



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ECONOMÍA

**ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA
IMPLEMENTACIÓN DE BUSES
ELÉCTRICOS EN EL CORREDOR
AV. INSURGENTES, LÍNEA 1
DEL SISTEMA METROBÚS**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN ECONOMÍA**

P R E S E N T A

HÉCTOR SORIANO LILY

**ASESOR:
LIC. JOSÉ ISAÍAS MORALES NÁJAR**



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., Noviembre 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A mis padres Héctor y Olivia, por su apoyo incondicional, agradezco cada uno de los consejos que me han dado en momentos difíciles de mi vida, gracias por haberme educado en una familia llena de amor y respeto, por su amistad y comprensión; creo que las palabras se quedan cortas para expresar lo agradecido que estoy con ustedes, por todo lo que han luchado para poder brindarme las oportunidades de concluir una parte de mi proyecto de vida.

Espero estén orgullosos de mí y nunca defraudarlos.

Siempre tengan en mente que los amo.

A mi hermana Daniela, por su amistad y por llevar unidad a la familia, espero darte un buen ejemplo y que sigas cumpliendo tus metas, ahí estaré para apoyarte y motivarte.

A Miriam, a pesar de no estar en esta etapa de mi vida, quiero agradecerte por confiar en mí, hacerme feliz y siempre motivarme en cada proyecto de mi vida. Viviré eternamente agradecido.

A Alejandro Casanto, gracias por compartir tus conocimientos, consejos y regaños que fueron factores claves para realizar este trabajo; y sobre todo gracias por tu amistad.

A Isaías Morales Nájar, por su valioso tiempo, comprensión y sus disponibilidad para poder elaborar este trabajo.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN GENERAL	6
Planteamiento del problema	6
Justificación.....	7
Objetivos	11
Objetivo General	11
Objetivos específicos	12
Alcances y limitaciones	12
Alcances	12
Limitantes	13
CAPÍTULO 1. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA METROBÚS	14
1.1 Introducción	14
1.2 Antecedentes BRT	14
1.3 Sistema Metrobús	16
1.3.1 Estructura organizacional del Sistema Metrobús.....	17
1.3.2 Red del Sistema Metrobús	25
 Corredor Av. Insurgentes	25
 Corredor Eje 4 Sur	26
 Corredor Eje 1 poniente.....	26
 Corredor Buenavista-San Lázaro-Aeropuerto Terminales 1 y 2.....	27
 Corredor Eje 3 Oriente - Av. Ing. Eduardo Molina.....	28
 Corredor Eje 5 Norte - Av. Montevideo.....	28
 Corredor: Av. Paseo de la Reforma	29
1.3.3 Afluencia del Sistema Metrobús	31
1.3.4 Tarifa del sistema.....	32
1.3.5 Flota actual del Sistema Metrobús	33
1.4 Evolución del pago por kilómetro	41
1.5 Evolución de las variables utilizadas en la actualización del Pago por km	48
1.6 Situación financiera del sistema Metrobús	54

1.7 Hitos relevantes.....	57
CAPÍTULO 2. ESTUDIOS TCO ENFOCADOS EN TECNOLOGÍAS SUSTENTABLES PARA TRANSPORTE	59
2.1 Introducción	59
2.2 Antecedentes del modelo TCO.....	59
2.3 Modelo TCO para sector transporte.....	61
2.4 Modelos TCO enfocados en transporte público	63
2.5 Estudios TCO para transporte público en México	70
2.6 Hitos Relevantes	74
CAPÍTULO 3. MODELO TCO-MB.....	75
3.1 Introducción	75
3.2 Modelo TCO-MB	75
3.3 Metodología del modelo TCO-MB	76
3.4 Resultados modelo TCO-MB Escenario 1	92
3.4.1 Análisis comparativo del costo e ingreso por km durante la vida útil	95
3.4.2 Indicadores de rentabilidad de los escenarios 1 y 2	96
3.4.3 Análisis sensibilidad de actualización de pago por kilometro	99
3.6 Conclusiones.....	102
4. CONCLUSIONES GENERALES	104
BIBLIOGRAFÍA.....	107

ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS Y ANEXOS

Figuras

Figura 1. Empresas Concesionarias	19
Figura 2. Estructura de fideicomiso Metrobús	24
Figura 3. Plano esquemático sistema Metrobús.....	30
Figura 4. Afluencia de pasajeros sistema Metrobús (millones de pasajeros)	32
Figura 5. Evolución de la tarifa del sistema Metrobús	33
Figura 6. Descripción de la flota Sistema Metrobús 2019	34
Figura 7. Evolución del pago por kilómetros buses articulados línea 1 (\$/km)	43
Figura 8. Evolución del pago por kilómetros buses biarticulados línea 1 (\$/km).....	44
Figura 9. Evolución del pago por kilómetro línea 2-7 del sistema Metrobús (\$/km)	45
Figura 10. Evolución del precio de diésel y tipo de cambio	51
Figura 11. Evolución del INPC	52
Figura 12. Ingresos y egresos del Fideicomiso No.6628 (Millones de pesos)	55
Figura 13. Egresos del Organismos Público Descentralizado Metrobús 2012-2018 (millones de pesos).....	57

Figura 14. Pestaña "Inputs" del Modelo TCO-MB	88
Figura 15. Pestaña "Vectores" del Modelo TCO-MB	89
Figura 16. Pestaña "TCO" del Modelo TCO-MB	90
Figura 17. Pestaña "R&E" del Modelo TCO-MB.....	91
Figura 18. Resultados TCO escenario 1 y 2	94
Figura 19. Costo e ingreso por km escenario 1y 2	96

Tablas

Tabla 1. Empresas de peaje en el sistema Metrobús.....	20
Tabla 2. Flota Línea 1- Corredor Av. Insurgentes	35
Tabla 3. Flota Línea 2-Corredor Eje 4 Sur	37
Tabla 4. Flota Línea 3 – Corredor Eje 1 poniente.....	39
Tabla 5. Flota Línea 4 – Buenavista-San Lázaro-Aeropuerto Terminales 1 y 2.....	39
Tabla 6. Flota Línea 5 – Eje 3 Oriente - Av. Ing. Eduardo Molina.....	40
Tabla 7. Flota Línea 6 – Eje 5 Norte - Av. Montevideo	40
Tabla 8. Flota Línea 7 – Av. Paseo de la Reforma.....	41
Tabla 9. Composición de costos sistema TransMilenio, Bogotá.....	46
Tabla 10. Indicadores de rentabilidad Escenarios 1 y 2	98
Tabla 11. Análisis de sensibilidad del pago por kilómetro	101

Anexos

Anexo 1. Pago por kilómetro histórico sistema Metrobús	110
Anexo 2. Resultados Modelo TCO-MB Escenario 1: Bus eléctrico.....	113
Anexo 3. Resultados Modelo TCO-MB Escenario 1: Bus Convencional	114
Anexo 4. Resultados Modelo TCO-MB Escenario 2: Bus eléctrico.....	115
Anexo 5. Resultados Modelo TCO-MB Escenario 2: Bus Convencional	116
Anexo 6. Análisis comparativo de sensibilidad en pago por km y costo por km CISA	117
Anexo 7. Análisis comparativo de sensibilidad en pago por km y costo por km RECSA	118

INTRODUCCIÓN GENERAL

Planteamiento del problema

El sistema Metrobús es el segundo organismo de transporte público más importante de la Ciudad de México solo detrás del Sistema de Transporte Colectivo Metro, en 2018 transportó diariamente un promedio de 1.17 millones de pasajeros. Dicha demanda representa un reto importante para el sistema en cuanto a calidad del servicio y capacidad oferta. El sistema Metrobús es un sistema Bus Rapid Transit (BRT por sus siglas en inglés) el cual, a través de diversos corredores con carriles confinados ofrecen el servicio de transporte público por medio de diversos tipos de buses: articulados (18m), biarticulados (28m), piso bajo (12m) y doble piso.

Por naturaleza, los buses utilizados en el sistema tienen un tiempo de vida útil, lo cual provoca la necesidad de renovar el parque vehicular cada cierto periodo de tiempo. Actualmente se encuentran en operación en el corredor Av. Insurgentes de la línea 1 del sistema Metrobús, 17 buses con 14 años en de antigüedad, un bus con 13 años de antigüedad, 32 buses con 11 años en operación y 7 buses más con 10 años de antigüedad; del total de la flota antes mencionada el 49% pertenece a la concesionaria Corredor Insurgentes, S.A. de C.V. (CISA), el 37% a Corredor Insurgentes Sur Rey Cuauhtémoc, S.A. de C.V. (RECSA) y el restante a RTP. Con base en el contrato de concesión en el que se estipula una vida útil de las unidades que presten servicios en el corredor de máximo diez años, por lo que el parque vehicular antes mencionado deberá sustituirse en los próximos años.

