



GUÍA TÉCNICA PARA LA ESTRUCTURACIÓN DE PROYECTOS DE **TRANSPORTE ELÉCTRICO** EN MÉXICO



GUÍA TÉCNICA PARA LA ESTRUCTURACIÓN DE PROYECTOS DE TRANSPORTE ELÉCTRICO EN MÉXICO

Ciudad de México, México, 2024.

Distribución gratuita, prohibida su venta.

Se autoriza la reproducción fiel de los contenidos de la presente obra, exclusivamente con fines educativos, informativos y de consulta, pero no de lucro, citando siempre la fuente.

Cita sugerida:

Banobras-GGCI (2023). Guía Técnica para la estructuración de proyectos de transporte eléctrico en México: 2024. Ciudad de México.

AGRADECIMIENTOS:

Esta publicación se realizó gracias al financiamiento del Fondo Verde para el Clima (*GCF* por sus siglas en inglés) y la asistencia técnica del Instituto Global para el Crecimiento Verde (*GGGI* por sus siglas en inglés).



CRÉDITOS:

BANOBRAS

FERNANDO TEHUINTLE

DIRECTOR DE PROYECTOS DE TRANSPORTE

LORENA VIVAR

SUBGERENTE DE PROYECTOS DE TRANSPORTE

GGGI

JOSÉ LUIS AMAYA

COORDINADOR SUBNACIONAL

MARIANNA LARA OTAOLA

COORDINADORA DE FINANZAS SOSTENIBLES

ITZEL VARGAS RODRÍGUEZ

ASOCIADA DE COMUNICACIONES

GUSTAVO JIMÉNEZ

CONSULTOR

Fotografías de: Grupo Emobilitas, 2023

CONTENIDO

1. Propósito de la guía	9
1.1 Objetivo	9
1.2 ¿A quién va dirigida?	9
1.3 Consideraciones para su uso	9
2. Estructuración de proyectos de transporte público: diferencias entre tecnología convencional y eléctrica	9
3. Fases en la estructuración de proyectos de transporte eléctrico	17
3.1 Fase 1. Análisis técnico	17
3.1.1 Definición de rutas de transporte por electrificar	17
3.1.2 Selección de autobuses eléctricos	18
3.1.3 Selección de cargadores para autobuses eléctricos	22
3.1.4 Diseño operacional de los autobuses eléctricos	24
3.1.5 Diseño eléctrico en los patios de encierro	25
3.1.6 Consideraciones en centros de transferencia de movilidad eléctrica	26
3.1.7 Consideraciones en la Infraestructura de los CETRAM	26
3.1.7.1 Consideraciones en la infraestructura civil	26
3.1.7.2 Consideraciones para la infraestructura electromecánica	27
3.2 Fase 2. Análisis socioambiental	27
3.2.1 Análisis Ambiental	27
3.2.2 Análisis de Inclusión Social	28
3.2.3 Análisis de Género	29
Fase 3. Estructuración financiera	31
3.2.4 Financiamiento para proyectos de transporte eléctrico: estructura y componentes requeridos	31
3.2.5 Modelos de adquisición de autobuses eléctricos	31
Anexo. Elementos clave a considerar en la elaboración de proyectos de transporte eléctrico (Checklist)	35

ACRÓNIMOS Y ABREVIACIONES

BANOBRAS	Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos
E-Bus	Autobús eléctrico
CFE	Comisión Federal de Electricidad
FONADIN	Fondo Nacional de Infraestructura
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GGGI	<i>Global Green Growth Institute</i>
GNC	Gas Natural Comprimido
PMD	Periodo de Máxima Demanda
LATAM	Latinoamérica
LAC	Latinoamérica y el Caribe
LP	Licuado de Petróleo
MIVSA	Movilidad Integral De Vanguardia S.A.P.I.
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PEA	Población Económicamente Activa
PM	Partículas por Millón
WRI	<i>World Resources Institute</i>
C40	<i>C40 Climate Leadership Group, Inc.</i>
CTP	Costo Total de la Propiedad
LFP	Fosfato de Hierro y Litio (<i>Lithium phosphate and iron</i>)

TERMINOLOGÍA¹

Autonomía	Distancia que puede recorrer un E-bus con una carga de batería completa.
Batería	Dispositivo físico electrónico que resguarda la carga de energía eléctrica (contenedor). Este componente existe en varias capacidades y tamaños.
Centro de carga	Infraestructura de suministro o comercialización de energía eléctrica para la recarga de las baterías de vehículos eléctricos o vehículos híbrido-enchufables.
Conector	El terminal al que se conecta el vehículo eléctrico para recibir energía eléctrica. Existen varios tipos de terminal con diferentes niveles de carga y la mayoría no son compatibles entre sí.
GEI	Son los gases atmosféricos responsables de provocar el calentamiento global y el cambio climático. Los principales gases de efecto invernadero son el Dióxido de Carbono (CO ₂), el Metano (CH ₄) y el Óxido Nitroso (N ₂ O). Los gases de efecto invernadero menos frecuentes, pero también muy potentes, son los Hidrofluorocarbonos (HFC), los Perfluorocarbonos (PFC) y el Hexafluoruro de Azufre (SF ₆).
Interoperabilidad	En el contexto de la recarga de vehículos eléctricos, busca garantizar la comunicación fiable y la funcionalidad de cualquier vehículo eléctrico enchufable con la infraestructura de recarga con el fin de potenciar una integración con redes eléctricas inteligentes (Smart grids). (Joint Research Centre - European Commission n.d.).
Itinerancia	O “e-roaming”, servicio que permite a los usuarios de vehículos eléctricos la opción de cargar en todas las estaciones de carga y no solo con el operador de carga con el que firmó un contrato de carga.
Movilidad eléctrica	Para fines de esta guía, se entiende como medios de desplazamiento de personas o bienes que resulten en un vehículo alimentado con electricidad, o autobús, carente de motor de combustión y que no circule sobre rieles.
Redundancia	Para los patios de carga, la fuente eléctrica que se recibe deberá tener una línea emergente a la principal por parte de CFE o tener una planta de emergencia o un sistema de almacenamiento de energía para garantizar la continuidad de la carga.
Vehículo eléctrico	VE. Un vehículo con motor eléctrico que se alimenta mediante baterías, estas baterías pueden ser cargadas por celdas de hidrógeno o conectándose a la red eléctrica.
Red de Media Tensión	Es la red eléctrica que distribuye la energía a través de voltajes, que en México pueden ser de 15, 25 ó 35 Kilo Volts, dependiendo la región y ubicación del país.
Red eléctrica	Es la infraestructura necesaria para transportar la energía eléctrica desde su punto de generación hasta su uso final, la cual pasa por diferentes etapas como la generación, la transmisión, la distribución y el consumo final.

¹ Definiciones por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Programa MOVE.

INTRODUCCIÓN

Este documento nace como parte de la asistencia técnica que el *Global Green Growth Institute* (GGGI) brinda al Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRA); la asistencia busca promover la estructuración de proyectos de transporte eléctrico con base a la integración de los elementos técnicos, financieros y socioambientales necesarios para realizar proyectos exitosos y atractivos para el Fondo Verde del Clima (*Green Climate Fund*). Este documento tiene como objetivo principal **presentar y proponer una guía técnica para la estructuración de proyectos de transporte eléctrico**, promoviendo así la movilidad sostenible.

El transporte urbano de pasajeros es el medio que utilizan más del 40% de las personas en México, lo que equivale al 87% de la Población Económicamente Activa (PEA) del país². El transporte urbano de pasajeros es considerado un modo de transporte sustentable, por su impacto en emisiones per cápita; no obstante, el transporte público hoy en día en México opera principalmente con combustibles como el diésel, la gasolina, el gas Licuado de Petróleo (LP) o Gas Natural Comprimido (GNC), siendo estos combustibles fósiles los que contribuyen al deterioro de la calidad del aire de las ciudades mexicanas y en la generación de Gases Efecto Invernadero (GEI), influyendo de manera negativa al cambio climático.

Cabe destacar que México es el país número 12 en emisiones de GEI (WRI, 2021³). Los autobuses, microbuses, camionetas y vagonetas empleadas en el transporte urbano de pasajeros producen también contaminantes como el carbono negro, contaminantes criterio como NOx, Sox, PM 2.5 y PM 10, que afectan la salud de las personas a través de los sistemas respiratorio y cardiovascular, resultados adversos de nacimiento (ej., bajo peso), propensión a desarrollar demencia o asma, muertes prematuras, entre otros⁴. No sólo es el medio ambiente quien se beneficia gracias a autobuses limpios, sino que también, esta tecnología puede mejorar la calidad del transporte para personas usuarias, especialmente para mujeres y personas con discapacidad.

El transporte público eléctrico ya es una realidad en ciudades de Latinoamérica; cada vez hay más países incorporando planes, programas y esquemas de apoyo financiero para la transición tecnológica del sector. Un estudio de la ONU muestra que cinco países de América Latina han establecido metas, planes y programas para impulsar el transporte eléctrico en los sistemas de transporte público⁵, siendo estos Chile, Colombia, Brasil, Costa Rica y Paraguay. México no se queda atrás, ya que, para octubre de 2023, cuenta con tres proyectos de autobuses eléctricos consolidados, dos en proceso de ejecución, y varios más en procesos de planeación: entre ellos, se destacan los proyectos de la Ciudad de México, Metrobús y el de Servicio de Transportes Eléctricos (STE), así como Jalisco con la ruta eléctrica del Sistema de Tren Eléctrico Urbano (SITEUR) y el IE-TRAM en Mérida, Yucatán.

La estructura del documento se compone de tres capítulos y un anexo: 1) el propósito de la guía, 2) un análisis comparativo entre un proyecto de transporte convencional (diésel o gas natural) y uno eléctrico; 3) fases en la estructuración de un proyecto de transporte eléctrico en México; y finalmente, un anexo con elementos clave a considerar en la estructuración de proyectos de transporte eléctrico ("*checklist*"), incluyendo los análisis ambientales, sociales y de género.

² INEGI. (2020). *Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE)*.

³ WRI 2021. <https://wrimexico.org/blog/cuatro-gr%C3%A1ficos-que-explican-las-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-por-pa%C3%ADs-y-por>

⁴ Hernández et al. 2021 "Urban cycling and air quality: Characterizing cyclist exposure to particulate-related pollution". *Urban Climate Review* 36. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100767>

⁵ UNDP. 2021. *MOVE LATAM. "Movilidad Eléctrica en América Latina y el Caribe. 4ta Edición"*.

1. PROPÓSITO DE LA GUÍA

1.1 Objetivo

El propósito de esta guía es proporcionar información sobre las consideraciones, componentes y pasos necesarios para idear, planificar, implementar y operar proyectos de transporte eléctrico en México. La estructura de este manual está diseñada para orientar al lector a través de un proceso organizado, asegurando que no se pasen por alto actividades o elementos esenciales en la ejecución de proyectos de este tipo. En particular, esta Guía está enfocada en la preparación de proyectos de movilidad eléctrica, de los cuales el Programa de Apoyo Federal al Transporte Masivo (PROTRAM) pueda evaluar su posible financiamiento.

