta Origen Destino en Hogares de la Zona Metropolitana del Valle de México 2017*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/programas/eod/2017/>

⁶⁰ Flores-Dewey, O., & Zegras, C. (2012). The costs of inclusion: Incorporating existing bus operators into Mexico City's emerging bus rapid transit system. *12th Conference on Advanced Systems for Public Transport*.

⁶¹ Robles, R., & Méndez, G. (2018). *Anatomía de la movilidad en México, hacia dónde vamos*. Secretaría de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano (Sedatu).

Cuadro 12
Servicios de transporte público ofrecidos en la Ciudad de México

Categoría	Modos de transporte ofrecidos	Vehículos en Operación ^a	Líneas en operación	Pasajeros diarios transportados ^b
Sistemas de transporte público de alta capacidad (Estructurado)	Metro	276 trenes	12 líneas	4.3 millones
	Metrobús	524 autobuses	7 líneas	976 000
	Mexibús ^f	210 autobuses	3 líneas	388 000
	Trolebús	147 trolebuses ^c	8 líneas	140 000
	Tren ligero	18 trenes	1 línea	88 000
	Buses públicos (RTP)	1 360 autobuses	94 rutas	387 000
	Tren suburbano	Sin información ^e	1 línea	184 000
	Mexicable	185 cabinas	1 línea	21 000
Sistemas de transporte público de mediana y baja capacidad (Semi estructurado y no estructurado)	Concesiones ("Ruta-empresa")	2 000 ^d	22	Sin Información ^e
	Concesiones individuales ("Hombre-camión")	15 500 unidades ^d	106 rutas	11,54 millones

Fuente: Elaboración propia.

^aInformación obtenida de: INEGI, entrevistas y sitios web oficiales de cada empresa de transporte. Puede diferir de los vehículos disponibles.

^bPromedio de pasajeros diarios transportados entre 2017 y 2019 (Fuente: INEGI).

^cEl año 2019 se adquirieron 63 trolebuses adicionales, pero aún no se encuentran en operación.

^dDebido a falta de información centralizada, números no son exactos, se encontraron diferencias entre la literatura y la información obtenida de las entrevistas y no cuenta el transporte informal.

^eSin información oficial.

^fSi bien pertenece al Estado de México, el servicio une a este Estado con la Ciudad de México.

Recuadro 1
Características del transporte público en el valle de México

Metro

La red de metro de Ciudad de México es operada y administrada por el organismo público descentralizado Sistema de Transporte Colectivo o STC. Entrega movilidad a usuarios tanto de la Ciudad de México como al resto de la zona metropolitana del Valle de México (Sistema de Transporte Colectivo, s.f.). Entró en funcionamiento el año 1969 y actualmente cuenta con 195 estaciones a lo largo de 12 líneas y sirviendo a más de 4 millones de pasajeros al día.

Cada pasajero puede realizar un viaje continuo en la red de metro con un solo boleto, incluyendo transbordos. Pero no está permitido utilizar otros modos de transporte dentro de la ciudad con el mismo boleto, aunque haya medio de pago integrado.

- Tarifa comercial: 5 pesos mexicanos (sin cambios desde 2013).
- Forma de pago: compra de boleto de papel o uso de Tarjeta CDMX (integrada con Metrobús y el tren ligero).

Metrobús

Metrobús es un organismo público descentralizado, creado con el objetivo de administrar, planificar y controlar el sistema BRT de Ciudad de México, sin tener u operar buses directamente (Sistema de Corredores de Transporte Público de Pasajeros del D.F., Metrobús, s.f.). La operación de los corredores está a cargo en un 25% del organismo público descentralizado Red de Transporte de Pasajeros o RTP; y en un 75% a cargo de las empresas privadas llamadas "ruta-empresa" a través de concesiones de operación (Flores-Dewey & Zegras, 2012; Rivas, et al., 2007).

Cada pasajero puede realizar un viaje continuo y unidireccional con un solo boleto, incluyendo transbordos. Pero no está permitido utilizar otros modos de transporte dentro de la ciudad con el mismo boleto, aunque haya medio de pago integrado.

- Tarifa comercial: 6 pesos mexicanos (sin cambios desde 2013).
- Forma de pago: tarjeta electrónica MB (no integrada con otros sistemas) o uso de Tarjeta CDMX (integrada con Metrobús y el tren ligero).

Mexibús

Mexibús es un sistema BRT que tiene solo 3 líneas. Su administración, control y operación depende de solo tres empresas privadas: Transmasivo S.A. (Línea Mexibús I), Transcomunicador Mexiquense S.A. de C.V. (Línea Mexibús II) y Red de Transporte de Oriente S.A. de C.V. (Línea Mexibús III). Estas empresas están bajo regulación del Gobierno del Estado de México, quien entregó el derecho a operación a través de una licitación en 2010.

Mexibús no cuenta con integración tarifaria entre las tres líneas del sistema. Es decir, transbordos entre distintas líneas requieren de boletos diferentes. Sí hay integración de modo de pago junto con el Mexicable, con la Tarjeta de Mexipase.

- Tarifa comercial: 7 pesos mexicanos (sin cambios desde 2013).
- Forma de pago: tarjeta recargable (integrada con el Mexicable).

Trolebuses

El sistema de trolebuses de la Ciudad de México depende del organismo público descentralizado Servicio de Transportes Eléctricos del Distrito Federal, al igual que el tren ligero y los taxis eléctricos (Servicio de Transportes Eléctricos, s.f.). Cuentan con 8 líneas, incluyendo un corredor de flujo exclusivo de trolebuses, llamado "Corredor Cero Emisiones".

Para utilizar el servicio, se debe comprar un boleto cuya tarifa depende de la línea a utilizar. Aunque se cuenta con estaciones de transbordo a otros sistemas de transporte, esto no es posible con el mismo boleto del trolebús.

- Tarifa comercial: 2 o 4 pesos mexicanos, dependiendo de la línea (la tarifa de 2 pesos está vigente desde 2001, mientras que la de 4 pesos, desde 2009).
- Forma de pago: compra de boleto al momento de abordar.

Tren ligero

El tren ligero también forma parte de la red del Servicio de Transportes Eléctricos del Distrito Federal. Este opera en el sur de Ciudad de México, con 16 estaciones a lo largo de una línea de 13 kilómetros.

Aunque hay medio de pago integrado con Metro y Metrobús, no hay integración de tarifa. Por la misma razón, los transbordos entre sistemas distintos no están permitidos.

- Tarifa comercial: 3 pesos mexicanos (sin cambios desde 2010).
- Forma de pago: tarjeta recargable CDMX (integrada con Metro y Metrobús).

Buses públicos (RTP)

Servicio público de buses de transporte de pasajeros a cargo del Gobierno del Distrito Federal, a través del organismo público descentralizado Red de Transporte de Pasajeros (RTP). Se creó con el objetivo de atender preferentemente a las zonas periféricas de la Ciudad de México, que corresponden también a las clases más populares.

- Tarifa comercial: Entre 2 y 5 pesos mexicanos en servicio normal.
- Forma de pago: tarjeta recargable (no integrada con otros sistemas).

Tren suburbano

El tren suburbano es un medio de transporte que cubre grandes distancias, conectando a la Ciudad de México con el Estado de México. Redujo el tiempo de viaje entre la zona norte de la Ciudad de México y tres otros municipios del Estado de México en un 70%, pasando de 2,5 horas a cerca de 25 minutos (Ferrocarriles Suburbanos, s.f.). El tren suburbano no cuenta con integración de tarifa ni de modo de pago con ningún otro medio de transporte.

- Tarifa comercial: entre 8 y 19 pesos mexicanos, dependiendo de la distancia recorrida.
- Forma de pago: tarjeta de prepago (no integrada con otros sistemas).

Mexicable

Línea única de teleférico en Ciudad de México con fines de transporte público de pasajeros, no de turismo. Se construyó el año 2014 con el objetivo de entregar un medio de transporte masivo a zonas de difícil acceso (Mexicable, n.d.). Es un medio de transporte eléctrico.

- Tarifa comercial: 7 pesos mexicanos.
- Forma de pago: tarjeta recargable (integrada con el Mexicable).

Fuente: Elaboración propia.

Recuadro 2
El problema de la tarifa comercial vs la tarifa técnica en la ciudad de México

La tarifa de los corredores concesionados es determinada por el Gobierno de Ciudad de México y no está integrada con ningún otro medio de transporte. El pago por parte de los usuarios se hace a través de alcancías directamente en el bus.

Tarifa comercial: Entre 6.50 y 7 pesos mexicanos, dependiendo del tipo de servicio.

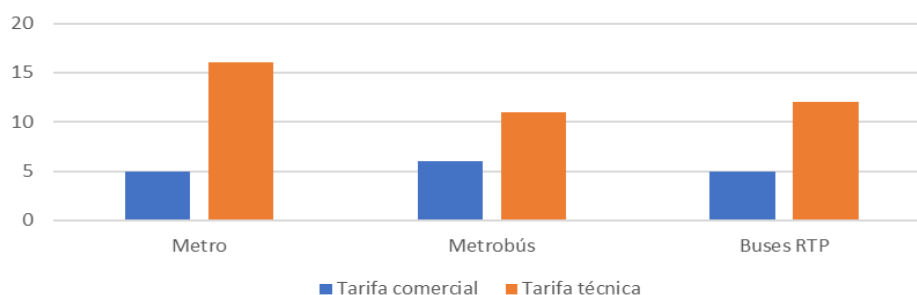
Forma de pago: compra de boleto al momento de abordar.

Del análisis anterior, se puede observar que, en Ciudad de México, no existe integración tarifaria y la integración de modo de pago solo se da en algunos casos. Además, las tarifas no han variado desde hace muchos años.

Esta situación ha generado un déficit financiero importante, ya que mientras la tarifa comercial no ha aumentado, la tarifa técnica sí lo ha hecho. Como resultado, la diferencia entre las tarifas técnicas y comerciales ha alcanzado niveles que ya no son sostenibles para los gobiernos. En el gráfico 3 se muestra la diferencia que existe entre la tarifa pagada por los usuarios (comercial) y el verdadero costo del servicio para el gobierno (tarifa técnica) en algunos de los servicios en pesos mexicanos. Esta ilustración ha sido elaborada a partir de los datos proporcionados en las entrevistas.

El desfase entre ambas tarifas se debe, en gran medida, a que la tarifa comercial depende del jefe de gobierno, no de una entidad externa. Entonces, cualquier variación puede tener grandes repercusiones en la opinión pública y, por consiguiente, sobre el gobierno de turno.

Diferencia entre tarifa comercial y técnica en algunos modos de transporte público (en pesos mexicanos)



Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 12, abajo, donde se muestran los principales sistemas de transporte público de pasajeros en otras ciudades de México, se puede notar el mismo efecto que ya se observó en Ciudad de México (cuadro anterior). El número de viajes diarios en transporte público de mediana o baja capacidad es muchísimo mayor al que se realiza en todos los otros modos. Tal como se mencionó antes, los "hombre-camión" se llevan gran parte de la partición modal en todo México, con su consiguiente inseguridad, baja calidad del servicio y altos costos ambientales⁶². Adicionalmente, las concesiones llamadas "ruta-empresa", también muy utilizadas en el resto de México, nacieron de la misma forma que en Ciudad de México, en un esfuerzo de los gobiernos locales por formalizar, en algún nivel, a los "hombre-camión".

La gran partición modal de medios no estructurados se debe principalmente a la baja oferta de sistemas estructurados y de alta capacidad, como los que se observan en Monterrey, Guadalajara, Pachuca, Chihuahua y Ciudad Juárez, Acapulco y Puebla (cuadro 13 con sus características en el recuadro 2). Todos estos estados han comenzado a construir un camino hacia la formalización del transporte público, pero representan un bajo porcentaje de participación respecto al total de usuarios. La gran diferencia entre oferta

⁶² Robles, R., & Méndez, G. (2018). *Anatomía de la movilidad en México, hacia dónde vamos*. Secretaría de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano (Sedatu).

y demanda es una de las principales razones por las que los medios de transporte no estructurados siguen operando con tanta popularidad.

Cuadro 13
Modos de transporte público ofrecidos en otras ciudades de México

Categoría	Ciudad	Modos de transporte ofrecidos	Vehículos en operación	Líneas	Pasajeros diarios transportados ^a
Sistemas de transporte público de alta capacidad (Estructurado)	Guadalajara	Macrobús (BRT)	120 ^b	172	130 000 ^b
		Tren ligero	48	2	280 000
		SITREN	53	2	15 000
		Trolebuses ^c	23	1	12 000
	Monterrey	Metro (Metrorrey)	40	2	500 000
		Ecovía (BRT)	80	1	160 000
		Transmetro	86	10	91 000
		Metrobús	535	29	47 000
		Metroenlace	100	6	Sin información ^d
	León	Optibús (BRT)	92	10	800 000
Sistemas de transporte público de mediana y baja capacidad (Semiestructurado y no estructurado)	Pachuca	Tuzobus (BRT)	Sin información ^d	1	114 000
	Chihuahua y Ciudad Juárez	Metrobús (BRT) (ex ViveBús)	Sin información ^d	1	Sin información ^d
	Acapulco	Acabús (BRT)	135	1	100 000
	Puebla	Ruta (BRT)	Sin información ^d	3	226 000
	Presente en varias de las ciudades de México	Concesiones ("Ruta-empresa")	Sin información ^d	Sin información ^d	Sin información ^d
		Concesiones individuales ("Hombre-camión")	Sin información ^d	Sin información ^d	10 millones

Fuente: Elaboración propia.

^aPromedio de pasajeros diarios transportados. Fuente: INEGI y sitios web oficiales de los sistemas de transporte.

^bMacrobús cuenta con 2 rutas troncales con 40 buses y 15 rutas alimentadoras con 80 buses. En total en ambos recorridos se transportan 130,000 pasajeros.