Dicha situación genera la necesidad de realizar un estudio técnico y económico de las posibles nuevas unidades que sustituirán a flota actual, por lo que se requiere realizar un análisis comparativo de todos los costos inmersos en cada una de las tecnologías disponibles con el fin de identificar la opción que permita reducir costos a largo plazo y genere externalidades positivas al sistema Metrobús. Adicionalmente, se requieren planear nuevos esquemas de negocios y políticas

públicas que permitan sentar las bases para la transición futura de un sistema de transporte público sustentable en el sistema Metrobús.

Justificación

En ese contexto, algunas ciudades alrededor del mundo han comenzado a implementar nuevas tecnologías en sus sistemas de movilidad derivado de compromisos enfocados en la mitigación del cambio climático por medio de metas que incluyen entre otras cuestiones, la mejora en la calidad de aire, reducción de emisiones de carbono, la reducción de la flota vehicular de transporte privado y desarrollo de proyectos en materia de electromovilidad para el transporte público.

El principal país enfocado en sistemas de electromovilidad en el mundo es China, ostentando el título del mayor productor y consumidor de vehículos eléctricos, para poner en contexto, en el 2017 en el mundo había una flota de buses eléctricos cercana a 385 mil de los cuales el 99% se localizan en China (Bloomberg New Energy Finance, 2018). La importancia de China en el tema de electromovilidad se ve reflejada en ciudades como Shenzhen, la cual tiene una flota de transporte público 100% eléctrica conformada aproximadamente por 16,500 buses eléctricos de la marca BYD; Beijing con 1,400 buses aproximadamente en 2017 y con un objetivo de 10,000 para 2020 (Bloomberg New Energy Finance, 2018).

En otra la misma región asiática, en Singapur, la autoridad de transporte de Singapur (Land Transport Authority, LTA por sus siglas en inglés) realizó la compra de 60 buses eléctricos para sus rutas de transporte en el año 2018; 20 camiones fueron comprados al fabricante BYD por un monto de \$17 millones de Singapur dólar, 20 unidades de doble piso provistas por ST Engineering Land Systems, con una suma cercana a los S\$15 millones de Singapur dólar; las 20 unidades restantes fueron adquiridas a la empresa Yutong-NARI Consortium por un contrato de S\$18 millones de Singapur dólar.

Por otro lado, en Europa han comenzado con la transición a buses eléctricos en los sistemas de transporte; países como Holanda, en el que actualmente operan con una flota de 100 buses eléctricos que brindan servicios en la región de Amstelland-Meerlanden, adicionalmente existen proyectos en materia de electromovilidad en ciudades como Eindhoven, Rotterdam y Den Haag HTM; en el sistema de transporte público RATP de París, Francia; se planea la incorporación de 4,500 buses eléctricos para el año 2025. En Londres, U.K., se espera que a mediados del 2019 se incorporen cerca de 90 buses eléctricos y adicionalmente se plantean implementar políticas a partir del 2020 con el fin de incentivar a que todos los nuevos modelos de buses deberán ser cero emisiones. Otras ciudades también se encuentran en el proceso de transición de su flota de transporte público cero emisiones, tal es el caso de Hamburgo, Berlín y Colonia en Alemania; entre otros países como Noruega y Suecia.

En Estados Unidos, Los Ángeles Country Metropolitan Transportation Authority planea la incorporación de 2,200 eléctricos para el año 2030 en la ciudad de Los Ángeles, Estados Unidos.

Asimismo, en la región de Sudamérica la transición de hacia las energías limpias en el transporte público ha sido destacable, tal es el caso de la Red Metropolitana de Movilidad en la ciudad de Santiago, Chile; en el cual se incorporaron 200 unidades de buses eléctricos de la marca Yutong y BYD a través de un nuevo esquema de negocios leasing en el cual empresas como Enel y Engie financiaron la adquisición de las unidades eléctricas y adicionalmente proveerán los servicios eléctrico e infraestructura de carga a cambio de una contraprestación de las empresas operadoras. Dichas adquisiciones responden a uno de los ejes “electromovilidad” de su Ruta Energética 2018-2022.