1.2 ¿A quién va dirigida?

Esta guía se encuentra dirigida especialmente a los Promotores de proyectos de Electromovilidad en los gobiernos subnacionales de México, aunque su contenido también puede ser de utilidad para planificadores de transporte, funcionarios públicos y profesionales del sector transporte, como un recurso de referencia para llevar a cabo proyectos de Transporte Público Eléctrico.

1.3 Consideraciones para su uso

Esta guía provee un marco general sobre cómo estructurar un proyecto de transporte eléctrico; sin embargo, cada proyecto tiene sus particularidades. Por lo tanto, se recomienda incorporar a esta guía consideraciones contextuales de cada proyecto de transporte público en desarrollo. Las recomendaciones e indicaciones en esta guía siempre se deben tomar con juicio profesional, entendiendo también el contexto social y político de cada proyecto de transporte público en desarrollo.

2. ESTRUCTURACIÓN DE PROYECTOS DE TRANSPORTE PÚBLICO: DIFERENCIAS ENTRE TECNOLOGÍA CONVENCIONAL Y ELÉCTRICA

Para la estructuración de proyectos de movilidad eléctrica, se deben considerar algunos elementos que comprenden la planeación, construcción y operación del sistema. La diferencia entre proyectos convencionales (a base de diésel, o gas natural), y proyectos que tiene como base la energía eléctrica, se representa en las tres fases de estructuración de un proyecto, ilustradas a continuación:

ILUSTRACIÓN 1 - FASES EN LA ESTRUCTURACIÓN DE UN PROYECTO DE TRANSPORTE



Para tener una comprensión general de estas distinciones, a continuación, se presentan los elementos clave y las consideraciones para tener en cuenta al diseñar, estructurar y llevar a cabo el proyecto. Más adelante, se profundiza en estos aspectos.

En la siguiente tabla se describen las diferencias en la planificación del proyecto:

A. Diferencias en el proceso de planificación y estudios de pre-inversión		
Componentes	Descripción	Consideraciones para proyectos de transporte eléctrico
El Trazo del Corredor	Este componente, describe el recorrido donde transitará la ruta planeada. Se debe analizar entre otras variables, la viabilidad física, social y económica sobre las vialidades en cuestión. Este análisis es el mismo que se lleva a cabo para cualquier proyecto de Transporte Público financiado por el PROTRAM.	Los autobuses eléctricos tienen autonomía limitada. Por lo que se debe considerar: ◆ Pendientes: El consumo de la energía incrementa en pendientes prolongadas. ◆ Estado del terreno. Las condiciones pueden ser un factor para la correcta conducción de la persona operadora, por lo que, si el pavimento es deficiente, la conducción requerirá maniobras que afecten el rendimiento de la batería.
Estimación de la Demanda	Obtención de los datos y parámetros de evaluación de las y los pasajeros en el segmento de máxima demanda en el periodo pico (mayor demanda de todo el día), el total de personas usuarias por día, los abordajes y descensos por estación; el polígono de carga para el corredor y toda la información que permita diseñar el servicio de transporte urbano en el corredor y el esquema de rutas alimentadoras. ⁶	Definido el trazado, la demanda del corredor se estima de la misma manera que cualquier proyecto de transporte en búsqueda de financiamiento. La tecnología del E-Bus no cambia este resultado ya que los autobuses están diseñados para sustituir con relación uno a uno o en casos con mayor capacidad, dependiendo de la configuración de la unidad y zona de baterías. Sin embargo, si la capacidad es mayor a la capacidad técnica de la unidad, el rendimiento se verá mermado y la autonomía será menor.

⁶ En este tipo de estudios sería importante considerar las diferencias de viaje que existen entre hombres y mujeres, incluyendo las diferencias en la intensidad de usos, los horarios de uso, entre otros.

A. Diferencias en el proceso de planificación y estudios de pre-inversión		
Componentes	Descripción	Consideraciones para proyectos de transporte eléctrico
Dimensionamiento de la Flota	Definición del número, tipo y tamaño de unidades (autobuses) para satisfacer la demanda en el Periodo de Máxima Demanda (PMD) y durante el día. Para dimensionar el servicio, técnicamente siempre se cubre con la hora más crítica, Los criterios básicos están enfocados a los aspectos de intervalos, factores de ocupación, tamaño del parque y la capacidad vehiculares, principalmente. ⁷	El mercado de E-Buses es muy acotado actualmente. En el mundo de E-Buses aún no existen unidades “probadas” de todo tipo de configuraciones. Las más comunes para E-Buses son de 10, 12 y 18 mts. Para mayores tamaños aún existen prototipos que comienzan a probarse para satisfacer sistemas de alta demanda, pero para unidades Biarticuladas aún no existe oferta probada en México.
Esquema Operacional	Lo componen los parámetros y condiciones bajo la que se presta el servicio, resultando en horarios de inicio y fin del servicio, número de autobuses circulando y tiempos de paso entre los autobuses en el corredor. Parámetros: ◆ Tiempo de ciclo. ◆ Velocidad operativa real. ◆ Capacidad de la unidad. ◆ Ocupación de las unidades planeadas. Condiciones: ◆ Volumen de demanda en la hora más crítica ◆ Las pendientes en el corredor propuesto.	La autonomía del bus eléctrico es determinante para el cumplimiento del servicio conforme a lo planeado, por lo que se deben de conocer las autonomías de los E-Bus y los factores que la alteran (véase sección 3.1). En general un Bus convencional tiene un rendimiento de hasta 550 km/tanque y un bus eléctrico oscila entre los 300 a 400 km/carga como autonomía. Se debe definir el esquema de recarga para determinar si la carga del E-bus se deberá realizar en el corredor, en el patio de resguardo, durante el día o en periodo nocturno, según las condiciones de la unidad, tipo de cargadores y zona de alimentación de energía eléctrica.

⁷ Molinero, A. Transporte público: planeación, diseño, operación y administración. México: UAEM

A. Diferencias en el proceso de planificación y estudios de pre-inversión		
Componentes	Descripción	Consideraciones para proyectos de transporte eléctrico
Diseño de Infraestructura	La implementación de un proyecto de transporte implica adquisición o modificación de derechos de vía, obras de construcción (estaciones, patios, carriles, túneles, vías, talleres de mantenimiento, terminales, etc.), modificaciones geométricas en intersecciones o carriles, confinamiento de carriles, modificaciones en la carpeta de rodamiento, obras inducidas, sistemas de control de tránsito y señalamiento, electrificación entre otros etc. El tipo de infraestructura y obras dependerá del sistema de transporte masivo a implementar, lo cual debe ser congruente con el volumen de demanda atribuible al proyecto. ⁸	Para una operación con E-buses, los patios y/o talleres siempre requieren una reconfiguración en su diseño y operación que la diferencia de los proyectos con tecnología diésel. Similar a una operación con sistemas a base de diésel o gas, cotidianamente el patio es para la pernocta, actividades de mantenimiento y suministro de combustible. Para suministro de energía (recarga), se debe considerar la adaptación del espacio disponible para implementar la infraestructura de recarga (cargadores, transformadores y alimentación de energía).

⁸ CEPEP (Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos). (2018). Metodología para la evaluación socioeconómica de proyectos de transporte masivo.

En la siguiente tabla se describen las diferencias en el desarrollo del proyecto ejecutivo.

B. Diferencias en el desarrollo del Proyecto Ejecutivo		
Componentes	Descripción	Consideraciones para proyectos de transporte eléctrico
Estudios de mercado	Para poder estimar los costos de capital y operacionales del proyecto se debe cuantificar el costo de todos los elementos que comprende el proyecto, desde la infraestructura de obra civil a la electromecánica, hasta los propios autobuses y el costo de las baterías.	Cada año los fabricantes de E-buses tienen nuevos modelos para ofrecer y también van mejorando la autonomía de las versiones anteriores y, en algunas ocasiones, los precios podrían ser más bajos. Los cargadores también van cambiando por lo que hay que revisar la capacidad requerida y las capacidades que hay en el mercado de cargadores, así como el tipo de tecnología.
Esquema Operacional	Un plan operacional es el conjunto de procedimientos y programación de horarios que permite llevar a cabo un servicio de la manera más eficiente de acuerdo con los requisitos de calidad, demanda prevista, especificaciones del material móvil y condiciones laborales previamente definidas.	Se debe considerar la estrategia de recarga que permita la ventana de tiempo para realizarla, considerando la autonomía, tiempo y zona. Estas variables se deben considerar en el esquema operacional planeado. ◆ Tipo de carga (nocturno, carga de oportunidad sobre el corredor o mixta) ◆ Autonomía del E-bus. ◆ Ubicación de los patios. ◆ La velocidad comercial.
Diseño Eléctrico	Este sistema de energía se compone de una red de carga eléctrica de alta capacidad, distribuida estratégicamente en el patio de encierro y que sean compatibles entre sí.	Al igual que en los sistemas convencionales que utilizan diésel, es esencial realizar un cálculo preciso del consumo de energía, en este caso eléctrica, necesario para la operación. Además, se debe llevar a cabo un monitoreo continuo, análisis exhaustivo, implementación de mejoras y un riguroso control de la gestión energética.

B. Diferencias en el desarrollo del Proyecto Ejecutivo

Componentes	Descripción	Consideraciones para proyectos de transporte eléctrico
Diseño Arquitectónico	Es un proceso que debe tener en cuenta tanto la funcionalidad como la sostenibilidad. Este espacio debe contar con una disposición eficiente de las estaciones de carga eléctrica, asegurando un flujo de tráfico fluido y una fácil accesibilidad para los vehículos.	Para el patio, se deben considerar los tamaños y altura de las estaciones de carga (cargadores) para los E-buses, así como las zonas de mantenimiento y pernocta. Para el caso de carga con pantógrafos, se debe considerar la zona de maniobra para la recarga rápida en patio o en el corredor, según la configuración del esquema de recarga. Se debe considerar, según la operación, el espacio y zona de resguardo para las refacciones tanto de los autobuses como de los cargadores. Se deben incorporar elementos que promuevan la eficiencia energética y la comodidad de los conductores y pasajeros.

A continuación, se describen las diferencias en la ejecución y operación de proyectos de transporte con autobuses convencionales y autobuses eléctricos.