^cTrolebuses operan como una línea de SITREN.

^dSin información oficial.

Luego de la zona metropolitana, Guadalajara es la segunda urbanización más habitada en México, con 5 millones de habitantes, seguida por Monterrey, igualmente con casi 5 millones (Naciones Unidas, 2019). Esta es una de las principales razones por las cuales Guadalajara y Monterrey han liderado el desarrollo del transporte público fuera de la zona metropolitana. Este desarrollo está marcado por el nacimiento de más y más variados servicios de transporte público.

Recuadro 3
Características del transporte público en otras ciudades de México

Macrobús, Guadalajara

Macrobús es el sistema de buses BRT de la ciudad de Guadalajara. Opera en un corredor de 16.6 kilómetros, con carriles de uso exclusivo de los buses y 27 estaciones (SITEUR, 2019). El pago por el servicio de Macrobús permite el transbordo al tren ligero y a SITREN a una tarifa menor al costo total de dichos servicios.

- Tarifa comercial: 9,50 pesos mexicanos o 4,75 si se hace transbordo de otros modos.
- Forma de pago: tarjeta electrónica (integrada con el tren ligero y SITREN).

Tren ligero, Guadalajara

El tren ligero de Guadalajara cuenta con 2 líneas y 30 estaciones, la tercera línea está en construcción (SITEUR, 2019). El transbordo entre líneas del tren ligero no tiene costo.

- Tarifa comercial: 9,50 pesos mexicanos o 4,75 si se hace transbordo de otros modos.
- Forma de pago: tarjeta electrónica (integrada con Macrobus y SITREN).

SITREN, Guadalajara

El Sistema Integral del Tren Ligero, SITREN, es un servicio de buses y trolebuses que opera como alimentador del tren ligero. Aunque ambos modos están conectados, el transbordo tiene un costo, aunque menor al total del servicio. Hay un proyecto de una tercera línea de SITREN, pero aún no ha comenzado su construcción (SITEUR, 2019).

- Tarifa comercial: 9,50 pesos mexicanos o 4,75 si se hace transbordo de otros modos.
- Forma de pago: Tarjeta electrónica (integrada con Macrobus y tren ligero).
- Trolebuses, Guadalajara

Hasta antes del 2016, los trolebuses estaban operados por Sistecozome, empresa paraestatal de Guadalajara. Debido a su decaimiento en los años 2000, el sistema de trolebuses de Guadalajara pasó a manos de SITREN el año 2016. Ahora opera como la tercera línea alimentadora del sistema, por lo que su tarifa y modo de pago corresponden a los mismos de SITREN.

Metro (Metrorrey), Monterrey

El servicio de metro de Monterrey es controlado, gestionado y operado por Metrorrey. Cuenta con dos líneas y 32 estaciones, permitiendo a los pasajeros conectar a las rutas de buses alimentadoras. Estas son Ecovía, Transmetro, Metrobus y Metroenlace (C4o Cities Finance Facility, 2019) y se explican en más detalle a continuación.

- Tarifa comercial: 4,50 pesos mexicanos.
- Forma de pago: compra de boleto o uso de Tarjeta MIA.

Ecovía, Monterrey

Ecovía es un sistema BRT que, si bien fue diseñado para contar con rutas troncales y alimentadoras, solo funciona en su característica de sistema troncal. Cuenta con integración tarifaria con el metro (Metrorrey) y los servicios alimentadores del metro. El costo para el usuario depende de dónde se aborda primero, ya que el costo del viaje será aquel de donde primero se realiza el pago.

- Tarifa comercial: entre 10,40 y 14,30 pesos mexicanos o 4,50 si se conecta del metro.
- Forma de pago: uso de tarjeta FERIA.

Transmetro, Monterrey

Es un sistema de alimentación del metro dependiente de Metrorrey, por lo que su objetivo es llevar la demanda a distintas estaciones de metro. Cuenta con tarifa integrada y medio de pago integrado con el metro (Metrorrey) y el resto de los servicios alimentadores del metro. Es decir, el usuario puede hacer transbordos entre los distintos sistemas pagando una sola vez la tarifa (C4o Cities Finance Facility, 2019).

- Tarifa comercial: 4,50 pesos mexicanos.
- Forma de pago: en efectivo, uso de tarjeta FERIA (integrada a alimentadores del metro) o tarjeta MIA (integrada a Metro).

Metrobús, Monterrey

Rutas de alimentación del metro de Monterrey, gestionadas por Metrorrey. Cuenta con modo de pago integrado con las rutas alimentadoras del metro. Los transbordos entre Metrobús y el metro están permitidos y el costo de la tarifa depende dónde se realiza el primer pago y del tipo de pago. Entonces, el usuario pagará 8 pesos mexicanos si pasa de Metrobús al metro y 12 si el transbordo es el metro a Metrobús en efectivo. Pero un total de 10.22 pesos mexicanos totales si utiliza la tarjeta FERIA.

- Tarifa comercial: entre 8 y 12 pesos mexicanos.
- Forma de pago: en efectivo o uso de tarjeta FERIA (integrada a alimentadores del metro).

Metroenlace, Monterrey

Rutas interurbanas de alimentación del metro, gestionadas por Metrorrey. La tarifa depende de la distancia recorrida.

- Tarifa comercial: entre 12 y 351 pesos mexicanos.
- Forma de pago: efectivo.

Por último, el transporte no estructurado en Monterrey (“hombre-camión” y “ruta-empresa”) funciona de manera similar a Ciudad de México, con diferencias en las tarifas de los usuarios y medios de pago. En este tipo de sistemas, existen 12 tipos de tarifa distinta, que varían según el tipo de servicio, el tipo de tarifa y el tipo de vehículo utilizado (C4o Cities Finance Facility, 2019). Los valores van entre 5.80 y 17 pesos mexicanos. El pago por el uso de estos modos se realiza en efectivo y, en algunos casos, con la tarjeta FERIA, integrada a los buses de sistemas estructurados de Monterrey.

Fuente: Elaboración propia.

En México, el transporte estructurado solo está presente en algunas de las ciudades más grandes del país, como lo son Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey, entre otras (ver cuadro abajo). Además, aunque cada vez más ciudades intentan formalizar sus esquemas pasando a formar sistemas BRT (llamados así por las siglas en inglés “Bus Rapid Transit”), muchas veces estas mejoras no han cambiado junto con la distribución geográfica de la población. Existiendo muchas zonas donde el transporte formal no llega o bien es poco confiable para los pasajeros en términos de frecuencia⁶³.

Cuadro 14
Oferta de transporte público en México

Categoría	Partición modal (México) ^a	Ejemplos de tipo de servicio	Presente en
Sistemas de transporte público de alta capacidad (Estructurado)	12,24%	Metro Sistemas BRT Trolebuses Tren ligero	Zona Metropolitana del Valle de México, León, Guadalajara, Monterrey, Hermosillo, Acapulco, Pachuca, Chihuahua y Ciudad Juárez, Puebla.
Sistemas de transporte público de mediana y baja capacidad (Semi estructurado y no estructurado)	87,76%	Microbuses y combis (“hombre-camión”) Concesiones (“Ruta-empresa”) Taxis públicos Bicicletas públicas	Varias ciudades de México

Fuente: Elaboración propia.

^aNota: Anatomía de la movilidad en México, hacia dónde vamos (Robles & Méndez, 2018).

⁶³ Navarro, U., & Viñas, K. (2015). Transporte Público Masivo en la Zona Metropolitana del Valle de México Proyecciones de demanda y soluciones al 2024. Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (ITDP).

Como se observa en el cuadro anterior el transporte semi estructurado y no estructurado se ha llevado durante años la mayor parte de la demanda en todo el país. Y el protagonismo lo tienen dos actores clave en el transporte público en México: los llamados “hombre-camión” y los corredores concesionados, operados por las llamadas “ruta-empresa”. Aunque no se cuenta con información exacta, debido a la descentralización e informalidad del sistema, se estima que cerca de un 88% de la demanda por transporte público en México es satisfecha por este tipo de transporte semi estructurado y no estructurado⁶⁴.

De esa manera, el sistema de transporte público se ha mantenido, en gran medida, en estado informal y desregulado. La demanda es satisfecha, principalmente, por operadores privados llamados “hombre-camión”. Bajo este sistema, hay cientos o hasta miles de microempresarios operando un número definido de unidades, muchas veces organizados en asociaciones civiles. Para poder operar una ruta, el gobierno entrega un permiso a cada empresario, razón por la cual se les conoce también con el nombre de “permisionarios”. La frecuencia de los buses, la repartición entre los conductores y todo lo que tenga que ver con la gestión de las rutas es definido por las mismas asociaciones, sin ningún tipo de regulación estatal.

Un esquema de este tipo presenta muchas externalidades negativas, tanto para los operadores como para los usuarios y la comunidad, las cuales no están siendo internalizadas. Por un lado, debido a que los ingresos de cada empresario dependen directamente del número de pasajeros que transporta, los conductores trabajan turnos de más de 14 horas y se produce un exceso de unidades y de su consiguiente contaminación en la calle.

Por otro lado, debido a la falta de un sitio centralizado donde los buses sean estacionados o guardados cuando no están operando. Actualmente, en Ciudad de México, hay cerca de 20 mil unidades que son guardados en las calles. A otros se les han asignado informalmente patios públicos, como plazas de aparcamiento que no están siendo utilizadas o espacios vacíos debajo de puentes y junto a carreteras. Esto también resulta en que la escasa mantención que se realiza a las unidades se haga en la calle. Además de que no existe obligación contractual alguna, el mantenimiento preventivo es nulo y las unidades solo se reparan cuando el daño amenaza la operación de este.

A pesar de sus desventajas, es un sistema tan barato que resulta complejo cambiarlo, ya que ni las empresas ni el gobierno cuentan con los recursos para modernizar las unidades o formalizar el sistema. El número de unidades es tan grande que resulta imposible hacer una inversión tan grande para poder reemplazarlas todas. Y el combustible que utilizan, licuado de petróleo, es muy barato también.

B. Modelos de negocios actuales

Tal como se mencionó anteriormente, el transporte público en México no es homogéneo. Es por esto, que los modelos de negocios varían tanto dentro de una ciudad como a lo largo del país. Esto se debe principalmente a que no hay una entidad única reguladora del sistema de transporte en México ni leyes que restrinjan la operación a nivel nacional. Adicionalmente, las condiciones de cada ciudad o estado son particulares de la zona, como el número de pasajeros a servir, los recursos disponibles o incluso las condiciones climáticas y de terreno.

En el cuadro 15 se identifican los principales esquemas operando actualmente tanto en Ciudad de México como en otras ciudades. Estos se ordenan de acuerdo con el grado de formalidad del sistema, el que está en directa relación al nivel de participación del sector público y el grado de competencia en el mercado. Así, en el extremo superior aparecen los ya mencionados colectivos, combis y microbuses

⁶⁴ Robles, R., & Méndez, G. (2018). Anatomía de la movilidad en México, hacia dónde vamos. Secretaría de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano (Sedatu).

de baja capacidad que, si bien están regulados por el gobierno, dependen de privados para su operación. En contraste, en el extremo inferior del cuadro se encuentran los sistemas públicos que tienen total participación de los gobiernos locales.

Cuadro 15
Modelos de negocios en operación en México

Modelo de negocio	Descripción	Modo de transporte
Concesiones individuales ("Hombre-camión")	Administración y operación de las unidades de transporte están a cargo de individuos, donde cada uno cuenta con un número reducido de unidades.	Colectivos (combis y microbuses) presentes en todo México
Concesiones a organización "ruta-empresa"	Administración y operación de las unidades de transporte dependen de varias empresas que aglomeran a microempresarios, donde cada uno cuenta con un número reducido de unidades.	Corredores concesionados presentes en varias ciudades de México
Concesión a una o varias empresas privadas	Administración es del gobierno local, pero la operación del transporte de pasajeros es concedida a una o varias empresas privadas.	Mexibús (CDMX) Tren suburbano (CDMX) Mexicable (CDMX) Ruta (Puebla)
Participación público-privada	Empresa pública está a cargo de la regulación del sistema y de la contratación para la operación de este. Operadores conformados por empresas privadas y entidades públicas, funcionando en conjunto.	Metrobús (CDMX) Transmetro, Metrobús y Metroenlace (Monterrey) Optibús (BRT León) Acabús (BRT Acapulco)
Sistema público a través de un organismo público descentralizado	Administración y operación del sistema depende directamente de una empresa pública descentralizada.	Metro, Trolebús, tren ligero y RTP (CDMX) Tren ligero, Macrobús y SITREN (Guadalajara) Metrorrey (Monterrey)

Fuente: Elaboración propia.

1. Concesiones individuales ("Hombre-camión")

El modelo tradicional del "hombre-camión" está presente en todas las ciudades de México. Para esta caracterización hemos utilizados el trabajo de Morales (2014)⁶⁵ e información recabada en entrevistas. Bajo el esquema de hombre-camión no siempre hay terrenos para depósitos e infraestructura disponible. Pero, en caso de sí haber sitios designados, estos pueden ser de propiedad de los mismos microempresarios, de una organización de microempresarios o del estado (representado como "Autoridad de transporte"). Aunque todo el resto de las actividades depende de los microempresarios, generalmente estos arriendan sus buses a otras personas para que los conduzcan. Además de la conducción, se encargan del combustible y realizan la recaudación. Una parte de esta recaudación la destinan a pagar un monto diario, semanal o mensual a los dueños de los buses. La recaudación depende directamente del número de pasajeros transportados.

En este modelo está separada la provisión de los buses (en algunos casos junto con su mantenimiento) de la prestación del servicio. En el caso de la concesión individual, es el concesionario el que tiene la titularidad del bus y se encarga del mantenimiento y el conductor no trabaja para este concesionario, sino que le arrienda uno de sus buses para prestar el servicio de transporte. Además, es el conductor el que realiza la recaudación.