En Colombia se adquirieron 64 buses eléctricos de para el transporte público de Medellín; en la ciudad de Calí se incorporaron 26 buses eléctricos zonales y se plantea la incorporación de al menos 100 buses articulados eléctricos para el sistema MIO. Por último, en el sistema Transmilenio comenzará un proceso de

licitación para la fase V del SITP (sistema integrado de Transporte Público) que comprende la adquisición de al menos 594 buses eléctricos, cabe mencionar que se han realizado pruebas de buses eléctricos articulados 18 m de la marca BYD, dichos modelos se asemejan a los buses articulados que actualmente circulan en el sistema Metrobús y Transmilenio; tras meses de pruebas y monitoreo se obtuvieron ahorros de hasta un 42% en combustibles y 83% en mantenimientos lo que vuelve altamente atractivo la implementación de unidades eléctricas en el sistema Transmilenio.

Dada la experiencia internacional anterior, se rescatan a continuación algunos factores favorables en la incorporación buses eléctricos.

- Bajos costos totales de la propiedad en comparación con unidades diésel, lo cual provoca ahorros en los costos operacionales siendo este factor uno de los más fuertes para la implementación de unidades eléctricas.
- Disminución en los costos de mantenimiento con respecto buses con tecnologías convencionales, se debe en gran medida por los componentes de los buses eléctricos los cuales no cuentan con diferenciales y caja de cambios, por lo que no requieren cambios de aceites o filtros.
- El precio de la energía eléctrica es más bajo en comparación con el precio del diésel, adicionalmente el precio de la electricidad es menos volátil respecto al diésel.
- Reducción de ruido y gases contaminantes, generando externalidades positivas en la población.
- La disminución del precio de la batería (litio-ion) componente esencial en el precio final de los autobuses eléctricos, Bloomberg New Energy Finance (2018) pronostica que en el año 2030 el precio de los autobuses eléctricos se igualara con el precio de los buses convencionales, debido a la disminución del costo de la batería representando alrededor del 8% del precio de un e-bus en comparación con el 26%, porcentaje que representaba en 2016. Este factor vuelve más atractivo la incorporación de

unidades eléctricas debido a la reducción en los costos de sustitución de las baterías eléctricas.

Barreras a la entrada de buses eléctricos:

- Los altos costos iniciales de las unidades eléctricas es una de las principales barreras que se enfrentan los sistemas de transporte público en la transición hacia sistemas de transporte eléctrico, debido a la incapacidad financiera de los concesionarios para hacer frente a grandes montos de inversiones iniciales.
- Los buses eléctricos requieren infraestructura de carga para operar lo cual significa altos costos de capital.
- No existe gran variedad de proveedores de dichas tecnologías.
- Escasez de información que permita la evaluación costo-beneficio, la planificación de infraestructura y características operacionales que favorezcan en la toma de decisiones.
- Al ser una nueva tecnología los proveedores se enfrentan a curvas de aprendizaje lo cual provoca riesgos no cuantificables.

La hipótesis central de esta investigación es que la implementación de unidades eléctricas en el corredor Av. Insurgentes de la línea 1 del sistema Metrobús es una opción económicamente sostenible tanto para el Sistema Metrobús como para los concesionarios a través de la reducción de costos de operativos y con ello una actualización en el pago por kilómetro que permita la sostenibilidad financiera del sistema y la redistribución de los egresos públicos por concepto de subrogaciones del organismo público Metrobús.

Para probar la hipótesis se realiza un modelo de costos totales de propiedad o tenencia que pretende comparar los costos de capital y operativos durante la vida útil de las unidades eléctricas y diésel, permitiendo cuantificar las ventajas y desventajas de cada tecnología.

En este sentido, el presente trabajo se estructura en 4 apartados, además de la presente introducción. En el primer capítulo se describe la estructura operacional de sistema Metrobús, la conformación del parque vehicular, la situación financiera del sistema, la evolución del pago por kilómetro y la evolución de las subrogaciones. Dicho análisis centra su estudio en la evolución de los costos operacionales de los concesionarios y su repercusión en el sistema; se muestra un panorama actual de los ingresos y egresos del sistema Metrobús, así como el estado actual del parque vehicular próximo renovar.