C. Diferencias en la ejecución y operación del proyecto		
Componentes	Descripción	Consideraciones para proyectos de transporte eléctrico
Contratos	Los contratos que se requieren para llevar a cabo un proyecto de transporte son varios, desde la ejecución de obra civil, la obra eléctrica, la compra de material rodante, seguros, mantenimiento, entre otros.	En un proyecto de Transporte Eléctrico, además de contemplar lo habitual, se debe considerar: ◆ Contratos de energía con CFE. ◆ Contratos de construcción de infraestructura eléctrica. ◆ Contratos de mantenimiento del material rodante, en particular de las baterías. ◆ Contratos que incluyan la capacitación de personas conductoras y personas en servicios de mecánica, en estos nuevos sistemas de transporte eléctrico.
Garantías	Las garantías se vuelven más relevantes para el material rodante (Autobuses Eléctricos), pero también se debe contemplar la infraestructura.	Se deben establecer las garantías de: los vehículos, las baterías, los sistemas de recarga, al igual que la instalación eléctrica. Las garantías se pueden negociar para llegar a: ◆ Autobuses Eléctricos (mínimo 5 años o 400,000 km) ◆ Baterías (Mínimo 6 años o 400,000 km) ◆ Cargadores (Mínimo 5 años) ◆ Material Eléctrico (depende del componente)
Servicios Postventa	Estos servicios se deben prestar a los autobuses empleados en el proyecto, así como a sus cargadores, donde usualmente se contempla el mantenimiento preventivo.	Se debe asegurar que los servicios postventa estén bien definidos y se encuentren dentro de los contratos con el proveedor. Es importante considerar que algunas marcas de Autobuses Eléctricos aún no cuentan con servicios postventa bien desarrollados en el país, por lo que se tendrá que negociar con talleres de mantenimiento locales.

C. Diferencias en la ejecución y operación del proyecto

Componentes	Descripción	Consideraciones para proyectos de transporte eléctrico
Mantenimiento	El mantenimiento de un proyecto no solo considera la infraestructura, carriles, paraderos y patios, sino también el mantenimiento a los autobuses y sus fuentes de suministro de energía.	Se debe considerar que: ♦ Los autobuses eléctricos son más pesados por el tamaño de las baterías, por lo que se debe pensar en el diseño y mantenimiento de los carriles de transporte. ♦ Los autobuses deberán cumplir rigurosamente con su mantenimiento preventivo y correctivo, derivado de los desgastes frecuentes de los mismos. ♦ El mantenimiento de los equipos de carga, pues emplean componentes que, si no tienen un buen uso, se pueden averiar pronto como las mangueras para la carga eléctrica.
Monitoreo	La supervisión constante de los autobuses y el seguimiento de los consumos de energía eléctrica son aspectos fundamentales para garantizar la eficiencia, efectividad y confiabilidad de las operaciones de transporte.	Se debe disponer de sensores y telemetría para la medición de algunos de los indicadores clave para su monitoreo. Mediante la evaluación de los indicadores se puede dictaminar la existencia de problemas eléctricos o mecánicos, o si son problemas atribuibles a la conducción y operación de la unidad. De igual manera, se deben monitorear los sistemas de carga, para poder conocer los consumos de energía y el estatus de los propios equipos.

3. FASES EN LA ESTRUCTURACIÓN DE PROYECTOS DE TRANSPORTE ELÉCTRICO

Atendiendo las diferencias entre un proyecto de transporte convencional con motores de combustión interna y el transporte eléctrico, se proponen las siguientes fases para la estructuración de proyectos de transporte eléctrico:

Fase 1. Análisis técnico

Fase 2. Análisis socioambiental

Fase 3. Estructuración financiera

3.1 Fase 1. Análisis técnico

3.1.1 Definición de rutas de transporte por electrificar

Con la intención de promover el desarrollo de rutas de transporte público con autobuses eléctricos en México, es fundamental tener en cuenta que, si bien estos vehículos contribuyen significativamente a la mitigación de las emisiones de CO₂, no son la única solución a los desafíos fundamentales que enfrenta el transporte público en el país. Problemas como la calidad del servicio, la accesibilidad, la integración con otros medios de transporte, la equidad y el mantenimiento de las vías también deben abordarse de manera integral.

Es esencial considerar las variables operativas relacionadas con los factores que determinan el funcionamiento óptimo de los autobuses eléctricos y maximizar su rendimiento. Entre estos factores clave se encuentran el Índice de Pasajeros por Kilómetro (IPK), el Índice de Pasajeros por Vehículo (IPV) y el Índice de Kilómetros por Vehículo (IKV)⁹.

Es importante recordar que las unidades eléctricas operan en condiciones diferentes a las de los autobuses diésel, y se deben de considerar factores como:

1. Pendiente del camino: es importante destacar que la mayoría de los E-buses están diseñados para operar en caminos con pendientes que oscilan entre 15 y 25 grados, aunque esta capacidad puede variar según el fabricante y el modelo específico del vehículo. Las autoridades que definen la operación de este tipo de corredores deberán analizar principalmente las pendientes gobernadoras de las rutas para seleccionar el derrotero y esquema de operación que maximice la regeneración de energía por medio del frenado, asimismo deberán diseñar estrategias para facilitar la circulación de los conductores de unidad.

2. Condiciones del terreno: Los E-buses emplean baterías de litio-hierro-fosfato (LFP), estas hacen que sea un vehículo mucho más pesado. Este indicador de peso puede variar en el orden de 2 a 3 toneladas adicionales, afectando de manera significativa el diseño de pavimento. Es necesario analizar y modificar la infraestructura vial para adaptarse a los diferentes requisitos de peso, longitud, radio de giro, distancia de frenado y aceleración de los autobuses eléctricos.

3. Longitud de la ruta: La autonomía de los E-buses disponibles en México en promedio están alrededor de los 300 km en condiciones ideales, y podría mermarse con el uso del aire acondicionado. Si requieren rutas con longitud más larga, se tendrá que optar por añadir carga de oportunidad a lo largo de la ruta, o solicitar a los fabricantes de autobuses incrementar el tamaño de las baterías.

⁹ Metodología para estudio de demanda de transporte público de pasajeros en zonas rurales Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, núm. 53, junio, 2010, pp. 106-118 Universidad de Antioquia Medellín, Colombia.

4. Distancia de la zona de recarga al camino de recorrido: Es indispensable que la distancia entre el inicio de la ruta y el patio de carga sea lo más cercano posible, esto para evitar que los E-buses tengan trayectos largos en vacío.

Al planificar rutas de transporte público con autobuses eléctricos, es esencial considerar de manera integral estos factores operativos y técnicos para garantizar un servicio eficiente, sostenible y de alta calidad para los usuarios del transporte público en México.

3.1.2 Selección de autobuses eléctricos

La elección de autobuses eléctricos conlleva nuevas consideraciones que requieren una evaluación minuciosa. La tecnología involucrada en estos vehículos es compleja, lo que hace imperativo tomar una serie de decisiones críticas, incluyendo:

1. *Funcionamiento del tren motriz eléctrico:* Es esencial considerar cómo funcionará el sistema de propulsión eléctrica en relación con el tipo de pavimento, el corredor y las pendientes por donde operará la unidad. Esto garantiza un rendimiento eficiente en diferentes condiciones.
2. *Paquete de baterías:* Determinar el paquete de baterías adecuado es crucial para la operación efectiva de los autobuses en la ruta seleccionada. Debe cubrir las condiciones específicas de operación y las especificaciones de la unidad, garantizando la autonomía necesaria.
3. *Diseño de los autobuses eléctricos:* El diseño de los autobuses eléctricos puede variar según las necesidades del proyecto, incluyendo la capacidad de las baterías, el tipo de carga, la configuración del chasis, las dimensiones, las entradas, los asientos, entre otros aspectos.

Recomendaciones: Debido a la complejidad de estas consideraciones, es esencial contar con la capacidad técnica adecuada en la entidad encargada de preparar las bases de licitación. Estas bases deben describir de manera precisa las especificaciones requeridas al adquirir las unidades eléctricas. Además, es necesario supervisar el ensamblaje y llevar a cabo una recepción adecuada de las unidades eléctricas para el proyecto. En esta sección, se presentan consideraciones clave para la selección de autobuses eléctricos en el contexto de un proyecto de transporte masivo. Estas decisiones estratégicas tienen un impacto significativo en la eficiencia y efectividad del sistema de transporte eléctrico¹⁰.

Elementos por considerar en la adquisición de autobuses eléctricos

Independientemente del esquema de contratación (compra directa, arrendamiento, o un proyecto integral llave en mano) la selección y adquisición de unidades es un proceso que requiere de planeación desde la licitación hasta la recepción de los E-buses:

- a. **Desarrollo de conocimientos técnicos.** Es necesario contar con el conocimiento técnico adecuado en todo el proceso: desde la selección del tipo de autobús eléctrico hasta la elaboración de los Términos de Referencia para la adquisición de autobuses eléctricos, pasando también por la adjudicación y cierre del contrato.

Recomendaciones: En proyectos de electromovilidad, se necesita la asesoría de personas expertas, como empresas consultoras especializadas u organizaciones no

¹⁰ Benoît Lefevre, "Electric buses offer Latin American and Caribbean transport a green and profitable future", Inter-American Development Bank, 2020, disponible en línea: <https://blogs.iadb.org/sostenibilidad/en/electric-buses-offer-latin-american-and-caribbean-transport-green-and-profitable-future/>

gubernamentales enfocadas en la electrificación del transporte. Es aconsejable que las autoridades encargadas de desarrollar proyectos de este tipo busquen lecciones aprendidas de proyectos similares en otras ciudades para comprender desafíos, especificaciones técnicas y prácticas de conducción y mantenimiento. Además, es común que las empresas fabricantes de autobuses eléctricos brinden capacitación al personal encargado de operar y mantener la flota vehicular. Este conocimiento compartido es clave para el éxito de la implementación de autobuses eléctricos en el transporte público mexicano.¹¹

- b. Especificaciones técnicas del tipo de unidad.** Para garantizar la adecuada adquisición de autobuses eléctricos en proyectos de transporte público en México, se requiere desarrollar especificaciones técnicas que reflejen las posibilidades reales del mercado. Específicamente, es deseable definir las características técnicas necesarias en las bases de licitación, basándose en el diseño operativo del sistema y en la definición de requisitos realistas de operación. Además, se debe incluir la solicitud de pruebas de los vehículos por parte de las empresas proveedoras antes de iniciar la operación para asegurar que cumplen con los estándares requeridos.

Recomendaciones: Los proyectos de implementación de autobuses eléctricos en el transporte público de México comienzan con una base de diseño que suele derivar de un análisis técnico realizado por personas consultoras. En este análisis, se evalúan distintos escenarios de vehículos y tecnologías, destacando los beneficios del vehículo más adecuado en términos de costos, dimensiones y cantidad de unidades. Estas decisiones se toman considerando las condiciones de las vías, su topografía y la ubicación específica de la ciudad donde se llevará a cabo el proyecto. Este proceso permitirá la planificación efectiva de rutas con autobuses eléctricos.

La oferta de las unidades de autobuses eléctricos está en constante actualización. La tabla describe la oferta actual (al momento de esta guía) como referencia para los Promotores. en presenta en las tres fases de un proyecto, ilustradas a continuación:

TABLA 1 - OFERTA POR TIPO DE E-BUS EN EL MUNDO

Tipo	Autobús Eléctrico de Baterías					Autobús Eléctrico de Carga de Oportunidad					Trolebús				
Región / tipo de autobús	B	A	P	C	M	B	A	P	C	M	B	A	P	C	M
China		X	X	X	X						X			X	
Europa		X	X	X	X		X	X			X	X	X		
EEUU		X	X	X	X							X	X		
LAC		X	X									X	X		
México		X	X	X	X			X				X	X		

B – Biarticulado; A – Articulado P – Padrón; C – Corto; M – Minibús o menor

Fuente: Elaboración Grupo E-Mobilitas, 2023.