⁶⁵ Morales, E. (2014). La estructura organizacional de poder del Sistema de Transporte de Pasajeros Microbús. CTS Embarq México. Ciudad de México: Minuta. No publicada.

2. Concesiones a organización “ruta-empresa”

Las ruta-empresa o corredores en Ciudad de México, corresponden a un sector semi estructurado conformado por empresas que, al menos en teoría, tienen mayores grados de formalidad que el hombre camión, pero en los que en la práctica no hay mayor regulación ni control por parte del Estado. Se trata de empresas conformadas a partir de hombres-camión que a instancias del Estado conformaron empresas que, en teoría o al menos una parte de ellas, son formales en términos de propiedad de flota y depósitos y contratación de personal. El Estado dispuso que a medida que se formalizaran estas empresas operarían ciertos ejes de la ciudad, los corredores, en los cuales tendría exclusividad, esto es, no tendrían competencia por parte de otras empresas de transporte público. Se definió en un comienzo programas de operación (trazados, frecuencias, horarios, etc.) y una tarifa. Si se cumplieran todas estas condiciones, si efectivamente se controlaran estos programas de operación, estas empresas podrían ser comparables con las asociaciones público-privadas que funcionan dentro de los sistemas BRT. Sin embargo, como reconocen nuestros entrevistados, en la práctica no se controla el cumplimiento de estos programas de operación. Si bien hay algunas empresas que poseen su flota y contratan a sus conductores, hay otras donde estas condiciones no se estarían cumpliendo.

3. Concesión a una o varias empresas privadas

En este modelo, el gobierno entrega en concesión a una o más empresas la operación sobre ciertas rutas por un período de tiempo, encargándose, muchas veces, de la provisión de los terrenos y la infraestructura para los depósitos. Este es el caso de Mexibús, del Mexicable y del sistema BRT de Puebla, llamado RUTA. La principal diferencia respecto a las concesiones individuales o los corredores concesionados es la regulación del gobierno en cuanto a la calidad de los buses operados, la tecnología del medio de pago y la tarifa de pago de los usuarios, entre otros.

En estos casos el funcionamiento depende de las mismas tres entidades: autoridades responsables del gobierno local, una o más empresas privadas operadoras y organismo externo que administra la recaudación. En el Mexibús las empresas operadoras son tres y cada una de ellas opera una de las líneas del sistema BRT: Mexibús I, II y III. En el Mexicable hay una sola empresa operadora llamada Mexiteleférico, conformada a su vez por dos consorcios. El tren suburbano depende de una sola empresa operadora a la cual se le entregó la concesión, llamada Ferrocarriles Suburbanos. En Puebla se le entregó la concesión una sola empresa operadora, llamada Red Urbana de Transporte Articulado (RUTA).

4. Participación público-privada

En un sistema de participación público-privada, generalmente hay tres actores relevantes: el sector público, muchas veces a través de un organismo público descentralizado, otras veces como una secretaría dentro del gobierno local; los encargados de la operación, generalmente pertenecientes al sector privado (a excepción de Metrobús); y un agente externo responsable de la recaudación del sistema. De esta forma, se entrega un servicio de transporte público de pasajeros regulado por el gobierno local, pero operado por empresas privadas u operadores estatales o, como es el caso de Metrobús, una combinación de ambos sectores.

La principal diferencia de este modelo respecto a la concesión a una o más empresas privadas, modelo descrito anteriormente, es la mayor participación pública. En primer lugar, se crea un organismo público descentralizado, entidad gubernamental que ahora concentra los recursos para la administración del sistema de transporte. En segundo lugar, bajo este esquema financiero, este organismo público también se responsabiliza de la planificación del sistema, que de otro modo estaría a cargo de las mismas empresas operadoras.

Los sistemas BRT Metrobús, Acabús y Optibús, además de los alimentadores de metro Transmetro, Metrobús y Metroenlace, en Monterrey, funcionan bajo este modelo. Por lo mismo,

presentan varias similitudes respecto a cómo se reparten las actividades del servicio de transporte público. Por ejemplo, en todos los casos es la Autoridad de transporte quien provee los terrenos y la infraestructura necesaria para la operación. Generalmente, estos sitios son posteriormente arrendados a las empresas operadoras. También se observa que en todos estos sistemas la planificación está a cargo de las mismas autoridades y la recaudación está en manos de un organismo externo.

En el caso de Metrobús, el actor descrito como “autoridad de transporte” corresponde al organismo público descentralizado Metrobús. Similar es el caso de los sistemas de Monterrey, donde la Autoridad de transporte representa al organismo público descentralizado llamado Metrorrey, y al caso de Acabús, donde este es llamado Acabús. A diferencia de estos sistemas, la Autoridad de transporte del sistema BRT Optibús es el gobierno local, a través de la Dirección General de Movilidad⁶⁶. Una gran diferencia de Metrobús respecto a otros modelos de este tipo es que la operación es realizada tanto por el sector público como el sector privado. Este caso es especial y no se repite en ninguna otra ciudad de México. En este caso, como Metrobús no cuenta con buses, entrega la operación a 10 empresas privadas y a una empresa pública. El organismo público descentralizado Red de Transporte de Pasajeros (RTP) está a cargo de un 25% de la operación y las empresas privadas, correspondientes a “ruta-empresa”, del restante 75%.

Por otro lado, Transmetro, Metrobús y Metroenlace operan a través de empresas privadas⁶⁷. En el caso de Acabús, la operación es responsabilidad de un concesionario de transporte, empresa coordinadora del Acabús. La concesión fue entregada por el Gobierno del Estado de Guerrero (Acabus, s.f.). Por último, en el caso de Optibús, las cuatro empresas operadoras también corresponden a organizaciones de los antiguos “hombre-camión” que operaban en la ciudad de León, conocidas como “ruta-empresa”⁶⁸.

La recaudación completa del sistema Metrobús es dividida entre los operadores, en base a un pago fijo por vehículo y un pago por kilómetro que varía dependiendo del corredor servido⁶⁹. En Monterrey, los ingresos por conceptos de tarifas son repartidas equitativamente entre los medios de transporte utilizados, a excepción de entre Metro y Ecovía, donde no hay repartición⁷⁰.

En el caso de Acabús, el concesionario de recaudo está en manos de la empresa Teknei, que presta sus servicios de recaudo y vigilancia en estaciones y paraderos (Acabus, s.f.). En el caso de Optibús, los ingresos de cada empresa operadora son repartidos equitativa y proporcionalmente a los kilómetros recorridos entre los empresarios organizados en ella. Adicionalmente, una porción de los ingresos es guardada para la renovación de flota y el mantenimiento⁷¹.

5. Sistema público a través de un organismo público descentralizado

Este último modelo se encuentra en sistemas de transporte de mayor madurez y corresponde a un esquema de administración y operación pública. Al igual que los modelos de participación público-privada, se cuenta con tres entidades, pero en este caso la operación y planificación dependen de un organismo público descentralizado y no de empresas privadas.

Bajo esta categoría se encuentran el metro, los trolebuses, el tren ligero y los buses públicos de Ciudad de México; el sistema BRT Macrobus y SITREN y el tren ligero de Guadalajara; y el metro de

⁶⁶ Alva, M., & Sánchez, E. (2018). La utilidad de la intervención organizacional en el análisis de políticas públicas: estudio de caso del Servicio Integral de Transporte de León, Gto. *Gestión y Estrategia*.

⁶⁷ C40 Cities Finance Facility. (02 de Julio de 2019). *C40 Cities Finance Facility*. Obtenido de C40 Cities Finance Facility: https://c40-production-images.s3.amazonaws.com/other_uploads/images/2266_Mexican_Cities_Lead_on_E-Mobility_July_2019-SPA.original.pdf?1562074123.

⁶⁸ Lámbarry, F., Rivas, L., & Trujillo, M. (2010). Institutional Aspects on Bus Rapid Transit Systems Implementation in Mexico City, Estado de Mexico and León Guanajuato. *Journal of Management and Strategy*.

⁶⁹ Díaz, R., Lugo, R., Páez, F., Mojica, C., & Corbacho, I. (2015). *Oportunidades de financiamiento a operadores privados de transporte en Latinoamérica*. Ciudad de México: Banco Interamericano de Desarrollo.

⁷⁰ Véase la referencia 41.

⁷¹ Véase la referencia 42.

Monterrey. Si bien todos estos esquemas financieros son similares, se encuentran diferencias respecto a la provisión de la infraestructura y la propiedad de los vehículos.

En Ciudad de México, los organismos públicos descentralizados dependen del Gobierno del Distrito Federal y son tres: El Sistema de Transporte Colectivo, STC (que opera el metro), el Servicio de Transportes Eléctricos, STE (sistema de trolebuses y el tren ligero) y la Red de Transporte de Pasajeros del Distrito Federal, RTP (buses públicos). En Guadalajara, tanto el tren ligero como Metrobús y SITREN son propiedad del Gobierno del Estado de Jalisco y son operados por el organismo público Sistema de Tren Eléctrico Urbano (SITEUR). Por último, en Monterrey, Metrorrey es el organismo público descentralizado a cargo de la construcción, operación, administración y mantenimiento del Sistema de Transporte Colectivo Metro (tren ligero). Paralelamente, administra y gestiona los sistemas alimentadores al metro de Monterrey.

Situación actual de la electromovilidad en México

La electromovilidad en el transporte público de México, es escasa, pero no inexistente. Grandes urbes como Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey cuentan con líneas de metro o tren ligero y trolebuses desde los años 50 y durante las últimas décadas se han implementado otros modos de transporte eléctricos como teleféricos, bicis eléctricas e incluso taxis eléctricos. Sin embargo, estos modos representan un porcentaje muy bajo de la oferta de transporte público en cada una de las ciudades. Además de estas tecnologías, hay una serie de proyectos en etapas de desarrollo en ciudades como Ciudad de México, Guadalajara, Monterrey y Hermosillo. Todos estos se muestran también en el cuadro 16.

En particular, Ciudad de México ha decidido potenciar el sistema de trolebuses y recuperar la infraestructura que estaba abandonada o incluso destruida⁷². Actualmente cuentan con 250 kilómetros de catenarias por la ciudad que se están rescatando y cerca de 150 vehículos en operación, además de 63 nuevas unidades que fueron adquiridas este año 2019, pero que no están en operación (Calderón, 2019). El crecimiento es importante y, según la nueva administración del organismo público descentralizado Sistemas de Transportes Eléctricos (STE), el objetivo es contar con 500 unidades al 2024.

También como parte del sistema de trolebuses, destacable es el llamado Corredor Cero Emisiones en el Eje Central “Lázaro Cárdenas”, una de las vialidades más importantes de la ciudad. Con el objetivo de reducir la contaminación en el área y mejorar la calidad de vida de los usuarios, se decidió convertirlo en un corredor donde el flujo es exclusivo de trolebuses (Sistemas de Transportes Eléctricos, s.f.).

Entre los proyectos más modernos en Ciudad de México se destacan el Mexicable, una línea de teleféricos que conecta zonas de difícil acceso para el transporte público convencional. Aunque actualmente solo hay una línea en funcionamiento, hay proyectos para su extensión⁷³.

Los taxis eléctricos, por otro lado, no dieron buen resultado. Fueron comprados por la ciudad para ser utilizados en el centro histórico de la ciudad y entregados a una agrupación de taxistas para su operación. Pero debido a la escasez de estaciones de carga y a que los precios eran más altos que los taxis tradicionales, no resultaron un buen negocio para los taxistas y fueron devueltos. Actualmente se cuenta con una flota de 20 vehículos en las dependencias de STE y, debido al modo de operación, la autonomía se ha visto reducida de 130 a 80 km/h⁷⁴.

⁷² Armas, A. (05 de Mayo de 2019). *My Press Noticias y Negocios*. Obtenido de My Press México: <https://www.mypress.mx/negocios/la-propuesta-de-movilidad-en-cdmx-una-mejora-en-periferias-5514>.

⁷³ Jiménez, R. (27 de Agosto de 2018). *El Universal*. Obtenido de El Universal: <https://www.eluniversal.com.mx/metropoli/edomex/construccion-del-mexicable-de-naucalpan-inicia-en-2019>.

⁷⁴ Calderón, G. (2019, Agosto 26). Comunicación oral (J. Briones, Entrevistador).

Cuadro 16
Modos de Transporte eléctricos en funcionamiento en México

Ciudad	Modo de transporte / Proyecto	Estado
Zona Metropolitana del Valle de México	Metro	En funcionamiento desde 1969
	Trolebús	En funcionamiento desde 1951
	Corredor "Cero Emisiones"	En funcionamiento desde 2009
	Tren ligero	En funcionamiento desde 1986
	Proyecto: L4 Metrobús	Proyecto piloto.
	Mexicable	En funcionamiento desde 2016
	Taxis eléctricos	En funcionamiento desde 2011
	Bicis eléctricas	En funcionamiento desde 2018
Guadalajara	Proyecto: Eje 8 Sur	Estudios publicados en 2018
	Trolebús	En funcionamiento desde 1976
	Tren ligero	En funcionamiento desde 1994
	Proyecto: Buses eléctricos	Publicado en julio 2019
Monterrey	Tren ligero	En funcionamiento desde 1991
	Proyecto: Buses eléctricos	Publicado en julio 2019
Hermosillo	Proyecto: Buses eléctricos	Publicado en julio 2019

Fuente: Elaboración propia.