¹¹ Experiencia del sistema Metrobús con el proveedor de autobuses eléctricos para la sustitución de Línea 3 y pruebas de unidades eléctricas para Línea 4 en la Ciudad de México.

- c. Proceso de adjudicación para las unidades.** En la adquisición de autobuses eléctricos para proyectos de transporte público en México, se debe considerar tanto el aspecto económico como los requerimientos técnicos y la disponibilidad en el mercado. Los tiempos de entrega de estos vehículos y la configuración de sus sistemas de carga varían, generalmente oscilando entre 6 y 12 meses. Es importante mencionar que las empresas fabricantes deben realizar una reingeniería para adaptar los autobuses eléctricos a los requisitos técnicos de las rutas y operaciones, ya que, de lo contrario, los ajustes podrían ser costosos y demorados. No todas las empresas fabricantes de autobuses eléctricos tienen la misma experiencia, y muchas de ellas en Asia cuentan con más experiencia en la implementación de este tipo de flotas. Es importante que se definan muy bien las características técnicas de durabilidad, calidad y comodidad requerida, ya que los autobuses en México usualmente tienen una vida útil de 10 a 15 años, que es distinta a los requisitos de durabilidad que se exigen en otros países.

Recomendaciones: En los proyectos de implementación de autobuses eléctricos, se debe priorizar la consideración de aspectos técnicos en las bases de licitación, evitando que el factor económico sea el único criterio determinante en la adquisición de la flota vehicular. Estas bases de licitación se diseñan de manera que garanticen la elección más adecuada para el proyecto, teniendo en cuenta las características de la vía y las condiciones específicas de operación. Estas decisiones se basan en estudios previos realizados por consultoras especializadas, asegurando así una planificación que respalde la eficiencia y efectividad del sistema de transporte público.

- d. Presentación de prototipos.** En el proceso de elaboración de los términos de referencia de las bases de licitación para la adquisición de autobuses eléctricos en México, es esencial que el licitante incluya la solicitud de al menos un prototipo de autobús antes de la adjudicación. Esto se hace con el objetivo de asegurar y verificar que los componentes técnicos especificados en los términos de referencia se cumplan de manera adecuada antes de proceder con la entrega completa de las unidades. Esta medida contribuye a garantizar la calidad y conformidad de los autobuses eléctricos adquiridos para el proyecto de transporte público.

Recomendaciones: Por lo general, las entidades encargadas de la gestión y operación de unidades eléctricas en el transporte público en México tienen una fase previa de familiarización (o pilotaje) con estas unidades. Las autoridades suelen conocer las especificaciones técnicas y operativas de los vehículos eléctricos en eventos nacionales e internacionales, donde las empresas fabricantes exhiben prototipos y unidades. Además, las empresas armadoras suelen proporcionar prototipos de vehículos para que las autoridades y concesionarios los evalúen y realicen pruebas en condiciones reales. Ejemplos como Metrobús (Ciudad de México) suelen llevar a cabo pruebas en condiciones de operación reales durante un período de 6 a 12 meses antes de introducir un nuevo autobús en su flota, lo que les permite establecer indicadores operativos para evaluar el desempeño de la unidad en términos de rendimiento, mantenimiento, capacidad, manejabilidad y comodidad, y compararlos con las unidades en funcionamiento diario para justificar su adquisición.

- e. Visitas al sitio de armado de las unidades.** En el proceso de ensamblaje de los autobuses eléctricos, se aconseja que la autoridad y/o entidad gestora realice visitas conjuntas con los futuros operadores (si la compra ya se ha llevado a cabo) o por parte de la administración contratante a los lugares de producción y ensamble de las unidades. Estas visitas son esenciales para verificar en la planta de fabricación que las unidades están cumpliendo con las especificaciones técnicas necesarias antes de la producción en masa de los autobuses eléctricos. Este control asegura que las unidades se ajusten adecuadamente a los requisitos

previamente establecidos, garantizando así la calidad y conformidad de los vehículos adquiridos para el sistema de transporte público.

***Recomendaciones:** Usualmente, los equipos técnicos de las autoridades encargadas de adquirir autobuses eléctricos participan en visitas guiadas a las plantas de fabricación, donde reciben información detallada sobre las unidades, sus características y los procesos de ensamblaje. Esta información está relacionada con las condiciones de operación y la infraestructura a la que estarán expuestas estas unidades. Durante estas visitas, las autoridades pueden identificar los componentes relevantes para el desempeño de las unidades, como el tamaño de la unidad, el funcionamiento de las puertas, el tipo de chasis, la ubicación de las baterías y la disposición de los asientos, entre otros aspectos. Es importante hacer mención, que algunos elementos pueden tener necesidades específicas a un género, como lo son espacios para actividades de cuidado. Además, en estas visitas se pueden acordar contratos relacionados con señalización, seguridad y equipos embarcados adicionales para sistemas como el Metrobús de la Ciudad de México, que incluyen sistemas de monitoreo como pantallas, cámaras y sistema de GPS, estos elementos de seguridad son indispensables para mitigar la falta de seguridad que viven las personas usuarias, en particular las mujeres, en el transporte público.*

- f. Proceso de entrega de las unidades.** Establecer un proceso formal de entrega y recepción de los autobuses eléctricos asegura el cumplimiento de las especificaciones de todas las unidades al finalizar el ensamblaje por parte de la empresa fabricante. Este proceso permite a la entidad receptora verificar que se han incluido todos los componentes requeridos antes de la entrega, asegurando así la conformidad de las unidades con las especificaciones solicitadas y garantizando la calidad de los vehículos adquiridos.

***Recomendaciones:** En los sistemas de transporte público implementados, se definen procesos que involucran la revisión de las unidades antes de su entrega. Esto se realiza a través de mecanismos como actas de entrega y recepción o formatos específicos que parten de la evaluación de la unidad para asegurar que cumple con las condiciones acordadas en los contratos. Este proceso puede requerir un amplio período de trabajo, que varía en función del volumen y tipo de unidades, y debe ser planificado como parte del proyecto. A pesar de que las unidades son nuevas, suele haber detalles (de mayor o menor relevancia) que la empresa fabricante debe ajustar para garantizar que la unidad esté en las condiciones pactadas. La revisión concluye con la firma de un acta de entrega por parte de los responsables de ambas partes, confirmando que la unidad está lista para operar sin problemas y dejando un registro de este proceso cumplido¹².*

- g. Monitoreo de las unidades.** Para preservar la garantía de fábrica de los autobuses eléctricos, es clave llevar un seguimiento de su operación. Por lo general, la garantía completa de estos vehículos se extiende de 5 a 8 años. En el caso de las baterías, suelen contar con una garantía de 6 a 8 años, siempre y cuando su carga se realice acorde a las recomendaciones del fabricante. Mantener un monitoreo adecuado permite aprovechar al máximo los beneficios de la garantía y garantizar un rendimiento óptimo de los autobuses eléctricos en el sistema de transporte público.

¹² Experiencia sobre los procedimientos internos del sistema Metrobús.

Recomendaciones: Las autoridades responsables de la operación de autobuses eléctricos suelen recibir capacitación específica sobre los componentes críticos que deben monitorear en estas unidades, enfocándose especialmente en las condiciones de operación y mantenimiento. Este monitoreo se centra en una serie de indicadores que evalúan el rendimiento de la unidad, como la autonomía, el estado de las baterías, el rendimiento general y el tiempo de carga, entre otros aspectos clave para asegurar un funcionamiento óptimo de los autobuses eléctricos en el sistema de transporte público.

3.1.3 Selección de cargadores para autobuses eléctricos

La carga de energía para autobuses eléctricos es un elemento clave de los proyectos de transporte eléctrico. El dimensionamiento de este componente dependerá tanto del número de autobuses a implementar, del diseño y operación de la ruta, la distancia de recorrido, así como el tiempo de descanso que tenga la flota.

Para la carga de la energía eléctrica en las baterías de los autobuses, existen tres tipos de tecnologías probadas, implementadas en proyectos de transporte eléctrico en el mundo y que han funcionado con gran éxito. Dichas tecnologías son:

1. Cargadores con conector tipo manguera
2. Catenarias
3. Pantógrafos



Cargador tipo manguera



Catenaria



Pantógrafo

Nota: Existen otras alternativas de carga en desarrollo, como la carga inductiva – o mejor conocida como inalámbrica – pero hasta ahora presenta muchas pérdidas de energía en el proceso. También está el intercambio de baterías (mejor conocido como battery-swapping). Al estar en etapa de desarrollo, la mayoría de OEMs de autobuses eléctricos aún no las ha integrado dentro de sus opciones para venta de autobuses eléctricos de grandes flotas.

Es importante resaltar que la elección de la tecnología de carga adecuada dependerá de varios factores: los requisitos de la ruta seleccionada, el tipo de carga necesaria (ya sea nocturna, intermedia o en ruta) y la capacidad de potencia necesaria para garantizar un funcionamiento óptimo. Además, se deben tener en cuenta las condiciones de infraestructura existentes en la ciudad. Por ejemplo, en el caso de los trolebuses en la Ciudad de México, la infraestructura de catenaria ya estaba en funcionamiento y resultó ser la opción más viable, tanto desde el punto de vista técnico como financiero. La ciudad realizó labores de mantenimiento y renovación de las catenarias antiguas (algunas con más de 40 años) para respaldar el proyecto de trolebuses de nueva generación. También se debe considerar la elección del tipo de cargador, asegurando la interoperabilidad entre los autobuses eléctricos actuales y los que se adquieran en futuros proyectos, para garantizar una transición fluida y eficiente hacia una flota de transporte eléctrico más amplia.

La interoperabilidad en los proyectos de transporte público con vehículos eléctricos atiende dos factores:

1. *La compatibilidad en la forma de carga* en cualquiera de las tres modalidades antes mencionadas, pues cada una de estas tecnologías podría encontrarse con un tipo de conexión diferente, como se verá más adelante.
2. *La compatibilidad del protocolo de comunicación* que existe entre el cargador y el vehículo, siendo fundamental para que puedan tener esta conectividad y para que se pueda realizar la carga eléctrica al vehículo sin problemas siendo interoperable entre los autobuses eléctricos del promotor a futuro.

Para el caso de la interoperabilidad en la tecnología de carga, los cargadores con conector tipo manguera existen diferentes conectores de acuerdo con la región de donde provenga el autobús eléctrico, principalmente se manejan cuatro tipos:

- ◆ En China se tiene la normativa GB/T
- ◆ En Europa, se cuenta con el conector CCS2
- ◆ En Estados Unidos y Canadá se cuenta con el conector CCS1
- ◆ Finalmente, el internacional llamado CHAdeMO, es mayormente usado en Japón

Hasta la fecha, México no cuenta con una normativa que establezca los conectores específicos que deben emplearse en servicios de autobuses eléctricos, ya que solo existe una NMX para vehículos ligeros¹³. En lo que respecta a la catenaria, el sistema mecánico y eléctrico podría presentar variaciones. Por otro lado, en el caso de los pantógrafos, existen dos enfoques: los cargadores de techo, en los cuales el mecanismo de captación de energía se ubica en el propio autobús, y los pantógrafos invertidos, en los cuales el mecanismo se encuentra en el cargador. Cada proyecto deberá considerar estas opciones y adaptarlas a sus necesidades específicas.

La elección de la interfaz de comunicación (ejemplos: 4G/3G, Ethernet, WiFi (*Wireless Fidelity*), Bluetooth o Modbus) es fundamental para la implementación de software de monitoreo y gestión de energía en el sistema de carga. Además, el uso del protocolo OCPP (*Open Charge Point Protocol*), que ha sido estandarizado entre varios fabricantes de cargadores, facilita el monitoreo remoto y la administración eficiente de la energía en los autobuses eléctricos.

¹³ NORMA MEXICANA NMX-J-677-ANCE-2020, "VEHÍCULOS ELÉCTRICOS-EQUIPOS DE ALIMENTACIÓN" https://www.dof.gob.mx/hota_detalle_popup.php?codigo=5595540

Recomendaciones: En los proyectos de movilidad eléctrica en México, la elección del tipo de cargador se basa en consideraciones generales, teniendo en cuenta su uso común, experiencias internacionales y la disponibilidad en el mercado. Además, se considera la capacidad de carga de las unidades en relación con la infraestructura de suministro eléctrico de la red donde se implementan los proyectos. Estas decisiones se apoyan en experiencias pasadas y en la disponibilidad de tecnología en el mercado.

3.1.4 Diseño operacional de los autobuses eléctricos

El diseño para una operación con autobuses eléctricos (E-buses) se define en función de las condiciones de la ruta y el tipo de recarga que se utilizará en el proyecto, ya sea carga rápida, lenta o semi-lenta. Este diseño operativo debe ser planificado con precisión, considerando los tiempos necesarios para las operaciones de mantenimiento, el inicio y el final del servicio, así como el tiempo requerido para la recarga de energía eléctrica. Este enfoque debe contemplar la configuración, el tiempo de recarga y las condiciones de los cargadores. El diseño operativo comprende varios elementos específicos del sistema o corredor de transporte y se traduce en las variables que definen las condiciones del servicio.

Se deben considerar las variables:

- ♦ **El tiempo de ciclo:** El tiempo de ciclo se refiere al período necesario para que una línea o corredor de transporte público complete un circuito que lo lleva de regreso al mismo punto de partida. Este valor incluye tanto el tiempo de desplazamiento en la ruta como el tiempo dedicado a las paradas en las estaciones.
- ♦ **El porcentaje de ocupación:** Este valor, conocido como el porcentaje de ocupación, desempeña un papel crucial en la evaluación de las condiciones de servicio y está vinculado directamente a la capacidad técnica del autobús eléctrico, considerando tanto a las personas sentadas como a las de pie. Además, guarda una estrecha relación con el concepto de autonomía del vehículo.
- ♦ **La capacidad del E-Bus:** Esta variable hace referencia a la capacidad total de pasajeros que el vehículo puede transportar, incluyendo tanto a aquellos que viajan de pie como a los que ocupan asientos.
- ♦ **La velocidad comercial:** El tiempo que consume una unidad en recorrer cierta distancia.
- ♦ **El volumen de personas usuarias del transporte en el periodo más crítico:** hace referencia a la cantidad máxima de personas que se acumulan en el punto de mayor concentración de pasajeros en el corredor o ruta durante el período más crítico, usualmente la hora de máxima demanda (HMD).
- ♦ **Distancia del corredor al patio:** En el caso de la recarga en el patio, es esencial tener en cuenta la distancia para planificar una estrategia de recarga que reduzca al mínimo los trayectos en vacío de las unidades.
- ♦ **Tecnología de carga:** La tecnología de carga depende de componentes eléctricos como los tipos de cargadores, la red de alimentación y las baterías.
- ♦ **Pendiente del terreno del corredor:** Se debe considerar esta variable para el cálculo de consumo energético que repercute en la autonomía.
- ♦ **Capacidad de las baterías:** Se debe considerar el tamaño y capacidad de la batería que resulta en la autonomía del E-bus.

Estándares del servicio:

- ♦ **Número de frecuencias:** Número de E-buses que circularán en el punto más crítico con el fin de transportar el volumen máximo de pasajeros.
- ♦ **Intervalo de paso:** Tiempo de paso entre cada unidad.
- ♦ **Inicio y fin del servicio:** Ubicación y tiempo entre el inicio y el fin de la ruta

Recomendaciones: Para garantizar una operación eficiente de los autobuses eléctricos, es importante calcular las condiciones de servicio durante el período más crítico, que se produce en el punto de mayor concentración de pasajeros. También es necesario gestionar el número de autobuses eléctricos para el resto del día, calculado en función del volumen de pasajeros por hora a lo largo del día, lo que determina cuántos autobuses eléctricos deben circular para satisfacer las necesidades de movilización de la demanda. Este enfoque busca minimizar costos innecesarios asociados con la circulación de los autobuses eléctricos en vacío. Además, el diseño operacional debe considerar cuidadosamente las ventanas de tiempo para la recarga y configurar las rutas de los autobuses eléctricos de acuerdo con las condiciones de infraestructura, tipos de cargadores y autonomía disponibles.

3.1.5 Diseño eléctrico en los patios de encierro

El patio de encierro para proyectos de transporte eléctrico debe contar con áreas de estacionamiento, limpieza y mantenimiento de los E-buses; asimismo, debe diseñar espacios para ubicar la infraestructura eléctrica necesaria para recargar las baterías de los autobuses. Evaluar las capacidades de espacio y de carga eléctrica que tienen los patios existentes permitirá confirmar si son adecuados o no para la flota eléctrica a adquirir. El espacio en el patio de encierro es un tema que el Promotor deberá evaluar de manera independiente, pero la capacidad de energía disponible, así como las condiciones de la red existente dependerá de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Por lo tanto, el Promotor deberá resolver con la CFE cuestiones relacionadas tanto con el tendido de la red eléctrica adyacente al sitio, como con la potencia instalada. A partir de esta evaluación, el Promotor deberá definir si utilizarán los patios existentes o requerirán una nueva ubicación.

Las capacidades de energía que requiere un patio de encierro son grandes: por ejemplo, en el patio Júpiter que diseñó la CDMX para la Línea 3 se encuentran dos transformadores que suman 5,500 kVA. Dado estos requerimientos, es necesario considerar un proceso de gestión anticipado con CFE para revisar si la red eléctrica local puede suministrar la cantidad de energía requerida para la flota eléctrica y buscar ubicaciones en conjunto con ellos para determinar cuál de ellas será la óptima para el proyecto. Además, dado que el transporte público es considerado una prioridad alta para la movilidad de la ciudad, es indispensable conocer si en la ubicación del patio de carga, la CFE tiene redundancia; es decir, si además de la línea de alimentación preferente existe otra línea de alimentación emergente, para que el riesgo de perder energía se minimice. Dependiendo de la confiabilidad de la red, también podrían incluirse plantas de emergencia como parte de la infraestructura eléctrica del patio, que puedan alimentar parcial o totalmente a los cargadores y garantizar la disponibilidad de las unidades.

Recomendaciones: Dado que la energía eléctrica requerida en el patio de encierro de un proyecto de transporte eléctrico es considerable, es importante mencionar las diferentes metodologías para optimizar los costos de la energía. Una alternativa

es realizar las cargas durante horarios nocturnos (cuando es más bajo el precio del kWh). Asimismo, existen sistemas de gestión de energía, mismos que –cuando son considerados desde las primeras fases del proyecto–, optimizan los consumos y disminuyen los gastos operacionales generados. Por último, si un proyecto busca minimizar sus emisiones, debe obtener su energía mediante fuentes renovables a fin de reducir impactos ambientales.

3.1.6 Consideraciones en centros de transferencia de movilidad eléctrica

Dado que la inversión inicial en electromovilidad (CAPEX) implica costos considerables en infraestructura eléctrica, los gobiernos (federal y subnacionales) desempeñan un papel clave en la promoción de la infraestructura de carga para el transporte público. Un ejemplo destacado es el caso de Shenzhen (China), donde se han establecido diversos centros de carga en toda la ciudad y a lo largo de las rutas de transporte para cargar los autobuses lo más cerca posible de sus rutas y aprovechar los tiempos de descanso disponibles. Estas inversiones, financiadas tanto por el sector público como por asociaciones público-privadas, han contribuido significativamente a reducir los costos iniciales para implementar autobuses eléctricos en diversas rutas. Algunos de estos centros, inicialmente destinados a cargar taxis, minibuses y vehículos de última milla, se han abierto posteriormente al público en general y se han diseñado para garantizar la comodidad de los usuarios con servicios como baños, salas de espera, cafeterías y WiFi. En este sentido, estos nodos se han convertido en centros de transferencia modal que incentivan la movilidad eléctrica.

3.1.7 Consideraciones en la Infraestructura de los Centros de Transferencia Modal (CETRAM)

En este apartado, se presentan algunas consideraciones para poder dotar a los CETRAM de infraestructura eléctrica, con el objetivo de convertirlos en nodos de conexión para el transporte eléctrico, ya sea con BRT eléctricos, corredores y/o rutas de transporte colectivo.

3.1.7.1 Consideraciones en la infraestructura civil

- ◆ **Requisitos de infraestructura:** La implementación de autobuses eléctricos requiere el desarrollo de una infraestructura dedicada a la carga eléctrica en los centros de transferencia modal y en los corredores viales de las rutas de autobuses. Esto puede requerir, en algunos casos, la instalación de estaciones de carga a lo largo de las rutas, lo que a su vez conlleva mejoras en las redes eléctricas y la provisión de infraestructura de apoyo. Por lo tanto, se deben considerar los aspectos de infraestructura civil necesarios para llevar a cabo este proceso. En el caso de la infraestructura eléctrica, los cargadores suelen ser equipos pesados, lo que determinará las especificaciones de cimentación en el proyecto, así como los requisitos de ductos subterráneos para las conexiones eléctricas y de comunicación.
- ◆ **Pavimentación:** La infraestructura asociada a la construcción de los Centros de Transferencia Modal debe tener en cuenta el peso, el tamaño y las características de rendimiento de los autobuses eléctricos, que son más pesados que los autobuses convencionales.
- ◆ **Carriles exclusivos:** En los Centros de Transferencia Modal, se debe promover la construcción de carriles exclusivos para vehículos eléctricos, facilitando tanto la carga eléctrica como la operación diurna de estas unidades dentro de los CETRAM.
- ◆ **Intermodalidad:** Los Centros de Transferencia Modal son lugares idóneos para fomentar la intermodalidad, es decir el uso de diferentes medios de transporte para optimizar un viaje. Esto conlleva también a la optimización de los sistemas de transporte y por ende

a la reducción de los GEI y otros contaminantes, promoviendo la eficiencia en rutas y por consiguiente haciendo el transporte público más atractivo.