Dentro de los proyectos piloto de electromovilidad en Ciudad de México, se reconocen dos que alcanzaron etapas de gran avance. El primero es la prueba de buses eléctricos en la Línea 4 del sistema Metrobús. Se realizó la compra de los buses y se probaron en terreno, pero estos no alcanzaron a operar en el transporte de pasajeros. El segundo es el proyecto de electrificar el corredor Eje 8 Sur, importante vía para la movilidad en la Zona Metropolitana del Valle de México. El estudio estuvo conformado por una serie de documentos en los que se estudiaron aspectos como la movilidad bajo la situación actual, la viabilidad económica del proyecto y tecnologías alternas a los buses eléctricos, entre otros. Se concluyó que, en el caso particular del Eje 8 Sur, la mejor tecnología serían los buses eléctricos de carga nocturna, pero el proyecto aún no se ha llevado a cabo⁷⁵.

Por último, los proyectos de implementación de buses eléctricos en el sistema de transporte público de las ciudades de Guadalajara, Monterrey y Hermosillo fueron publicados oficialmente en julio de este año⁷⁶. Estos se realizarán en colaboración con el programa *C40 Cities Finance Facility*, el cual trabajará en conjunto con las autoridades correspondientes para transformar algunas líneas importantes para el transporte de cada ciudad.

Guadalajara planea electrificar el sistema BRT que opera en la ciudad. La línea tiene 41 kilómetros y, con este proyecto, se espera reducir de forma significativa la contaminación en la región y la consiguiente mejora de la salud de sus residentes. En Hermosillo, la línea de BRT que se pretende electrificar es de 23,6 kilómetros de largo. El proyecto está directamente relacionado con otros proyectos de energía renovable que se están implementando en la ciudad. Por último, en Monterrey se electrificarán las líneas del sistema BRT, con el objetivo de enlazarlas a la nueva línea de metro. Se espera mejorar la conectividad y reducir los tiempos de viaje (*C40 Cities Finance Facility*, *C40 Cities Finance Facility*, 2019).

⁷⁵ C40 Cities Finance Facilities. (2018). *Análisis de buses eléctricos para el corredor cero emisiones Eje 8 Sur*. Ciudad de México: C40 Cities Finance Facilities.

⁷⁶ C40 Cities Finance Facility. (02 de Julio de 2019). *C40 Cities Finance Facility*. Obtenido de C40 Cities Finance Facility: https://c40-production-images.s3.amazonaws.com/other_uploads/images/2266_Mexican_Cities_Lead_on_E-Mobility_July_2019-SPA.original.pdf?1562074123.

C40 Cities Finance Facility. (2019). *Presentación del proyecto de 3 rutas de alimentación de la línea 3 de Monterrey*. Monterrey: C40 Cities Finance Facility.

C. Análisis de nuevos modelos de negocios

Una de las principales barreras para la implementación de buses eléctricos en el transporte público de México, es que los modelos de negocios actuales han demostrado ser muy rígidos, repartiendo las actividades del servicio de transporte de formas que ya se han probado inútiles al momento de implementar buses eléctricos. Responsabilidades como la provisión de la infraestructura y la energía, la propiedad de los buses, el mantenimiento y el trabajo de recaudación podrían reordenarse, de tal forma que pasen a estar a cargo de entidades con las capacidades técnicas y financieras de llevarlas a cabo.

Sin embargo, las complejidades de los sistemas para implementar buses eléctricos varían entre los sistemas estructurados, semi estructurados y no estructurados. Debido al distinto nivel de participación del sector público y su consiguiente regulación sobre el sistema, las responsabilidades son repartidas de distinta manera. Por la misma razón, los modelos estructurados cuentan con algunas características que facilitan la implementación de buses eléctricos que no están presentes en los modelos semi estructurados y no estructurados.

En el cuadro 17 se muestran los principales problemas que tienen los actuales modelos de negocios. Las actividades que se listan están basadas en los modelos analizados anteriormente. Bajo la columna “actividad” se listan las actividades de los modelos que podrían presentar fuertes problemas u oportunidades para la implementación de buses eléctricos. Bajo las dos últimas columnas (“modelo de negocio actual” y “en el caso de buses eléctricos”) se detallan la situación actual y las posibles consecuencias en el caso de implementar buses eléctricos. Por último, todo el análisis se separa para el caso del transporte estructurado y semi estructurado y no estructurado.

Cuadro 17
Principales problemáticas de los modelos de negocios actuales en México

Actividad	Tipo de sistema	Modelo de negocio actual	En el caso de buses eléctricos
Terrenos para construcción de infraestructura	Estructurado	Entregados por el gobierno local	Gobiernos locales cuentan con el acceso a terrenos para construir la infraestructura de carga. Empresas privadas no tienen acceso a los mismos terrenos.
	Semi estructurado y no estructurado	En caso de existir, entregados por el gobierno local	
Infraestructura de carga	Estructurado	Financiada por el gobierno local	Operadores privados y gobierno desconocen el funcionamiento de este tipo de infraestructura y son mucho más caras que las actuales. No hay dinero disponible para su construcción. Pero el gobierno presenta mayor respaldo financiero que los operadores privados.
	Semi estructurado y no estructurado	Financiada por operadores privados	
Propiedad del bus	Estructurado	Financiados por el gobierno local	Buses eléctricos son más caros y ni los operadores privados ni el gobierno tiene dinero para pagarlos. Pero el gobierno presenta mayor respaldo financiero.
	Semi estructurado y no estructurado	Financiados por operadores privados	
Mantenimiento	Estructurado	Depende directamente del gobierno local	Mantenimiento depende de las autoridades responsables que tienen la propiedad de los vehículos. De esta forma, se encuentra regulado y se asegura su cumplimiento. El mantenimiento pasa a ser importante, dado el alto costo de los buses. Pero, debido a la ausencia de contratos y al desconocimiento de la nueva tecnología, los operadores privados no están obligados a entregar el mantenimiento.
	Semi estructurado y no estructurado	Depende directamente del operador privado	
Provisión de energía	Estructurado	Está a cargo del gobierno local	Con la implementación de buses eléctricos nacen nuevas necesidades energéticas que antes no existían.
	Semi estructurado y no estructurado	Está a cargo de los operadores privados	

Actividad	Tipo de sistema	Modelo de negocio actual	En el caso de buses eléctricos
Planificación del servicio	Estructurado	A cargo del gobierno local	En caso de tener que cambiar la planificación, el proceso es simple porque depende del sector público.
	Semi estructurado y no estructurado	Generalmente a cargo de los mismos operadores	Se hace difícil implementar cualquier tipo de mejora en la planificación.
Recaudación	Estructurado	Está a cargo de un agente externo	En el caso de que se integren nuevos actores en el sistema, la repartición de las ganancias se hace fácil, ya que depende de un agente externo centralizado.
	Semi estructurado y no estructurado	Está a cargo de los operadores privados	En el caso de que se integren nuevos actores en el sistema, se hace imposible la repartición de ingresos porque cada bus recauda sus propias ganancias.

Fuente: Elaboración propia.

Del cuadro se puede observar que aquellos sistemas en los que el mantenimiento y la recaudación dependen de las autoridades competentes presentan una ventaja. Por un lado, el mantenimiento a los buses eléctricos es muy importante y actualmente no puede dejarse en manos de empresas privadas que, debido a la ausencia de contratos, no cuentan con obligaciones respecto a la mantención de las unidades que operan. Por otro lado, el que la recaudación esté centralizada tiene como consecuencia que los ingresos puedan repartirse entre todos los participantes del sistema, además de generar oportunidades de mejora como unificar el medio de pago o incluso la tarifa.

También se rescata el hecho de que el gobierno tiene mayor respaldo financiero que los operadores privados, además de mayor nivel de confianza frente a instituciones prestamistas. Esto genera una ventaja, ya que, al momento de hacer grandes inversiones, el estado puede entregar mayor confianza a empresas privadas para que estas quieran hacer los préstamos o, incluso, las mismas inversiones. Adicionalmente, los gobiernos locales muchas veces cuentan con terrenos públicos que resultan de gran utilidad cuando hay que construir la nueva infraestructura de carga.

El hecho que la planificación esté en manos del sector público es una gran ventaja. Esto significa que la planeación de rutas, frecuencias y salidas de buses, entre otras funciones, estén determinadas por un organismo centralizado que es capaz de tomar decisiones considerando toda una red. Además de contar con los recursos tecnológicos necesarios para ellos. En cambio, cuando la planificación se encuentra en manos de los operadores privados, que solo tienen conocimiento del funcionamiento de su recorrido, esta es determinada por opiniones que pueden estar mal fundamentadas o que dependen de los intereses económicos de cada microempresario.

Al mismo tiempo, la integración de tecnologías como los buses eléctricos al modelo “hombre-camión”, tal como existe actualmente, no es posible. En primer lugar, los empresarios privados no cuentan con el dinero necesario para grandes inversiones como la adquisición de los buses y la construcción de la infraestructura de carga. Y tampoco tienen el respaldo financiero requerido para realizar estas inversiones a través de una entidad prestamista. En segundo lugar, debido a la inexistencia de contratos formales, no es posible regular el mantenimiento de los buses. Y, en tercer lugar, el trabajo de recaudación depende de la misma empresa privada operadora.

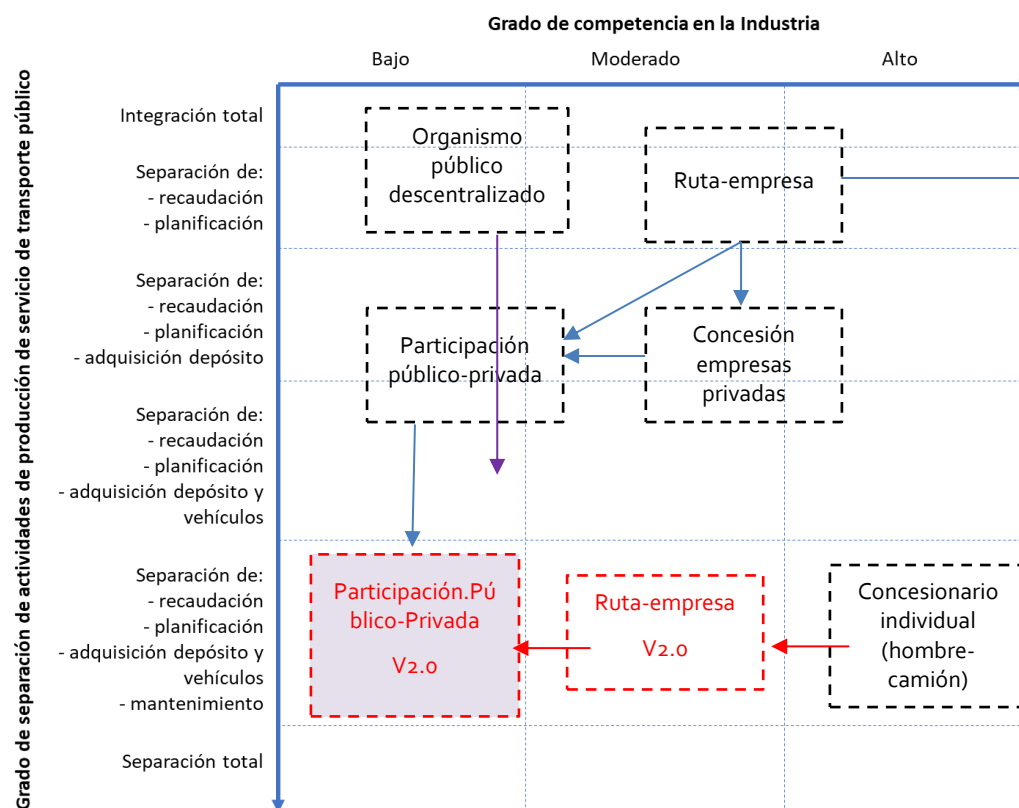
En conclusión, los modelos donde el sector público tiene mayor participación presentan una gran oportunidad para implementar buses eléctricos. Estos modelos son los de “participación público-privada”, como Metrobús en Ciudad de México, Transmetro en Monterrey u Optibús en León; y los “sistemas públicos a través de un organismo público descentralizado”, como STE en Ciudad de México, SITEUR en Guadalajara o Metrorrey en Monterrey (sección o). Sin embargo, dado que los sistemas de transporte público semi estructurado y no estructurado representan una gran mayoría en el país, su análisis es necesario.

Adicionalmente a la rigidez de los modelos de negocios, se reconocen una serie de condiciones necesarias para habilitar la implementación de buses eléctricos en el transporte público de pasajeros de México. Una conclusión tanto de esta investigación como de las entrevistas realizadas es que estas condiciones no se están cumpliendo actualmente. Sin que estas sean abordadas, la implementación de nuevos modelos de negocios no tendrá los resultados esperados. La ausencia de contratos formales en el caso del transporte semi estructurado y no estructurado hace imposible regular a los operadores y entregarles mayores responsabilidades. Por otro lado, las mismas concesiones que son entregadas en formas de permisos (sin contratos), tienen períodos muy cortos como para integrar el pago de buses eléctricos. Por último, la falta de políticas públicas y subsidios no entregan los incentivos necesarios a los operadores privados para la renovación de la flota y menos a tecnologías más limpias y costosas, como los buses eléctricos.

Tanto en el caso del transporte estructurado como el semi estructurado y no estructurado, el modo de pago actual, que muchas veces se realiza en efectivo, hace complejo el trabajo de recaudación. Y finalmente, especialmente en el caso del transporte estructurado, el desfase entre las tarifas comerciales y técnicas seguirá trayendo graves problemas.

Para proceder al análisis de modelos de negocios que permitan la implementación de buses eléctricos en México, primero se requiere visualizar la situación actual según su nivel de madurez y separación de las actividades. De esta forma, se puede analizar el nivel de participación del estado versus el sector privado en cada esquema, al mismo tiempo que la cantidad de actores en el mismo. Esta aplicación se muestra en el diagrama abajo.