3.1.7.2 Consideraciones para la infraestructura electromecánica

- ♦ **Infraestructura de carga:** el desarrollo de la infraestructura de carga requiere una consideración cuidadosa de los requisitos de la carga eléctrica, la selección de la tecnología de la estación de carga y la provisión de energía de respaldo, así como la redundancia para garantizar la confiabilidad, requiere de un diseño arquitectónico que prevea los sistemas de protección, espacios para los equipos eléctricos y de carga de autobuses y taxis eléctricos. En este sentido, se debe considerar los espacios adecuados para la instalación y puesta en marcha de los equipos de carga, ya sea en el patio de encierro o a lo largo de la ruta.
- ♦ **Gestión de energía:** El despliegue de autobuses eléctricos requiere una gestión cuidadosa de los requisitos de energía para garantizar que la infraestructura de carga no sobrecargue la red eléctrica y para optimizar el uso de fuentes de energía renovable donde estén disponibles.

Recomendaciones: El despliegue de vehículos eléctricos para el transporte público requiere una cuidadosa consideración de una variedad de factores técnicos y de ingeniería, incluidos aspectos de ingeniería civil como el diseño de vialidades, consideraciones ambientales, así como aspectos de ingeniería eléctrica y mecánica en el despliegue y uso de baterías, infraestructura de carga y sistemas de administración de la energía eléctrica. Estas consideraciones deben ser tomadas en cuenta al momento de evaluar un proyecto de inversión que fomente la electromovilidad en un Centro de Transferencia Modal.

3.2 Fase 2. Análisis socioambiental

3.2.1 Análisis Ambiental

El transporte eléctrico se presenta como una oportunidad clave para avanzar en el cumplimiento de los objetivos ambientales, tanto a nivel local como nacional, al ofrecer un medio de transporte libre de emisiones locales y con un menor impacto ambiental en comparación con los vehículos de combustión interna.

La viabilidad técnica actual de los autobuses eléctricos amplifica los beneficios socioambientales de esta tecnología, ya que representa un medio de transporte limpio con mayores oportunidades para integrar mejoras en seguridad, accesibilidad y comodidad, dado su motor programable. La incorporación de autobuses eléctricos en los proyectos de transporte contribuye a crear entornos más saludables y habitables en comparación con los autobuses diésel o de gas natural. Otros beneficios son:

- ♦ Reducción en la emisión de ruido durante la operación de las unidades de transporte eléctrico.
- ♦ Reducción en la emisión de contaminantes criterio y de CO₂.
- ♦ Menor vibración en las unidades, tanto para pasajeros como para conductores.
- ♦ Menor emisión de calor proveniente del motor.
- ♦ Mejora de la salud pública.

- ◆ Alineación con proyectos integrales de movilidad sustentable, tales como zonas cero emisiones.
- ◆ Integración con otros modos de transporte, entre otros.

Asimismo, la disponibilidad de estudios y análisis ambientales específicos puede aumentar la atracción de los proyectos de transporte eléctrico para la obtención de financiamiento tanto de fuentes nacionales como internacionales, como lo es el Fondo Verde del Clima, lo que en última instancia facilita una implementación más eficaz de los proyectos.

Recomendaciones: Para realizar un análisis ambiental efectivo que pueda ser considerado por fondos verdes al promover proyectos de transporte eléctrico, es esencial seguir un enfoque estructurado. Esto incluye definir objetivos ambientales claros, evaluar el impacto ambiental en comparación con alternativas de combustión interna, destacar los beneficios socioambientales, como la mejora de la calidad de vida y la salud pública, y analizar la viabilidad técnica de la tecnología eléctrica. Además, se debe identificar medidas de mitigación, cumplir con regulaciones ambientales, documentar resultados con métricas cuantitativas y, si es necesario, realizar estudios específicos para medir parámetros como emisiones de CO₂ y niveles de ruido. Finalmente, es crucial buscar financiamiento de fuentes verdes y demostrar un compromiso constante con la sostenibilidad en todas las etapas del proyecto.

3.2.2 Análisis de Inclusión Social

El transporte urbano, es un servicio público fundamental, ya que tiene como objetivo principal proporcionar una movilidad equitativa para todos los ciudadanos, democratizando la accesibilidad de servicios en una ciudad. En consecuencia, cualquier sistema de transporte público debe priorizar el bienestar común, ofreciendo un servicio de alta calidad que esté disponible para todos los ciudadanos, sin importar su situación económica, social o de género. Para lograrlo, es esencial poner a las personas en el centro de las decisiones, asegurando su seguridad, comodidad, accesibilidad y equidad a lo largo de sus desplazamientos en los sistemas de transporte en todo el país.¹⁴

Comprendiendo las características generales del transporte público, es esencial reconocer que la transición tecnológica en los autobuses de transporte no debe limitarse únicamente a la adopción de la electromovilidad, dejando de lado los aspectos sociales. Por el contrario, esta evolución tecnológica debe ser vista como una oportunidad para fortalecer la conexión entre las dimensiones social y ambiental, añadiendo un valor significativo. Esto contribuirá a mejorar la calidad de vida de la población y asegurar un enfoque integral en el proceso de cambio.

El fomento y la promoción de la transición del transporte público hacia la electromovilidad deben incorporar criterios que garanticen que cada proyecto de transporte eléctrico en México cumpla con estándares mínimos que aseguren un servicio no solo libre de emisiones, sino que también garantice seguridad, accesibilidad y comodidad para todos los sectores de la sociedad, incluyendo a los más vulnerables, como niños, mujeres, adultos mayores y personas con discapacidad; para lo cual se recomienda la Guía de Recomendaciones para el Transporte Accesible en el Sector Turístico¹⁵ que incluye requerimientos mínimos para la accesibilidad universal aplicables al Transporte urbano.

¹⁴ Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP) (2018). Metodología para la evaluación socioeconómica de proyectos de transporte masivo.

¹⁵ Guía de Recomendaciones para el Transporte Accesible en el Sector Turístico, SECTUR, 2019.

Estos aspectos se traducen en:

- ◆ Conocer las características sociodemográficas de los actuales usuarios y usuarias, así como los potenciales.
- ◆ Identificar los grupos vulnerables usuarios de la ruta de transporte y sus patrones de viaje, a fines de determinar estrategias de atención a necesidades específicas, tales como la definición de un porcentaje de unidades del total de la flota que contenga todos o algunos de los siguientes elementos: rampas, acceso a nivel de piso, acceso y espacio para sillas de ruedas y/o carriolas, espacios disponibles para carga, disposición de espacios preferenciales, rutas con horarios específicos, medidas de seguridad como cámaras, botones de pánico, entre otros.
- ◆ Coordinación con entidades responsables de desarrollo urbano y espacios públicos para identificar medidas de confort y seguridad de las personas usuarias en los entornos cercanos al proyecto de transporte eléctrico, tales como iluminación, áreas de descanso, paradas, etc.
- ◆ Analizar la integración de tarifas sociales para determinados grupos de población: mujeres, estudiantes, adultos mayores, personas con discapacidad, entre otros.

Recomendaciones: Para realizar un análisis social efectivo que pueda ser apreciado por fondos sostenibles en proyectos de transporte, es crucial priorizar la equidad y la accesibilidad, asegurando que el servicio sea asequible y accesible para todos los ciudadanos. Además, es fundamental poner a las personas en el centro de las decisiones del proyecto, centrándose en su seguridad, comodidad y necesidades durante sus desplazamientos. La transición tecnológica hacia la electromovilidad debe considerar tanto aspectos sociales como ambientales, y se deben establecer estándares mínimos que garanticen un servicio seguro y cómodo para todos, incluyendo grupos vulnerables.

Para lograr esto, es esencial identificar a los usuarios y grupos vulnerables, coordinarse con entidades de desarrollo urbano, considerar tarifas sociales y documentar de manera cuantitativa el impacto positivo en la calidad de vida de la población. Al seguir estas pautas, los Promotores de proyectos de transporte pueden presentar un análisis social completo que refuerce la equidad y la accesibilidad, lo que incrementará las posibilidades de obtener el apoyo de fondos sostenibles interesados en proyectos socialmente responsables y la movilidad eléctrica.

3.2.3 Análisis de Género

La vida urbana y la utilización de los espacios públicos son experimentadas de manera distinta por hombres y mujeres, debido a los roles y estereotipos de género que recaen sobre cada uno. Consecuencia de estos roles y estereotipos es que las necesidades y patrones de movilidad de mujeres y hombres son diferentes, ya que sus necesidades y motivaciones para su uso varían. Sin embargo, en la mayoría de los casos, los proyectos y las obras públicas no toman en cuenta estas diferencias y continúan siendo planificados según un estándar masculino que no considera las necesidades de las mujeres en diferentes etapas de su vida.

El reconocimiento de estas diferencias es esencial para asegurar la verdadera universalidad de la prestación de servicios públicos, como el transporte. Esto implica no solo garantizar la accesibilidad desde una perspectiva física en los autobuses y la infraestructura, sino también adoptar una perspectiva inclusiva que aborde las brechas de desigualdad de género, sociales y económicas

que aún existen entre mujeres y hombres. Además, debemos considerar la vulnerabilidad que enfrentan las usuarias del transporte público, no solo dentro de los vehículos, sino también en sus entornos circundantes en términos de seguridad.

Por lo anterior, y con la finalidad de considerar las diferencias en el acceso y uso del transporte público es necesario transversalizar la perspectiva de género en la planeación de sistemas de transporte público, ya que esta metodología permite identificar, cuestionar y valorar la discriminación, desigualdad y exclusión de las mujeres en diversos ámbitos, entre ellos el uso y disfrute de los servicios públicos como el transporte.

En consecuencia, los proyectos de transporte eléctrico deberán considerar lo siguiente para incorporar efectivamente la perspectiva de género.

- ◆ Realizar diagnósticos de género para entender las diferencias en el acceso y uso del transporte público en cada ciudad, así como las dinámicas entre mujeres y hombres en espacios públicos.
- ◆ Medidas de seguridad al interior de las unidades de transporte eléctrico, tales como cámaras, botones de pánico, e incluso, estrategias para la prevención y atención de violencia contra las mujeres por parte de las empresas operadoras como primer-respondientes.
- ◆ Analizar y determinar horarios de operación que atiendan las características de los viajes de las mujeres (viajes encadenados y no siempre respondiendo a las horas pico estándar).
- ◆ Ubicación de las estaciones y terminales a distancia adecuadas con accesibilidad, considerando aspectos no sólo de distancias, sino características de iluminación y espacios para accesibilidad de rampas para el uso de carriolas, sillas de ruedas y otros elementos que facilite el uso del transporte público de mujeres y/o personas que desempeñan labores de cuidado y que así lo requieran.
- ◆ Calidad de servicio aceptables: contar con al menos el 25% de la flota eléctrica con elementos de accesibilidad de rampas y/o pisos bajos, al menos el 10% de las unidades con espacios para la ubicación de elementos de carga como bultos o maletas, así como carriolas¹⁶.
- ◆ Pronóstico de la demanda para el proyecto: incluir en el análisis de la demanda, datos desegregados por sexo.
- ◆ La incorporación de mujeres en el ámbito laboral desde puestos directivos, administrativos, de operación y mantenimiento.
- ◆ Identificar asociaciones de la sociedad civil y/u organismos internacionales que trabajen en temas de igualdad de género en el transporte público para establecer alianzas.
- ◆ Creación de sistemas de evaluación y monitoreo para dar seguimiento a cada uno de los temas vinculados con el género (seguridad, horarios de movilidad desagregados por sexo, calidad del servicio, inclusión de mujeres en el sector, etc.).

***Recomendaciones:** Para llevar a cabo un análisis de género efectivo en proyectos de transporte eléctrico, se deben considerar varias recomendaciones clave. En primer lugar, se debe promover la inclusión de mujeres en roles laborales diversos, desde*

¹⁶ Es importante considerar, que la recomendación aquí está pensada para los mínimos indispensables. Cada proyecto se debe evaluar en lo particular, para definir las características de accesibilidad que los autobuses deben tener, ya que es probable que, para rutas al Aeropuerto, o en zonas comerciales, más espacio se ceda para equipaje y/o bultos. Adicionalmente, las rampas de accesibilidad están siendo incorporadas en el 100% de la flota en algunos sistemas de transporte, como es el caso de TransMetro en Nuevo León, y Metrobús en la Ciudad de México.

puestos directivos hasta operativos. Además, es esencial implementar medidas de seguridad dentro de los vehículos y en los entornos circundantes para abordar la violencia de género y garantizar la seguridad de las usuarias. También se deben ajustar los horarios de operación para atender las necesidades específicas de las mujeres, y las estaciones y terminales deben estar diseñadas con accesibilidad y seguridad en mente. Asimismo, se debe garantizar que una parte de la flota sea accesible, con rampas y espacios para la carga de carriolas y maletas. La segregación de datos por género en el análisis de la demanda y la capacitación del personal son prácticas clave. Finalmente, se debe fomentar la participación de la comunidad y la evaluación continua para asegurar que las medidas de género sean efectivas. Al seguir estas recomendaciones, los Promotores de proyectos de transporte eléctrico pueden abordar de manera integral las necesidades y la seguridad de las personas usuarias, lo que aumentará la probabilidad de obtener el apoyo de fondos sostenibles interesados en la equidad de género y la inclusión social.

Fase 3. Estructuración financiera

3.2.4 Financiamiento para proyectos de transporte eléctrico: estructura y componentes requeridos

Los proyectos de movilidad eléctrica requieren de un análisis exhaustivo de los esquemas de adquisición de activos y contratación de servicios, dado que se trata de una tecnología innovadora que, a pesar de su implementación exitosa en varios países, aún conlleva riesgos en su operación y mantenimiento. Además, es importante tener en cuenta que la inversión inicial en autobuses suele ser un 25% a 50% más elevada en comparación con autobuses convencionales, aunado al costo de la infraestructura eléctrica y de carga.¹⁷

En el contexto de la adquisición de autobuses eléctricos cero emisiones, en México es posible considerar un subsidio inicial para estos vehículos, con la expectativa de que los ahorros se obtendrán durante la fase operativa. En general, los costos relacionados con el combustible pueden reducirse hasta en un 65%, dado que la energía eléctrica es más económica que el diésel y experimenta menos volatilidad en los precios del mercado. Asimismo, los costos de mantenimiento de las unidades pueden disminuir hasta en un 50%, gracias a que los motores eléctricos generan menos fricción y movimiento, lo que reduce el desgaste de los componentes electromecánicos. Por lo tanto, se recomienda llevar a cabo un análisis integral conocido como el Costo Total de la Propiedad (TCO, por sus siglas en inglés) en estos proyectos.

En esta sección, se presenta un esquema conceptual que permite identificar los componentes del sistema de autobuses eléctricos que deben ser adquiridos, contratados o concesionados. Varios estudios, como el llevado a cabo por el Programa C40 *Cities Finance Facility* en México, han demostrado que, al considerar el Costo Total de la Propiedad (CTP), algunos autobuses eléctricos se sitúan en el mismo rango de precios a lo largo de su ciclo de vida que los autobuses diésel.¹⁸

3.2.5 Modelos de adquisición de autobuses eléctricos

El modelo tradicional en México, para la operación de autobuses requiere que el operador de los autobuses sea al mismo tiempo el propietario de las unidades, en este esquema la inversión inicial y los costos de operación recaen totalmente en la empresa operadora, por lo que es difícil mitigar

¹⁷ *Adapting Procurement Models for Electric Buses in Latin America*. J. Orbea, S. Castellanos, et al. TRR. December 2019.

¹⁸ *Análisis de Tecnologías Eléctricas para el Corredor Eje 8 Sur*, Cities Finance Facility (CFF). Diciembre 2018.

los riesgos que la nueva operación de autobuses eléctricos traería al sistema. Adicionalmente, las empresas operadoras, ya sean del gobierno o del sector privado, cuentan con poco capital para realizar fuertes inversiones iniciales para la adquisición de la flota, por lo que, en ocasiones, un esquema de arrendamiento de unidades ha resultado la vía que facilita la transición a autobuses eléctricos.

Con base en el contexto mencionado sobre la adquisición de flota de transporte público, en específico de transporte eléctrico en México, se plantean dos modelos básicos para la adquisición de autobuses para prestar el servicio público de pasajeros:

- A. Modelo clásico, donde la propiedad de los autobuses es también del operador de los autobuses.** Siendo este el típico modelo concesional o de empresas públicas operadoras de transporte.
- B. Modelos contractuales, donde se separa la propiedad de los autobuses de la operación.** Este segundo modelo está siendo ejecutado exitosamente en varias partes del mundo como Inglaterra, Singapur, Chile, y Colombia. Las ventajas de separar la propiedad de los diversos elementos del sistema de autobuses eléctricos, ayuda a amortiguar la inversión inicial y distribuir la responsabilidad del mantenimiento de los autobuses, baterías e infraestructura eléctrica con las compañías que tengan mayor experiencia en el tema, y solvencia económica, ayudando a mitigar riesgos en la adopción del nuevo sistema eléctrico.¹⁹

La siguiente tabla muestra estos dos modelos, para el segundo caso, hay dos vertientes: 2A) donde la empresa operadora sigue siendo la propietaria de los autobuses, el mantenimiento y la gestión, dando cabida a otra empresa en la operación de la infraestructura eléctrica y la energía; y 2B) donde se estructura una empresa arrendadora de los autobuses, que sería contratada por el fideicomiso del sistema, esta nueva modalidad empresarial se está denominando BusCo (*Bus Procurement Company*, por su nomenclatura en inglés).

Estructuración Contractual para Sistemas de Transporte Urbano Eléctrico				
Elementos del Sistema	Modelo Clásico		Modelo de Separación de la propiedad	
	1		2A	2B
Autobuses eléctricos	Empresa Operadora		Empresa Operadora	Empresa Arrendadora (BusCo)
Mantenimiento				
Conductores				
Gestión de la Operación				
Energía/Combustible			Empresa de Energía (ESP)	
Infraestructura de Recarga	Gobierno	Empresa Operadora		
Patios de Encierro		Gobierno	Gobierno	
Recaudo/Subvenciones	Empresa Operadora		Fideicomiso	Fideicomiso

Fuente: Elaboración Grupo E-Mobilitas, 2021.

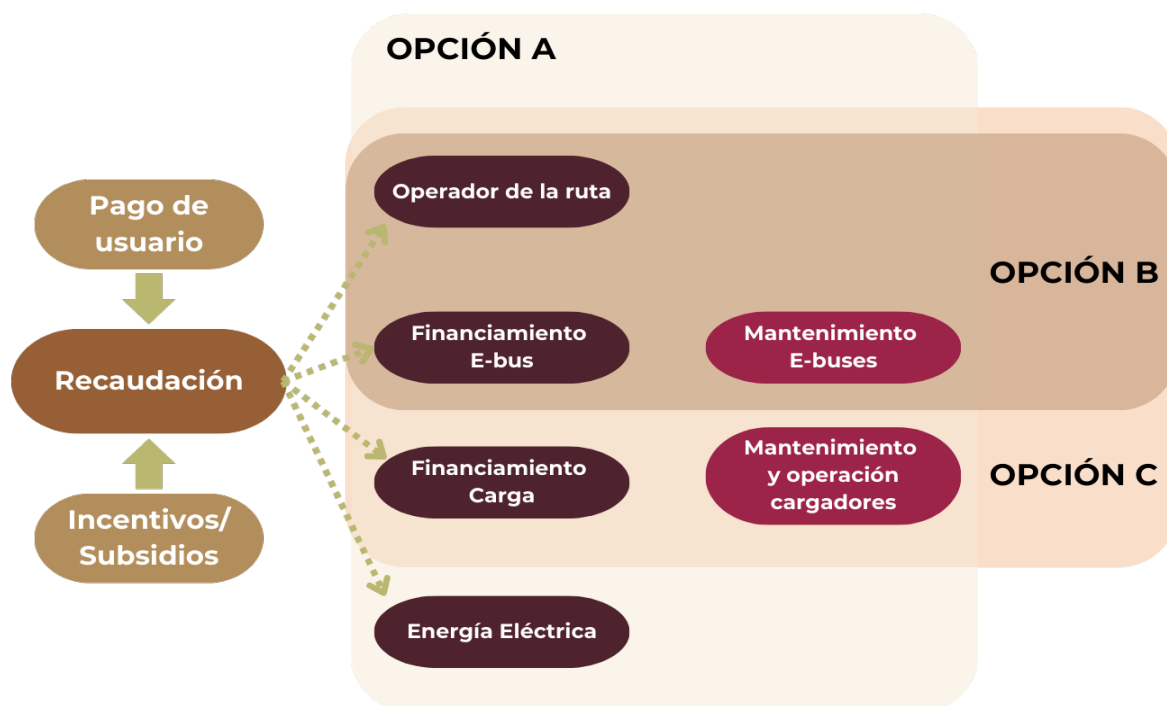
¹⁹ Instrumentos financieros para la inversión en proyectos de transporte público con vehículos de bajas emisiones en México C40 Cities Finance Facility, 2020

Es importante aclarar que, los proyectos de transporte eléctrico siempre tienen dos elementos fundamentales para su operación, que se diferencian respecto a los proyectos convencionales, y que deben considerarse cuando se estructura el modelo financiero:

1. **Infraestructura de carga.** Generalmente requieren una inversión importante dentro del patio o en vía (pantógrafos) para la instalación de los cargadores que suministran la energía de los autobuses. Este componente está ligado al esquema operacional, al modelo de negocio para el suministro y adquisición de la energía.
2. **Energía Eléctrica.** Para el suministro de este componente, por lo general, depende de una red estable de energía en la zona de patio o ruta, y juega un rol importante para el diseño del modelo de negocio para la entidad (empresa privada o gobierno) que será responsable de suministrar la energía.

Dado que los proyectos de transporte eléctrico impactan positivamente al entorno, traduciéndose en múltiples beneficios ambientales y sociales, respecto a lo que provee un sistema convencional de transporte de combustión interna, es imprescindible que adopten el mejor modelo de negocio para cada proyecto, considerando los alcances presupuestales, metas ambientales, capacidades técnicas y sostenibilidad de este.