Diagrama 4
Marco conceptual aplicado a modelos de negocios en México



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en el diagrama 5, los modelos con mayores oportunidades para la integración de buses eléctricos tienen mayor participación del estado y menor separación de las actividades. Tradicionalmente, se esperaría que los “hombre-camión” sigan un camino tradicional de formalización, tal como se muestra en la figura. Este camino es el de organización en empresas como las llamadas “ruta-empresa”, para luego pasar a sistemas tipo BRT con operadores privados (participación público privada) y, finalmente, la integración total del sistema por el sector público.

Sin embargo, dado que los “hombre-camión” representan un gran porcentaje en el país, este camino tradicional puede tomar mucho tiempo, siendo quizás imposible lograrlo en algunas ciudades o zonas en particular. Es por esto que en este reporte se proponen esquemas financieros para ser aplicados tanto en los sistemas estructurados como en sistemas semi estructurados y no estructurados. De esta forma, se cuenta con opciones para mejorar el medio ambiente a través de buses limpios en ambos casos, sin tener que esperar a la formalización de estos sistemas tan utilizados en México. A partir de esto, se proponen soluciones para ambos casos por separado.

1. Sistemas estructurados

Tal como se mencionó anteriormente, los sistemas estructurados con mayores oportunidades son aquellos operando bajo el modelo “participación público-privada” y “sistemas públicos a través de un organismo público descentralizado”. Pero hay que considerar que, estos esquemas aún presentan problemas, como fue descrito en el cuadro 18. Por eso, aún en estos casos es necesario aplicar nuevos modelos que permitan la integración de buses eléctricos, lidiando con las consecuencias que esta renovación de flota podría traer. A continuación, se muestran tres modelos de negocios propuestos para los sistemas estructurados, basados en el trabajo de Orbea (2019)⁷⁷, variando básicamente el rol de la empresa fabricante de vehículos eléctricos en el mantenimiento de estos.

Cuadro 18
Modelo de negocios propuesto para sistemas estructurados de México

Actividades del servicio	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Terreno para depósito	Autoridad de transporte	Autoridad de transporte	Autoridad de transporte
Infraestructura para depósito	Empresa especializada	Empresa especializada	Empresa especializada
Provisión vehículo	Empresa fabricante	Empresa fabricante	Empresa fabricante
Mantenimiento	Empresa operadora	Empresa operadora	Empresa operadora
Conductores			
Combustible o energía			
Administración			
Planificación	Autoridad transporte	Autoridad transporte	Autoridad transporte
Recaudación	Administrador financiero	Administrador financiero	Administrador financiero

Fuente: Elaboración propia.

⁷⁷ Orbea, J. (19 de Agosto de 2019). Comunicación oral (J. Briones, Entrevistador).

2. Sistemas no estructurados

Tal como ya se mencionó antes, los sistemas no estructurados no cuentan con las condiciones para poder integrar buses eléctricos. Especialmente el caso del “hombre-camión”, debido a la falta de regulación del sistema, que conlleva a las problemáticas ya explicadas al principio de este capítulo. El caso de las “ruta-empresa”, conjunto de “hombre-camión” organizados bajo una empresa, es un poco distinto, ya que la centralización de las responsabilidades es un gran paso. Sin embargo, los sistemas no estructurados son una parte importante del transporte público en México y no pueden ser pasados por alto. Por eso, en esta sección se analiza el impacto que tendría la implementación de buses eléctricos en estos sistemas de transporte y, a continuación, se proponen modelos de negocios que se esperaba tuvieran mejores resultados.

Se procedió a realizar un análisis financiero de los sistemas “hombre-camión” y “ruta-empresa” para comprobar los efectos de la integración de buses eléctricos en sus modelos de negocios. Para ambos casos, la información financiera proviene del estudio CTS Embarq México 2014⁷⁸, con detalles de costos e ingresos de los empresarios para los años 2013-2014. Estos datos fueron utilizados para analizar los costos e ingresos totales para cada caso.

a) Hombre-camión

Se considera un sistema en el cual el “hombre-camión” es un empresario que arrienda diariamente sus unidades a conductores, quienes prestan directamente el servicio de transporte. Este funciona 26 días al mes, durante 12 meses al año, transportando un promedio de 650 pasajeros diarios y recorriendo 280 kilómetros al día. Se asume un costo de la unidad de 1,200,000 pesos mexicanos, la que se paga en un período de 5 años a una tasa de interés de 13,32%.

Los costos de cada unidad se clasifican en operacionales, separados en costos de mantenimiento, combustible y pago de sueldos al personal; y no operacionales (administrativos), costo fijo de pago a las agrupaciones que se mencionaron en secciones anteriores. Por otro lado, los ingresos provienen la operación, es decir, por el pago de la tarifa de los pasajeros; y por concepto de publicidad, llamados no operacionales, que corresponden a un 7% de los ingresos operacionales. Respecto al pago de la tarifa, se consideró que un 85% de los pasajeros transportados paga una tarifa completa de 6 pesos mexicanos. Mientras que el 15% restante paga la tarifa preferencial de 3 pesos mexicanos.

El análisis financiero de este caso base, sin la incorporación de buses eléctricos, se muestra en el cuadro 19. En esta, se observa un valor actual neto - VAN de 67.070,3 USD. El cambio utilizado fue el correspondiente al 30 de septiembre de 2018, donde 1 peso mexicano = 0,051 USD. A continuación, se procede a analizar la incorporación de buses eléctricos a este modelo. El análisis financiero se muestra en el cuadro 19 y se mantienen algunas variables respecto al caso anterior, como los datos operacionales. Los valores que se variaron respecto al caso anterior son el precio del bus, los costos de mantenimiento y combustible y la inversión inicial en infraestructura de carga, como sigue:

- Precio del bus: Se considera un valor de 357.000 USD por cada unidad, que corresponde a un costo de 300.000 más un impuesto al consumo de un 19%, tal como se observó en el caso de Chile. El pago se mantiene a 5 años con una tasa de interés del 13,32%.

⁷⁸ CTS Embarq México. (2014). Análisis de costos e ingresos de operadores hombre-camión y de corredores. Ciudad de México.

- Costos de mantenimiento: En base a los datos presentados sobre el caso chileno, el mantenimiento de un bus eléctrico tiene un valor de 0,082 USD/km. Esto genera un incremento de un 58% anual respecto al caso base (de 4.527,53 USD a 7.163,52 USD). El aumento se debe principalmente a que actualmente el mantenimiento que se les da a los buses es mínimo, en comparación al mantenimiento necesario de los buses eléctricos.
- Costos de combustible: Nuevamente, en base a los datos presentados sobre el caso chileno, la energía tiene un valor de 0,096 USD/km. Esto genera una reducción de un 56% anualmente (de 18.998,93 USD a 8.386,56 USD). Esta reducción se debe a que la energía es más barata que el combustible utilizado actualmente.
- Infraestructura de carga: Este costo es nuevo, ya que actualmente los empresarios no invierten en infraestructura de ningún tipo. Se considera un valor de 3.000.000 USD por cada 100 buses (datos presentados sobre el caso chileno).

En este caso (caso 2), el VAN toma un valor de -203.391,23 USD, lo que corresponde a pérdidas considerables para los “hombre-camión”.

Cuadro 19
Caso base: Análisis financiero del "hombre-camión" sin buses eléctricos
(En dólares)

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Infraestructura	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Adquisición bus ^a	-	19 644,59	18 014,22	16 383,85	14 753,48	13 123,12	-	-	-	-	-
Operación	-	37 455,51	37 455,51	37 455,51	37 455,51	37 455,51	37 455,51	37 455,51	37 455,51	37 455,51	37 455,51
Administración	-	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00
Ingresos	-	61 420,72	61 420,72	61 420,72	61 420,72	61 420,72	61 420,72	61 420,72	61 420,72	61 420,72	61 420,72
VAN	67 070,27										

Fuente: Elaboración propia.

^aAdquisición bus considera pagos equivalentes mensuales acumulados e intereses mensuales acumulados a una tasa de 13,32%.

Cuadro 20
Caso 2: Análisis financiero del "hombre-camión" con la implementación de buses eléctricos
(En dólares)

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Infraestructura	30 000,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Adquisición bus ^a	-	114 593,43	105 082,95	95 572,47	86 061,99	76 551,51	-	-	-	-	-
Operación	-	29 479,14	29 479,14	29 479,14	29 479,14	29 479,14	29 479,14	29 479,14	29 479,14	29 479,14	29 479,14
Administración	-	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00	510,00
Ingresos	-	61 420,72	61 420,72	61 420,72	61 420,72	61 420,72	61 420,72	61 420,72	61 420,72	61 420,72	61 420,72
VAN	-203 391,23										

Fuente: Elaboración propia.

^aAdquisición bus considera pagos equivalentes mensuales acumulados e intereses mensuales acumulados a una tasa de 13,32%.

Para analizar las variables que más afectan a los “hombre-camión” bajo la implementación de buses eléctricos, se realizaron distintos análisis de sensibilidad. En el cuadro abajo se muestran los factores que se variaron, manteniendo el resto fijos, y el VAN obtenido en cada caso. Cabe destacar, que los análisis de los casos en adelante se hacen en base al caso 2. Por lo tanto, la información de costos corresponde a los que se muestran cuando ya se integraron los buses eléctricos.

Cuadro 21
Análisis de sensibilidad para el análisis financiero del “hombre-camión”

Caso	Variación	VAN (en dólares)
Base	Sin la implementación de buses eléctricos	67 070,27
2	Implementación de buses eléctricos: Varía el precio del bus, los costos de mantenimiento y combustible y la inversión inicial en infraestructura de carga	-203 391,23
3	Pago del bus a 10 años (tasa de interés de un 13.32%)	-206 927,09
4	Pago del bus a 10 años y reducción de tasa de interés a un 7%	-133 830,12
5	Pago del bus a 15 años (tasa de interés de un 13.32%)	-177 953,48
6	Pago del bus a 15 años y reducción de tasa de interés a un 7%	-84 734,78
7	Pago del bus a 10 años (tasa de interés de un 13.32%) y no pago de la inversión de infraestructura de carga	-176 927,09
8	Pago del bus a 10 años, reducción de tasa de interés a un 7% y no pago de la inversión de infraestructura de carga	-103 830,12
9	Pago del bus a 15 años, reducción de tasa de interés a un 7% y no pago de la inversión de infraestructura de carga	-54 734,78

Fuente: Elaboración propia.

Al hacer variar el período del pago del bus, implícitamente se alarga la concesión entregada que actualmente es de 10 años. Esto ya se mencionó antes como una condición necesaria para poder implementar buses eléctricos. También representa la participación de una agencia externa que puede entregar los buses en arriendo, como una empresa manufacturera, una institución prestamista o el mismo gobierno.

Pero el efecto que tiene el período de pago de los buses no es tan relevante como la tasa de interés a la que se realizan estos pagos anuales. Como se observa en el cuadro 20, las mayores reducciones aparecen cuando se reduce tasa a un 7%. Reducir la tasa de interés significa también disminuir el riesgo que los “hombre-camión” representan para cualquier agencia arrendataria. Este riesgo se aminora a través de contratos que entreguen mayores responsabilidades a los operadores de buses.

La infraestructura de carga también representa un costo importante, ya que actualmente no existe y las unidades de transporte duermen en sitios públicos designados. Al analizar el “no pago” de la inversión por la infraestructura, se está asumiendo que el gobierno u otra empresa puede ser quien haga la inversión, dando luego los terrenos en arriendo a los operadores. Pero, aunque el costo de inversión de la infraestructura de carga sea alto, este no tiene mayor efecto sobre el VAN que el período de pago de los buses o la tasa de interés.

En conclusión, en ninguno de los casos analizados, la implementación de buses eléctricos tiene un efecto positivo sobre los “hombre-camión”. Para que el VAN tome valores no negativos para los operadores, deberían existir subsidios para apoyar en la adquisición de los buses principalmente. Además de respaldos para los pagos de infraestructura, energía y mantenimiento. Sin embargo, debido a la escasa regulación de los “hombre-camión” y sus consiguientes problemáticas ya mencionadas, estas mejoras se hacen muy difíciles de implementar.

b) Ruta-empresa

En este caso, se considera una empresa que cuenta con 150 unidades, cada una de las cuales opera 24 días al mes, 12 meses al año, transportando un promedio de 650 pasajeros diarios y recorriendo 180 kilómetros al día. Se asume un costo de 1.100.000 pesos mexicanos de cada unidad, las que se pagan en un período de 5 años a una tasa de interés de un 11.32%.

Al igual que para el caso anterior, los costos de cada unidad se clasifican en operacionales y no operacionales o administrativos. Los primeros se separan en mantenimiento, combustible y personal, mientras que los segundos ahora son por concepto de costos de encierro, oficinas y talleres. Nuevamente, los ingresos provienen tanto de la operación como por publicidad. Las tarifas, tipos de pasajeros y porcentaje de la publicidad respecto a los ingresos operaciones se mantienen iguales que en el caso del “hombre-camión”.

En el cuadro 21 se muestra el análisis financiero para una “ruta-empresa” con las características ya descritas, sin la implementación de buses eléctricos. Presenta un VAN de 4.654.669,70 para la empresa completa, con sus 150 unidades. En el cuadro 22 se muestra el mismo análisis, pero luego de la implementación de buses eléctricos, sin ningún tipo de reestructuración del modelo de negocios. El VAN negativo -37.034.829,44 demuestra que las empresas, por sí solas, no pueden cubrir los gastos que supone esta actualización de tecnología.