Es una realidad que los proyectos de movilidad eléctrica son catalizadores de innovación en diferentes modelos de negocio, donde se busca la sostenibilidad financiera de los proyectos. Los Promotores deben identificar los modelos de negocio que mejor se ajuste a las necesidades del proyecto y donde establezcan el mayor beneficio para la autoridad, las empresas involucradas y los usuarios, partiendo de la inversión de las unidades, infraestructura eléctrica y suministro de la energía. Hay experiencias que reflejan negociaciones para tarifas de energía más bajas en cargas nocturnas.



Fuente: Elaboración Grupo E-Mobilitas, 2023.

En la figura anterior se pueden ver algunos modelos de negocio que han sido utilizados en México, y se explican a continuación:

La Opción A en la figura, es donde la responsabilidad total del proyecto la toma una entidad, es decir, esta entidad es responsable de la adquisición de la flota, su operación, hasta la instalación de la infraestructura de carga. Esta es la opción que usó Jalisco en su proyecto MiTransporte Eléctrico de 38 autobuses eléctricos. Donde tomó la responsabilidad total, desde el arrendamiento de autobuses, su operación y la instalación de la infraestructura eléctrica en los patios del Sistema de Tren Eléctrico Urbano (SITEUR).²⁰

La Opción B en la figura, es cuando se dividen las responsabilidades entre el sector público y el privado: la compra de los autobuses eléctricos, así como la operación de los mismo, lo realiza una empresa privada. En consecuencia, la entidad estatal se queda con la responsabilidad de instalar y operar la infraestructura de carga eléctrica, al igual que proveer la energía requerida por los E-Buses, este es el caso del proyecto IE-Tram en Mérida.²¹

La Opción C en la figura, se da cuando la compra de los E-buses, su operación y la instalación de la infraestructura eléctrica de carga necesaria, los ejecuta una empresa integradora (usualmente del sector privado), dejando la proveeduría de la energía eléctrica en responsabilidad de la entidad estatal. Este esquema se está empleando en Metrorrey, para sus autobuses en TransMetro.²²

En México, los modelos de negocio en este sector dependen en gran medida de los planes y recursos disponibles por parte del Estado. Se han considerado diversas estructuras empresariales para llevar a cabo la implementación de proyectos, en los cuales el Gobierno puede estar involucrado en su totalidad, aportando inversión inicial parcial, o completa, al proyecto. Asimismo, se han explorado fuentes de financiamiento y la participación del sector privado, incluso a través de esquemas de arrendamiento, que pueden aplicarse a la adquisición de autobuses eléctricos.

Existen diferentes opciones de financiamiento disponibles en México para implementar proyectos de electromovilidad y transporte sostenible tanto a nivel municipal como estatal. Se recomienda que las ciudades evalúen las fuentes disponibles, incluyendo subvenciones, transferencias, reservas municipales y apoyo de bancos de desarrollo nacionales, entre otras opciones.²³

²⁰ Gobierno de Jalisco, SITEUR. 2023. disponible: <https://www.siteur.gob.mx/index.php/noticias/item/mi-transporte-electrico-celebra-segundo-ano-de-operaciones>

²¹ Gobierno del Estado de Yucatán, "Ruta eléctrica IE-Tram", Yucatán, México, 2023, disponible en línea: <https://vayven.yucatan.gob.mx/rutaietram>

²² Movilidad Eléctrica Latinoamérica y el Caribe, "Nuevo León lanzó licitación de 98 autobuses eléctricos", Organización de las Naciones Unidas programa para el medio ambiente, disponible en línea: <https://movelatam.org/nuevo-leon-lanzo-licita-98-autobuses-electricos/>

²³ Modelos y fuentes de financiación para proyectos de movilidad de cero emisiones en México, Reporte del C40 Cities Finance Facility (CFF), 2020.

ANEXO 1.

ELEMENTOS CLAVE A CONSIDERAR EN LA ELABORACIÓN DE PROYECTOS DE TRANSPORTE ELÉCTRICO (CHECKLIST)

A continuación, se enlistan elementos clave a considerar en la estructuración de proyectos de transporte eléctrico. Este checklist está diseñado para guiar a los Promotores de Proyectos de Transporte Eléctrico en México a través de las diversas etapas de la estructuración de proyectos de transporte eléctrico. Estas fases incluyen:

Fase 1: Identificación. En esta fase se identifica el corredor potencial para el transporte eléctrico. Esto implica la evaluación de las características del corredor, la revisión de normas y lineamientos, la investigación sobre la oferta de E-buses y cargadores, así como la revisión de la capacidad de la red eléctrica en la zona.

Fase 2: Planeación. La planeación se centra en la realización de estudios de transporte, modelos operacionales, financieros y de emisiones contaminantes. También se analizan las alternativas de E-Bus, se selecciona la infraestructura necesaria, y se calcula el número de E-buses requeridos. Se considera la carga eléctrica en esta etapa, al igual que los temas ambientales, sociales y de género.

Fase 3: Estudios de factibilidad (pre-inversión). Durante esta fase se revisan los indicadores de operación y rentabilidad, el diseño operacional, el modelo de transporte y financiero, y se establecen esquemas de financiamiento. De igual manera, en esta etapa se deben realizar los estudios ambientales, sociales y de género del proyecto. También se selecciona la tecnología de carga y se evalúa el proceso de construcción de la infraestructura eléctrica.

Fase 4: Implementación. En la fase de implementación, se lleva a cabo la construcción de la infraestructura, incluyendo las estaciones de recarga y la conexión de los cargadores. Se adquieren los E-buses, se capacita al personal y se realizan pruebas de funcionamiento y carga.

Fase 5: Monitoreo y evaluación. Finalmente, la fase de seguimiento se centra en la estructuración de indicadores para monitorear el proyecto en curso. Esto incluye fuentes de información, indicadores de conducción, georreferenciación de las unidades y comparación de especificaciones técnicas con resultados reales.

Este *checklist* proporciona una guía para cada fase del proyecto de transporte eléctrico, asegurando que todos los aspectos clave se tengan en cuenta durante la planificación, implementación y seguimiento del proyecto de transporte eléctrico.

ID	Fase	Fase componente	Nivel de completado
1	Identificación	Identificación del corredor potencial (eléctrico)	
	1.1	Características del corredor (longitud, velocidad, pendientes)	
	1.2	Evaluación del corredor en función de los componentes técnicos para ruta eléctrica (índices limitantes, máximas pendientes, longitudes máximas, terrenos óptimos)	
	1.3	Revisión de normas, manuales y lineamientos	
	1.3	Revisión de oferta de E-buses (tipos, tamaños, marcas, especificaciones técnicas.	
	1.4	Revisión de oferta de cargadores.	
	1.5	Revisión de red eléctrica y capacidad de la red en zona de influencia del corredor.	
	1.3	Revisión del tipo, tamaño y tecnología de baterías.	
	1.4	Revisión de la tecnología de tipos de recarga.	
	1.8	Revisión de costo de E-buses e infraestructura	
	1.9	Revisión de presupuestos	
	1.10	Estudios de pre-inversión	
	1.11	Revisión de tipos de licitación (selección de componentes a licitar)	
	1.12	Revisión de esquemas de financiamiento	
	1.13	Revisión de vendedores de energía	
	1.14	Identificación de patios potenciales cercanos al corredor	
	1.15	Revisión de pendientes en el corredor.	
	1.16	Realización de pruebas a unidades en operación real (generación de indicadores comparativos y de seguimiento)	

ID	Fase	Fase componente	Nivel de completado
2	Planeación	Realización de estudios de transporte	
	2.2	Realización del modelo de transporte	
	2.3	Realización del modelo operacional	
	2.4	Realización del modelo financiero	
	2.5	Realización del modelo comparativo de emisiones contaminantes	
	2.6	Análisis de alternativas (Selección del tipo de E-Bus)	
	2.7	Análisis de infraestructura	
	2.7.1	Selección de tipo de recarga	
	2.7.2	Selección de componentes por tipo de recarga	
	2.7.3	Selección de tipo de cargador	
	2.8	Cálculo de número de E-buses	
	2.9	Consideraciones para la carga eléctrica	
3	Estudios de Factibilidad	Revisión de indicadores de operación	
	3.1	Revisión de indicadores de rentabilidad	
	3.2	Revisión del diseño operacional	
	3.3	Revisión del modelo de transporte	
	3.4	Revisión del modelo financiero	
	3.4.1	Esquema de financiamiento	
	3.4.2	Costo de los E-buses	
	3.4.3	Esquema de adquisición de E-buses, energía e infraestructura	
	3.4.4	Plazos de créditos	
	3.5	Revisión de la selección de tecnología	
	3.5.1	Tipo de cargador	

ID	Fase	Fase componente	Nivel de completado
3	Estudios de Factibilidad	Revisión de indicadores de operación	
	3.5.2	Tipo de recarga	
	3.6	Esquema de remuneración	
	3.7	Proceso de construcción de la obra de infraestructura eléctrica	
	3.7.1	Capacidad del patio	
	3.7.2	Valoración del patio	
	3.7.3	Estudios Ambientales	
	3.7.4	Análisis de Inclusión Social	
	3.7.5	Análisis de Género	
4	Implementación	Construcción de la obra	
	4.1	Corredor (pantógrafos si aplica)	
	4.1.1	Estaciones de recarga	
	4.1.2	Conexión de los cargadores	
	4.1.3	Alimentación eléctrica de las estaciones de carga	
	4.1.4	Instalación y funcionalidad de la infraestructura eléctrica	
	4.1.5	Distribución de los espacios de las estaciones de recarga en el patio	
	4.2	Proceso de adquisición de E-buses	
	4.2.1	Comprar E-buses (tiempo)	
	4.2.2	Proceso de revisión de especificaciones técnicas	
	4.2.3	Proceso de recibimiento de las unidades	
	4.3	Capacitación	
	4.3.1	Condiciones de los productos (infraestructura y E-buses)	

ID	Fase	Fase componente	Nivel de completado
4	Implementación	Construcción de la obra	
	4.3.2	Capacitación a personal operativo para conducir las unidades	
	4.3.3	Capacitación al personal de mantenimiento	
	4.3.4	Capacitación para el manejo de la infraestructura de recarga (proceso de cargado)	
	4.4	Proceso de pruebas y condiciones de infraestructura	
	4.4.1	Pruebas de carga de E-buses (cargadores)	
	4.4.2	Pruebas de conducción en corredor	
	4.4.3	Pruebas dinámicas (autonomía) de las unidades en corredor	
5	Monitoreo y Evaluación	Estructuración de indicadores	
	5.1	Fuentes de información (telemática y monitoreo de consumo de energía)	
	5.2	Indicadores de técnicas de conducción	
	5.3	Georreferenciación de las unidades y seguimiento de kilometraje día	
	5.4	Comparación de especificaciones técnicas vs real	

NA - Nulo Avance o consideración

AP - Avance Mínimo Parcial

AM - Avance Medio

C- Completado