Cuadro 22
Caso base: Análisis financiero de la “ruta-empresa” sin buses eléctricos
(En dólares)

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Infra-estructura	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Adquisición bus ^a	-	2 701 130,9	2 476 955,3	2 252 779,7	2 028 604,1	1 804 428,5	-	-	-	-	-
Operación	-	5 902 350,4	5 902 350,4	5 902 350,4	5 902 350,4	5 902 350,4	5 902 350,4	5 902 350,4	5 902 350,4	5 902 350,4	5 902 350,4
Administración	-	229 500	229 500	229 500	229 500	229 500	229 500	229 500	229 500	229 500	229 500
Ingresos	-	8 504 407	8 504 407	8 504 407	8 504 407	8 504 407	8 504 407	8 504 407	8 504 407	8 504 407	8 504 407
VAN		4 654 669,70									

Fuente: Elaboración propia.

^aAdquisición bus considera pagos equivalentes mensuales acumulados e intereses mensuales acumulados a una tasa de 13,32%.

Cuadro 23
Análisis financiero de la “ruta-empresa” con la implementación de buses eléctricos
(En dólares)

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Infra-estructura	4 500 000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Adquisición bus ¹	-	17 189 015	15 762 443	14 335 871	12 909 299	11 482 727	-	-	-	-	-
Operación	-	4 778 291,7	4 778 291,7	4 778 291,7	4 778 291,7	4 778 291,7	4 778 291,7	4 778 291,7	4 778 291,7	4 778 291,7	4 778 291,7
Administración	-	229 500	229 500	229 500	229 500	229 500	229 500	229 500	229 500	229 500	229 500
Ingresos	-	8 504 407,1	8 504 407,1	8 504 407,1	8 504 407,1	8 504 407,1	8 504 407,1	8 504 407,1	8 504 407,1	8 504 407,1	8 504 407,1
VAN			-37 034 829,44								

Fuente: Elaboración propia.

¹Adquisición bus considera pagos equivalentes mensuales acumulados e intereses mensuales acumulados a una tasa de 13,32%.

Se propone, de esa manera, un esquema financiero para ayudar a estas empresas a implementar buses eléctricos en su flota. Aunque no se requiere que cada “ruta-empresa” se formalice bajo un modelo de participación público-privado o un organismo público descentralizado sí se necesita lograr una mayor participación del sector público respecto a la situación actual. El modelo propuesto se muestra en el diagrama abajo.

Cuadro 24
Modelo de negocios propuesto para las "ruta-empresa" de México

Actividades del servicio	Modelo con empresa agregada
Terreno para depósito	Autoridad responsable
Infraestructura para depósito	
Provisión vehículo	Empresa agregadora de bienes y servicios
Mantenimiento	
Conductores	
Combustible o energía	Ruta-empresa
Administración	
Planificación	Autoridad responsable
Recaudación	Administrador financiero

Fuente: Elaboración propia.

La participación del sector público se puede observar en:

- Terreno para depósito: Actualmente cada empresa se encarga de sus propios terrenos. Pero al integrar buses eléctricos en su flota, se necesitaría más espacio con el que solo cuentan los gobiernos locales.
- Planificación: Actualmente, solo en algunos casos son los gobiernos locales quienes proveen la planificación de rutas, frecuencias y todo lo necesario para la operación. En muchos casos siguen siendo las empresas quienes regulan su propia operación, sea porque se decidió así desde un comienzo o porque la relación con el sector público no dio buen resultado. Bajo este modelo, es necesario que las autoridades vuelvan a tomar la planificación de los servicios, para optimizar el número de unidades.

Además del gobierno, en este modelo aparecen otras dos nuevas entidades participantes. La primera es una “Empresa agregadora de bienes y servicios”, cuyo nombre proviene de su rol en el modelo. Esta puede ser una empresa manufacturera de buses, una compañía de servicios eléctricos u cualquier otra. Independiente de la naturaleza de la empresa, su objetivo será siempre la provisión de la infraestructura de carga, que luego puede ser arrendada a los operadores de buses; la provisión de los buses eléctricos, entregados también en forma de arriendo; y llevar a cabo el proceso de mantenimiento de los buses.

El mantenimiento de los buses es una de las grandes preocupaciones de las autoridades en México, ya que actualmente se les da mínimo cuidado a las unidades operantes. Bajo este modelo, el mantenimiento deja de ser responsabilidad de los operadores, que no cuentan con los incentivos necesarios para proveerlo periódicamente. Por el contrario, es la “Empresa agregadora de bienes y servicios” la que cuenta con los incentivos, por parte del estado, de proveer los buses en correcto estado para su posterior operación.

La segunda agencia es el llamado “Administrador financiero”. Para que los ingresos del sistema puedan ser repartidos entre las distintas entidades participantes, el trabajo de recaudación debe estar en manos de una entidad independiente. De esta forma, se asegura mayor transparencia y se centralizan los ingresos para su posterior repartición. Y, aunque la recaudación no depende directamente del gobierno local, no se puede lograr sin la regulación del estado.

Se reconoce que la recaudación es uno de los obstáculos más importantes de este modelo, ya que actualmente no se cuenta con los medios de pagos necesarios para esto. Pero sí existe la evidencia de otras ciudades donde la operación está en manos de empresas privadas y la recaudación está externalizada. Es decir, que el hecho de que la operación no sea estatal no es una condición para que no se pueda establecer un medio de pago que facilite el trabajo de recaudación. Un buen ejemplo es Monterrey, donde sistemas de transporte estructurados y no estructurados comparten una tarjeta de prepago como medio de pago⁷⁹. A continuación, se muestra el análisis financiero del modelo financiero propuesto y sus respectivos análisis de sensibilidad.

Cuadro 25
Análisis de sensibilidad para el análisis financiero de la “ruta-empresa”

Caso	Variación	VAN (en dólares)
Base	Sin la implementación de buses eléctricos	4 654 669,70
2	Implementación de buses eléctricos: Varía el precio del bus, los costos de mantenimiento y combustible y la inversión inicial en infraestructura de carga	-37 034 829,44
3	Pago del bus a 10 años (tasa de interés de un 13.32%)	-37 565 207,85
4	Pago del bus a 10 años y reducción de tasa de interés a un 7%	-26 600 661,90
5	Pago del bus a 15 años (tasa de interés de un 13.32%)	-33 037 257,91
6	Pago del bus a 15 años y reducción de tasa de interés a un 7%	-19 683 602,65
7	Pago del bus a 10 años (tasa de interés de un 13.32%) y no pago de la inversión de infraestructura de carga	-33 065 207,85
8	Pago del bus a 10 años, reducción de tasa de interés a un 7% y no pago de la inversión de infraestructura de carga	-22 100 661,9
9	Pago del bus a 15 años, reducción de tasa de interés a un 7% y no pago de la inversión de infraestructura de carga	-15 183 602,65

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en el cuadro anterior, la implementación de los buses eléctricos tampoco es viable para estas empresas sin ningún tipo de subvención o actualización al sistema actual. De este modo, el análisis de sensibilidad refleja la implementación de distintas políticas para fomentar la integración de buses eléctricos en las llamadas “ruta-empresa”. Estas, por ser sistemas más bien semi-estructurados, presentan ventajas respecto del caso anterior de los “hombre-camión”.

El alargue del período entregado de las concesiones es uno de los primeros cambios que se requieren, con la consecuente extensión del período de pago de los buses. Esto, acompañado de una reducción en la tasa de interés, que sería producto de la reducción del riesgo frente a las instituciones financieras, lograría reducir las pérdidas para las empresas casi en un tercio (de 37.034.829,44 USD a 26.600.661,90). Cabe destacar que la tasa de interés tiene uno de los mayores efectos sobre los costos, subiendo los costos de la adquisición de buses eléctricos que ya son costosos, a niveles inalcanzables para empresas sin tanto respaldo financiero.

⁷⁹ C4o Cities Finance Facility. (2019). Presentación del proyecto de 3 rutas de alimentación de la línea 3 de Monterrey. Monterrey: C4o Cities Finance Facility.

Por último, la inversión necesaria para la infraestructura de carga también es un costo relevante y debería analizarse la posibilidad de que no deba ser pagada por las mismas empresas. Una alternativa es que sean construidas sea por empresas estatales o privadas, entregando luego las instalaciones en arriendo a las empresas transportistas. De esta manera, se pueden reducir pérdidas y aumentar incentivos para la compra de los buses.

Restricciones de los modelos

Debido a la falta de información centralizada, especialmente en el caso de los modelos semi estructurados y no estructurados, los análisis presentados cuentan con algunas restricciones. Estas deben ser consideradas antes de la implementación de los modelos propuestos. En primer lugar, no se consideró un cambio en la tarifa comercial. Tal como ya se mencionó en capítulos anteriores, existe un desfase entre la tarifa comercial y la tarifa técnica que ha provocado pérdidas para los sistemas. Al momento de integrar buses eléctricos, este desfase debería desaparecer, aumentando así la tarifa comercial para los usuarios. Este hecho no fue representado en los modelos, debido a la dificultad para estimar una tarifa óptima. Sin embargo, sí se detalla esta problemática en las recomendaciones al principio de este capítulo.

En segundo lugar, los precios relacionados a la nueva tecnología de buses eléctricos no son exactos para el caso mexicano, ya que provienen de estimaciones en base a otros casos reales. Por ejemplo, el costo de adquisición de los buses depende de la empresa manufacturera en cada país, de si ésta es nacional o internacional y de sus impuestos a la producción y/o importación. Igualmente, en el caso de la infraestructura de carga, los costos dependen de la infraestructura ya existente, del acceso a la electricidad según la zona del país y de los precios que entreguen las empresas constructoras o de energía.

En tercer lugar, los datos obtenidos para el caso de los “hombre-camión” y las “ruta-empresa” no están actualizados. Si bien algunos valores no han variado, hay otros como el precio del combustible que pueden haber variado respecto al período 2013-2014, que es de cuando provienen los datos. Igualmente puede haber aumentado la demanda, cambiado el porcentaje de pasajeros que pagan tarifa preferencial o variado los costos de administración de los operadores. De todos modos, dado que se utilizaron los mismos supuestos para todos los casos y que los datos son reales, se espera que los análisis financieros representen una buena estimación de los modelos.

D. Futuro de la electromovilidad en México: barreras y oportunidades

Uno de los obstáculos respecto a la implementación de la electromovilidad en México es la predominancia de los “hombre-camión”. Esto debido a su estado de informalidad dentro del sistema y el consiguiente bajo nivel de regulación estatal. Por un lado, el bajo respaldo financiero y la falta de subsidios hacen imposible que estos microempresarios puedan adquirir los costosos buses eléctricos. Por otro lado, la inexistencia de contratos impiden responsabilizarlo de actividades como el mantenimiento, gran preocupación por parte de las agencias reguladoras⁸⁰.

En el caso de las concesiones o “ruta-empresa”, aparecen algunas diferencias respecto al modelo anterior. Lo primero es que estas ya cuentan con un nivel de organización mayor y mejor respaldo financiero para nuevas inversiones. Sin embargo, aún existe el problema de que las concesiones son muy cortas, por ejemplo 10 años en Ciudad de México, lo que hace muy corto el período para la adquisición de buses eléctricos. Además, a través de las entrevistas se notó un gran desconocimiento respecto a los buses eléctricos entre los mismos empresarios. No hay claridad frente a factores técnicos, económicos ni operativos, generándose miedos frente a esta nueva tecnología, que muchas veces están infundados.

Adicionalmente, tanto para los “hombre-camión” como las “ruta-empresa”, no existen las políticas públicas necesarias para incentivar la actualización de la flota. Y el mismo marco legislativo

⁸⁰ Díaz, R. (2019, Agosto 30). Comunicación verbal (J. Briones, Entrevistador).

dispone que los concesionarios deben ser dueños de sus buses⁸¹, impidiendo la implementación de esquemas financieros donde la propiedad de los buses está separada de la operación de estos.

Con la integración de buses eléctricos surgen dificultades con las que anteriormente no se han lidiado, como la mantención de los buses y su funcionamiento, los altos costos de los buses debido principalmente a sus baterías y la construcción de estaciones de carga. Estas últimas requieren de sitios que hasta ahora no se han usado, grandes inversiones en tecnología e incluso un nuevo tipo planificación de rutas que integre la necesidad de carga periódica (Cabeza, 2019). Y en el caso del transporte semi estructurado y no estructurado, los modelos de negocios son aún muy rígidos y no están preparados para la integración de los nuevos requerimientos.

Es por esto que una de las oportunidades de México es la implementación paulatina, comenzando por contextos donde se encuentren las condiciones propicias para esto. Por ejemplo, a través de planes pilotos en corredores determinados, en ciertas zonas específicas de las ciudades o dentro de determinados sistemas de transporte estructurados. Cabe destacar que esta opinión también se rescató de las entrevistas y se repite en casos exitosos en la literatura⁸².

Cuadro 26
Barreras que se enfrentan en el proceso de implementación de buses eléctricos

	Barreras tecnológicas	Barreras financieras	Barreras institucionales
Vehículos y baterías	Falta de información Mercado de buses es limitado	Alta inversión Falta de dinero Falta de opciones de financiamiento	Falta de planificación No hay estrategia de cambio de flota
Agencias y operadores	Falta de información y desconocimiento Responsabilidades en el mantenimiento	Inexistencia de subsidios Modelos de negocios rígidos No hay integración tarifaria	Inexistencia de políticas públicas Débil coordinación gubernamental Existencia de tráfico informal
Infraestructura de carga	Falta de información y desconocimiento Escasez de sitios disponible	Alta inversión Desconocimiento de responsabilidades	Falta de planificación a largo plazo

Fuente: Sclar, Gorguinpour, Castellanos, & Li, 2019.

Analizando los modelos de negocios presentados, se reconoce una gran oportunidad de desarrollo en los correspondientes a participación público-privada y organismos públicos descentralizados. El nivel de madurez de esquemas como los de Metrobús o Sistemas de Transportes Eléctricos (STE) en Ciudad de México, es más alto y muy necesario para la implementación de buses eléctricos⁸³. Principalmente porque se necesita el soporte institucional para la adquisición de las unidades. Sin embargo, aún hay barreras que sobrepasar.

La principal dificultad con la que se encuentran estos modelos es la escasa información disponible sobre cómo llevar a cabo este proceso de transformación. Hay desconocimiento tanto respecto a aspectos técnicos, como el funcionamiento de las baterías, como a aspectos administrativos, como la repartición de las responsabilidades al momento de la construcción de las estaciones de carga. Según los mismos entrevistados, aún no se sienten totalmente informados para poder implementar vehículos eléctricos de forma masiva⁸⁴.

⁸¹ Escalante, D. (29 de Agosto de 2019). Comunicación verbal (J. Briones, Entrevistador)

⁸² Sclar, R., Gorguinpour, C., Castellanos, S., & Li, X. (2019). *Barriers to adopting electric buses*. Instituto de Recursos Mundiales (WRI).

⁸³ Suárez, J. (2019, Agosto 28). Comunicación verbal (J. Briones, Entrevistador)

⁸⁴ Capuano, R. (2019, Agosto 27). Comunicación verbal (J. Briones, Entrevistador).

El financiamiento de los buses también es un gran problema para agencias públicas, ya que estas tampoco cuentan con el dinero necesario. Nuevamente, los modelos de negocios actuales son rígidos y no son aplicables a la implementación de buses eléctricos. Esto se debe a que, en el análisis costo-beneficio, no se consideran los beneficios sociales de los buses eléctricos como roles de nuevos actores en el sistema. De esta manera, se le da más peso a la alta inversión inicial, pero no considera que la operación a largo plazo es más barata.

Además, el mercado de los buses eléctricos aún está muy limitado y no hay muchas alternativas de unidades a precios competitivos⁸⁵. Y los modelos de negocios tampoco permiten la externalización de la propiedad de los buses. Cabe destacar que, según la literatura, se espera que el precio de las baterías vaya decreciendo con el tiempo, pero tampoco se cuenta con información histórica al respecto, debido a lo nuevo de la tecnología.

Modelos de negocios para la incorporación de autobuses eléctricos: la experiencia en Santiago de Chile

El desarrollo de un modelo de negocios para la implantación y ampliación de la electromovilidad pública es esencial para superar las barreras financieras y tecnológicas iniciales inherentes a cada situación o ciudad. Santiago tiene el liderazgo regional en esa transición; su sistema de transporte público, el Transantiago, cuenta con 386 unidades eléctricas (aproximadamente 6% de su flota) y está a la vanguardia en América Latina en términos de electromovilidad pública. La empresa Metbus, una de las operadoras del sistema, fue precursora en la incorporación de buses eléctricos en su flota. Teniendo en cuenta los 183 buses eléctricos que deberían entrar en operación entre 2019 y 2020, su flota contaría con 285 autobuses eléctricos en un total de 1089.

Informaciones de las empresas involucradas, del Informe de Gestión 2018 del Directorio de Transporte Público Metropolitano (DTPM) y consultas al Registro Nacional de Servicios de Transporte Público de Pasajeros, que administra la Subsecretaría de Transportes, dan cuenta que el modelo de negocio para la incorporación de buses eléctricos en la flota de Metbus fue novedoso, pues contó con la participación directa y activa de la empresa de energía ENEL que tiene el monopolio de distribución de energía eléctrica en la ciudad. ENEL, compró directamente los buses eléctricos a la empresa China BYD y los entregó a Metbus para su operación mediante un contrato de leasing operacional⁸⁶. El contrato de leasing de los 102 buses fabricados por BYD tiene una duración de diez años, al cabo de los cuales pasarán a ser propiedad de Metbus. Además del pago de una cuota mensual por los buses, Metbus paga a ENEL una cuota mensual por el suministro de energía, a un precio equivalente a 40% del que cobra a los domicilios particulares. Metbus también contrató con ENEL la construcción de infraestructura de carga que fue financiada con recursos propios. Las baterías tienen una garantía de diez años.

Se estima un valor de la cuota mensual de leasing en aproximadamente 3,5 millones de pesos chilenos por autobús eléctrico, mientras que un autobús diésel convencional de 12 metros tiene una cuota mensual de leasing de 2,2 millones pesos. Pese a que la cuota del autobús eléctrico es 60% mayor, sus costos de operación (energía) y mantenimiento (chasis, motor y carrocería) son 70% más bajos⁸⁷. Estas cifras otorgan un resultado neto positivo a favor de los eléctricos con un ahorro mensual de 1.088.152 pesos chilenos.

⁸⁵ Suárez, J. - 2019 - Comunicación verbal (J. Briones, Entrevistador) (28 de agosto de 2019).

⁸⁶ Los buses miden 12 metros, tienen capacidad para transportar hasta 81 pasajeros y su autonomía alcanza los 250 kilómetros.

⁸⁷ DTPM - 2018 - Informe de Gestión 2018. Directorio de Transporte Público Metropolitano - Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Santiago, Chile.

Cuadro 27
Costo mensual de leasing, operación y mantenimiento de un autobús diésel o eléctrico
(En pesos chilenos)

	Diesel	Eléctrico	Diferencia
Costo cuota <i>leasing</i>	2 212 943	3 520 591	1 307 648
Costo de operación	1 980 000	508 200	-1 471 800
Costo de mantenimiento	1 320 000	396 000	-924 000

Fuente: CEPAL con base en DTPM (2018).

Para la operación de los primeros 100 autobuses eléctricos se construyó infraestructura de carga en dos terminales. Esto incluyó la construcción de trazados en alta, media y baja tensión, un centro de transformación en cada lugar, tres generadores de respaldo y la instalación de los 100 cargadores. La infraestructura es de carga lenta y las baterías se cargan durante las noches en períodos de tres a cuatro horas. Esta inversión alcanzó los 3 millones de dólares.

De acuerdo con los datos de Metbus, un ejercicio de estimación de la incorporación de una flota de 100 buses eléctricos muestra que, si bien el costo de la infraestructura de carga y de leasing de los autobuses eléctricos es mayores que el de los autobuses diésel, en un período de 10 años el costo total de los buses eléctricos es menor debido a los menores costos de operación y mantenimiento. El valor presente del costo total considerado por la empresa, que incluye los costos de infraestructura de carga, de leasing, operación y mantenimiento, es 40,695 millones de pesos chilenos para los autobuses diésel, frente a 32,626 millones de pesos chilenos para los autobuses eléctricos, es decir, casi un 20% menos. Además, la Metbus ha observado que sus ingresos por autobús eléctrico son 20% mayores que los registrados en autobuses diésel debido a la menor evasión de pago. Según la empresa, la explicación de este fenómeno radica en que la experiencia a bordo de un autobús eléctrico es distinta y los usuarios agradecen el viajar en condiciones de mejor calidad.

La regulación de la tarifa comercial y la integración tarifaria representan otra gran barrera para la integración de nuevas tecnologías más costosas. Por un lado, el desfase entre la tarifa comercial y la tarifa técnica ya está generando déficit, por lo que probablemente los costos para los usuarios van a aumentar. Pero si, por otro lado, no se integra la tarifa en el transporte público, los costos serán aún mayores tanto para los usuarios como para el sistema.

Por último, si bien hay estrategias a largo plazo, como lo es la Estrategia de Movilidad Eléctrica Visión 2030⁸⁸, no hay proyectos concretos sobre el camino a seguir. Aún no se tiene claro cómo debe coordinarse a todos los actores relevantes frente a este tema ni las responsabilidades que le pertenecen a cada uno. De todos modos, tal como se mencionó en la sección anterior, algunos esfuerzos ya están puestos en marcha.

Principales desafíos al avance de la electromovilidad

Considerando la actual realidad del transporte público en México, resulta difícil implementar una flota consistente de buses eléctricos. Las razones son varias, pero la falta de financiamiento y la informalidad del transporte público fueron las dificultades más mencionadas (véase en el cuadro 27). En primer lugar, la mayor barrera que presenta México es la preponderancia de los sistemas no estructurados y semi estructurados en México, como los “hombre-camión” y las “ruta-empresa”, en el transporte público. En segundo lugar, la falta de recursos financieros, tanto en el sector público como en el sector privado, es una de las grandes barreras para la implementación de la electromovilidad. En tercer lugar, la falta de políticas públicas en dirección a la implementación de buses eléctricos fue

⁸⁸ SEMARNAT - Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica - Visión 2030. Gobierno de la República, México.

también muy mencionada. Un ejemplo es el alto impuesto a la importación que tiene el país (15% más 16% de IVA), lo que hace imposible que empresas extranjeras tengan precios competitivos⁸⁹.

Cuadro 28
Principales problemáticas a la implementación de buses eléctricos, según los entrevistados

Área	Principales problemáticas
Informalidad de los sistemas	Ausencia de contratos
	Concesionarios deben ser dueños de sus buses
	Concesiones son a corto plazo
	No hay regulación ni integración de tarifa
	Altos impuestos a la importación
Financiamiento	No hay dinero para la adquisición de buses
	Inversión para estructura de carga es muy alta
	Falta de buses a precios competitivos
Marco político	No hay subsidios para operadores ni para usuarios
	Dudas por parte de empresas privadas y usuarios
	Falta de políticas públicas

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 29
Precios de unidades de transporte público, según entrevistados

Unidad	Precio (en dólares)	Manufactura
Bus "hombre-camión"	45 000 – 90 000	Sin estándares de calidad
Buses Concesiones	120 000 – 200 000	Con estándares de calidad
Bus Euro V o Euro V mejorado	180 000	
Bus Euro VI		
Bus a gas natural	120 000	
Trolebús	385 000	Yutong
Bus eléctrico	350 000 – 500 000	Empresas nacionales e internacionales

Fuente: Elaboración propia.

También se sabe que la adquisición de buses eléctricos y la consiguiente construcción de las estaciones de carga son inversiones muy altas. Además, actualmente no se cuenta con buses a precios competitivos y, si bien se espera que los precios bajen, no se puede saber a priori. En el cuadro 28 se muestran los precios corrientes de adquisición de buses que se obtuvieron de la serie de entrevistas. Llamó la atención que, habiendo en México empresas manufactureras nacionales e internacionales, no se espere un desarrollo de la industria. Al parecer, empresas nacionales como Dina necesitan volúmenes mayores para poder comenzar la producción de buses eléctricos. No se cuenta con información oficial de la postura de otras empresas manufactureras.

Además, se espera que, sin una política de subsidios a los operadores, el mantenimiento de los buses eléctricos sería descuidado. Esto en base a la experiencia actual, que ha demostrado que el mantenimiento preventivo que se les da a las unidades es nulo y el mantenimiento básico es escaso. Y,

⁸⁹ Zou, R. (2019, Agosto 27). Comunicación verbal (J. Briones, Entrevistador).

de la misma manera, sin una política de subsidios a los usuarios, la tarifa comercial subiría considerablemente, lo cual se ha intentado evitar.

En términos de modelos de negocios, el avance de la electromovilidad en México debería comenzar por empresas con respaldo económico y capacidad de pago. Los “hombre-camión” son nichos muy riesgosos para cualquier institución prestamista y las “ruta-empresa” tampoco cuentan con el nivel de madurez necesario. Por esta razón, se espera que empresas públicas como STE o Metrobús, o bien empresas privadas de mayor tamaño como las hay en algunos estados, sean las pioneras en la adquisición y operación de buses eléctricos en México. Además, en vista de que estos sistemas informales están presentes en gran parte del país, se sabe que la implementación no puede ser masiva, sino que debe comenzar por algunos corredores o rutas como piloto, pasando luego a zonas grandes y, quizás en un futuro, a una ciudad completa, utilizando modelos de negocios más innovadores para la superación de los costos iniciales en un ambiente con fuerte presencia de políticas industriales y de inversiones público-privadas.

Una estrategia de transición hacia una electromovilidad pública en México es, por lo tanto, viable, puede ser acelerada y debe considerar la adopción de políticas industriales articuladas sobre la base de las cadenas productivas actuales, una revisión de las reglamentaciones del sector de movilidad y la adopción de un modelo de negocios que permita su avance progresivo, una vez que los impactos económicos, ambientales y sociales potenciales son ampliamente favorables a la construcción de esas políticas, como demostrado en ese estudio.

Biibliografía

- AMIA; AMDA; ANPACT; INA 2018. Diálogo con la industria automotriz 2018-2024. Recuperado de: <http://www.anpact.com.mx/docs/IAM2018-2024.pdf>.
- Alva, M., & Sánchez, E. 2018. La utilidad de la intervención organizacional en el análisis de políticas públicas: estudio de caso del Servicio Integral de Transporte de León, Gto. *Gestión y Estrategia*.
- Armas, A. (2019). *My Press Noticias y Negocios*. Obtenido de My Press México: <https://www.mypress.mx/negocios/la-propuesta-de-movilidad-en-cdmx-una-mejora-en-periferias-5514> (05 de Mayo de 2019).
- CANIETI/Secretaría de Economía de México - 2017 - Estudio de diagnóstico e identificación de oportunidades de desarrollo de la industria electrónica en Baja California. Secretaría de Economía de México.
- C4o Cities Finance Facility (2019^a). Guadalajara Hermosillo y Monterrey electrificarán principales rutas de autobuses para reducir precios y mejorar la calidad del aire. Recuperado de https://c4oproductionimages.s3.amazonaws.com/other_uploads/images/2266_Mexican_Cities_Lead_on_E-Mobility_July_2019-SPA.original.pdf?1562074123.
- _____. (2019b). *C4o Cities Finance Facility*. Obtenido de: https://c4o-production-images.s3.amazonaws.com/other_uploads/images/2266_Mexican_Cities_Lead_on_E-mobility_July_2019-SPA.original.pdf?1562074123 (02 de Julio de 2019)
- _____. (2019c). *C4o Cities Finance Facility*. Obtenido de: https://c4o-production-images.s3.amazonaws.com/other_uploads/images/2266_Mexican_Cities_Lead_on_E-Mobility_July_2019-SPA.original.pdf?1562074123 (02 de Julio de 2019).
- _____. (2018). Estrategia de electromovilidad de la Ciudad de México 2018-2030. Recuperado de <https://cff-prod.s3.amazonaws.com/storage/files/ml2mWzTOCnwfzjm5PP4NuPrEtE2HTM1SQgYmjDu.pdf>.
- _____. (2018). *Análisis de buses eléctricos para el corredor cero emisiones Eje 8 Sur*. Ciudad de México: C4o Cities Finance Facilities. (26 de agosto de 2019,).
- Cities Finance Facility (2019). *Presentación del proyecto de 3 rutas de alimentación de la línea 3 de Monterrey*. Monterrey: C4o Cities Finance Facility.
- CTS Embarq México (2014). *Análisis de costos e ingresos de operadores hombre-camión y de corredores*. Ciudad de México.
- Calderón, G. (2019). Comunicación verbal (J. Briones, Entrevistador).
- Capuano, R. (2019). Comunicación verbal (J. Briones, Entrevistador) (27 de agosto de 2019).

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) 2018. Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de México, 2018. Ciudad de México.
- Comisión Federal de Electricidad (2018). *Reporte de Instalación de Electrolíneas con el PEII al 22 de junio de 2018*. Ciudad de México: Comisión Federal de Electricidad.
- Cruzado, J. (2018). Revisión del Programa para mejorar la calidad del aire (PROAIRE) Jalisco 2014-2020 y Recomendaciones para lograr impactos en la calidad del aire de la Zona Metropolitana de Guadalajara. Recuperado de https://semadet.jalisco.gob.mx/sites/semadet.jalisco.gob.mx/files/revision_y_recomendaciones_del_programa_para_mejorar_la_calidad_del_aire_2014-2020.pdf.
- Díaz, R., Lugo, R., Páez, F., Mojica, C., & Corbacho, I. (2015). *Oportunidades de financiamiento a operadores privados de transporte en Latinoamérica*. Ciudad de México: Banco Interamericano de Desarrollo.
- DINA (s.f.). Autobuses. Recuperado de <http://www.dina.com.mx/autobuses.html#especiales>.
- DTPM (2018). Informe de Gestión 2018. Directorio de Transporte Público Metropolitano. Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Santiago, Chile.
- Edwards, G., Viscidi, L., Mojica, C. (2018). Cargando el futuro: El crecimiento de los mercados de autos y autobuses eléctricos en las ciudades de América Latina. Recuperado de <https://www.thedialogue.org/wp-content/uploads/2018/09/CARGANDO-EL-FUTURO-4.pdf>.
- El Informador (2019). Nuevo proyecto duplica costo de Peribús. Recuperado de <https://www.informador.mx/jalisco/Nuevo-proyecto-duplica-costo-de-Peribus-20190311-0030.html>.
- Escalante, D. (2019). Comunicación verbal (J. Briones, Entrevistador) (29 de Agosto de 2019).
- Flores-Dewey, O., & Zegras, C. (2012). The costs of inclusion: Incorporating existing bus operators into Mexico City's emerging bus rapid transit system. *12th Conference on Advanced Systems for Public Transport*.
- Fondo Nacional de Infraestructura (2018). Programa de Apoyo Federal al Transporte Urbano Masivo. Recuperado de https://www.fonadin.gob.mx/productos-fonadin/programas-sectoriales/programa-federal-de-apoyo-al-transporte-urbano-masivo/?fbclid=IwAR2wSV4Hoq__JZcEB3WdFvoEcuS4DFi45MBsLqRIG2HoPzFQjZHpyhwjmQc.
- _____(2008) Lineamientos del programa de apoyo federal al transporte masivo. Recuperado de http://www.fonadin.gob.mx/wp-content/uploads/2016/08/Lineamientos_Programa_Transporte.pdf.
- Gobierno de México/Secretaría de Comunicaciones y Transportes – 2019 – Programa de Trabajo 2019. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/477031/Programa_de_Trabajo.pdf. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- Gobierno del Estado de Jalisco (2016). Plan estatal de desarrollo Jalisco 2013-2033. Gobierno del Estado de Jalisco.
- Gobierno del Estado de México, Gobierno del Distrito Federal, SEMARNAT, y Secretaría de Salud. (2010) Programa para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México. Recuperado de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/proaire2011-2020/proaire2011-2020.pdf>.
- INECC (2018). Electromovilidad: un camino a seguir para mejorar la calidad del aire. Oportunidades y retos. Recuperado de <http://iki-alliance.mx/wp-content/uploads/Electromovilidad-26.11.18.pdf>. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México.
- INECC (2017). "Estudios de cadenas de valor de tecnologías climáticas seleccionadas para apoyar la toma de decisiones en materia de mitigación en el sector autotransporte y contribuir al fortalecimiento de la innovación y desarrollo de tecnologías". Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México.
- INEGI (2019). Balanza Comercial de Mercancías de México. <https://www.inegi.org.mx/programas/comext/default.html>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2017). *Encuesta Origen Destino en Hogares de la Zona Metropolitana del Valle de México 2017*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/programas/eod/2017/>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía - (s.f.). *INEGI*. Obtenido de INEGI: <https://www.inegi.org.mx/>
- Jiménez, R. (2018). Obtenido de El Universal: <https://www.eluniversal.com.mx/metropoli/edomex/construccion-del-mexicable-de-naucalpan-inicia-en-2019> (27 de agosto de 2018).
- Lámbarry, F., Rivas, L., & Trujillo, M. (2010). Institutional Aspects on Bus Rapid Transit Systems Implementation in Mexico City, Estado de Mexico and León Guanajuato. *Journal of Management and Strategy*.

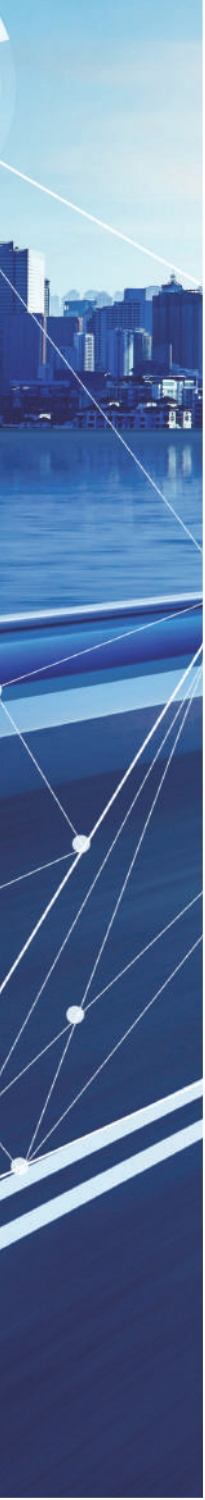
- Lastiri, X. (2016). Volvo luce autobús híbrido eléctrico y reafirma su interés en CDMX. Recuperado de <http://t21.com.mx/terrestre/2016/12/05/volvo-luce-autobus-hibrido-electrico-reafirma-su-interes-cdmx>.
- Medina, S. (2013). "El rescate del trolebús". Recuperado de <https://redaccion.nexos.com.mx/?p=5906>
- Morales, E. (2014). La estructura organizacional de poder del Sistema de Transporte de Pasajeros Microbús. CTS Embarq México. Ciudad de México: Minuta. No publicada.
- Naciones Unidas. (2019). *UN Data*. Obtenido de UN Data: <http://data.un.org/Data.aspx?q=population+by+city&d=POP&f=tableCode%3a240>
- Navarro, U., & Viñas, K. (2015). Transporte Público Masivo en la Zona Metropolitana del Valle de México Proyecciones de demanda y soluciones al 2024. Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (ITDP).
- Organización Mundial de la Salud (2018). Ambient (outdoor) air pollution. Recuperado de [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health). OMS.
- Peón, G., & Medina, S. (2017). *Movilidad inteligente para la Ciudad de México*. Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (ITDP).
- Robles, R., & Méndez, G. (2018). *Anatomía de la movilidad en México, hacia dónde vamos*. Secretaría de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano. Sedatu - México.
- Sclar, R., Gorguinpour, C., Castellanos, S., & Li, X. (2019). *Barriers to adopting electric buses*. Instituto de Recursos Mundiales (WRI), Washington.
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, Consejo Nacional de Población, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2018). Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2015. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/460253/3_Anexo_cartogr_fico_segunda_parte.pdf
- Secretaría de Energía (2019). PRODESEN 2019-2033. Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional. México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (2014). ProAire Jalisco. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/418381/13_ProAire_Jalisco.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2016). Programa de gestión para mejorar la calidad del aire del estado de Nuevo León. ProAire 2016-2025. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/250974/ProAire_Nuevo_Leon.pdf
- Secretaría de Movilidad (2019^a). Plan estratégico de movilidad de la Ciudad de México 2019. Recuperado de <https://semovi.cdmx.gob.mx/storage/app/media/uploaded-files/plan-estrategico-de-movilidad-2019.pdf>. Gobierno de la Ciudad de México.
- _____. (2019b). Plan de reducción de emisiones del sector movilidad. Recuperado de <https://www.jefaturadegobierno.cdmx.gob.mx/storage/app/media/plan-reduccion-de-emisiones.pdf>. Gobierno de la Ciudad de México.
- _____. (2019c). Mapa de Movilidad Integrada de la Ciudad de México. Recuperado de <https://metro.cdmx.gob.mx/mapa-micdmx>. Gobierno de la Ciudad de México.
- SERMANAT (2020). <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/programas-de-gestion-para-mejorar-la-calidad-del-aire> (publicado en 9 de enero de 2020). Gobierno de la República, México.
- _____. (2018). Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica - Visión 2030. Gobierno de la República, México.
- _____. (2016). Programa de gestión para mejorar la calidad del aire del Estado de Nuevo León; ProAire 2016-2025. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/250974/ProAire_Nuevo_Leon.pdf. Gobierno de la República, México.
- Sistema de Tren Urbano Eléctrico (2019). Costo del servicio. Recuperado de <http://www.sitour.gob.mx/forma-de-pago/tren-ligero-y-sitren.html> (Fecha de obtención al 10 de julio, 2019).
- Sistema de Tren Urbano Eléctrico (2016). Recuperado de <http://www.sitour.gob.mx/noticias/item/troleb%C3%BAs-se-suma-a-la-red-de-transporte-del-sitour.html>.
- Suárez, J. (2019). Comunicación verbal (J. Briones, Entrevistador) (28 de Agosto de 2019).
- The World Bank - 2018 - *The World Bank Development Indicators*. Obtenido de The World Bank: <http://datatopics.worldbank.org/world-development-indicators/themes/people.html>
- Zou, R. - 2019 - Comunicación verbal (J. Briones, Entrevistador) (27 de Agosto de 2019).

Anexo

Cuadro A1
Descripción general de las entrevistas realizadas

No	Nombre	Organización	Cargo	Día	Hora	Tipo de organización
1	Jone Orbea	GIZ - C40	Senior Project Advisor	26-08-2019	09:00	Agencia de cooperación
2	Guillermo Calderón	STE	Director General	26-08-2019	13:00	Empresa pública de transporte
3	Ray Zou	BYD	Country Manager	27-08-2019	11:00	Fabricante buses
4	Adán Ramírez	AMOPSA	Director	27-08-2019	15:00	Empresa privada de transporte
4	Salvador	AMOPSA	Director	27-08-2019	15:00	Empresa privada de transporte
5	Roberto Capuano	METROBUS	Director General	27-08-2019	17:00	Empresa pública de transporte
6	Francisco Cabeza	ENGIE	Electric Mobility Manager	27-08-2019	19:00	Empresa eléctrica
7	Jorge Suárez	ENGIE	Senior Manager e-mobility	28-08-2019	17:00	Empresa eléctrica
8	Adriana Lobo	WRI	Directora ejecutiva	29-08-2019	11:00	Think tank
8	David Escalante	WRI	Gerente De Planeación Y Operación Del Transporte	29-08-2019	11:00	Think tank
9	Francisco Quiñones	Banobras	Gerente proyectos ferroviarios y transporte	29-08-2019	15:00	Banco de desarrollo
10	Juan Martín Aguilar	Semarnat	Jefe de Departamento de Concertación	29-08-2019	17:00	Gobierno
11	Jaime Lozano	Volvo	Ejecutivo	30-08-2019	11:00	Fabricante buses
12	Rodrigo Díaz	Semovit	Subsecretario de Planeación, Políticas y Regulación	30-08-2019	15:00	Gobierno
13	Arturo Ruiz	NADB	Credit Officer	21-08-2019	9:000	Banco de desarrollo

Fuente: Elaboración propia.



En este texto se presentan propuestas para impulsar la electromovilidad pública en México. En el análisis se incluyen sugerencias enfocadas a una política industrial para la electromovilidad, se evalúa la política industrial automotriz actual de México y se identifican medios para promover el desarrollo de la industria nacional de vehículos de transporte público eléctricos, especialmente los autobuses eléctricos, a fin de posicionar el país como centro de fabricación de vehículos de transporte público eléctricos a nivel regional.

A partir de las experiencias de México a la hora de promover la transición hacia una movilidad urbana pública más sostenible, se evaluaron los impactos de las actividades ya realizadas en sus principales regiones metropolitanas, incluidos aquellos que dichas actividades han generado o pueden generar en la economía y, particularmente, en el empleo y el crecimiento del país.

Por último, se analizan la dimensión financiera de esta transición, los sistemas de cooperación público-privados y los incentivos apropiados para la promoción de nuevos modelos de negocios y su correcta operación y mantenimiento, con miras a superar una de las grandes barreras a la instalación de flotas de autobuses eléctricos comerciales: la alta inversión inicial que requiere este tipo de vehículos.