En el segundo capítulo se hace una revisión histórica de los principales estudios en materia de evaluación de alternativas tecnológicas de buses y en específico, estudios enfocados al costo total de la propiedad que permitan realizar un comparativo a largo plazo de los costos asociados a cada una de las tecnologías a evaluar.

En el tercer capítulo, se presenta una descripción del marco metodológico utilizado para la elaboración del modelo TCO para la implementación de buses eléctricos en el corredor Av. Insurgentes línea 1 del sistema Metrobús. El objeto de este capítulo es desglosar cada una de las variables utilizadas para la construcción del modelo, identificando las fuentes de información, conceptos y definiciones, que permitan sentar la base del modelo a realizar.

En el último apartado se presentarán los resultados del modelo y se realizará un análisis comparativo de las diversas tecnologías acompañado de una serie de propuestas que permitan la viabilidad del proyecto de electromovilidad.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un análisis económico-técnico para la incorporación paulatina de buses eléctricos en el sistema de transporte público Metrobús con el fin de lograr una

reducción en los costos operativos de los concesionarios y con ello una mejora en la situación financiera del sistema Metrobús.

Objetivos específicos

- Demostrar la conveniencia técnica y económica de la incorporación de tecnologías eléctricas en corredor Av. Insurgentes de línea 1 del sistema Metrobús.
- Identificar los beneficios económicos para sistema Metrobús a través de la actualización del pago por kilómetro para unidades eléctricas.
- Estimar costos totales de la propiedad de buses eléctricos y contrastarlos con buses de tecnologías convencionales.
- Demostrar la reducción de costos operativos (combustible y mantenimiento) de la tecnología eléctrica respecto a la convencional.
- Proponer nuevos modelos de negocios que permitan la incorporación de buses eléctricos en el sistema Metrobús.

Alcances y limitaciones

Alcances

El presente estudio busca determinar la viabilidad técnica y económica de la incorporación de buses eléctricos en el sistema Metrobús, por lo que la investigación tiene los siguientes alcances.

- Análisis estructural del sistema Metrobús y esquema de negocios con concesionarios.
- Evaluación de los efectos económicos en la implementación de los buses eléctricos en la situación financiera del sistema Metrobús.
- Análisis comparativo de costos totales de la propiedad de tecnologías convencionales y eléctricas.
- Elaboración de propuestas de modelo de negocios para la incorporación de buses eléctricos en el sistema Metrobús.

- Análisis de la actualización del pago por kilómetro de los buses eléctricos.

Limitantes

- El estudio está desarrollado para los servicios de transporte BRT, por lo que no es significativo para otro tipo de servicios de transporte público debido a los diferentes esquemas de negocios y la infraestructura en la cual prestan el servicio de transporte público.
- Información limitada para el desarrollo de la evaluación técnica y económica de buses eléctricos.
- La evaluación económica no contempla beneficios sociales en costos de salud que la Ciudad de México obtendría por la reducción de emisiones contaminantes.
- Las variables utilizadas para la evaluación económica de las diferentes tecnologías consideran datos de diversos proyectos pilotos.
- No contempla inversiones de infraestructura ni reemplazo de batería en la evaluación de costos de buses eléctricos.

CAPÍTULO 1. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA METROBÚS

1.1 Introducción

En este primer capítulo se desarrolla un análisis estructural del funcionamiento del sistema Metrobús y la relación entre las empresas concesionarias, haciendo énfasis en la estructura de costos operacionales de los concesionarios y su impacto en la situación financiera del sistema. Para ello, se comparan algunos esquemas de costos de sistemas Bus Rapid Transit (BRT por sus siglas en inglés) y se realiza una revisión financiera del sistema Metrobús.

En la primera parte del capítulo se analizará la estructura operacional del Sistema Metrobús, describiendo las funciones de cada uno de los participantes en el sistema tales como: órgano regulador (Metrobús), empresas concesionarias, empresas de peaje, empresas proveedoras de SAE (Sistema de Ayuda a la Explotación) y Fideicomiso de Administración y pago No. 6628. Asimismo, se incluirán datos operacionales como afluencia, tarifa, pago por kilómetro y flota.

En la segunda parte del capítulo se dará una descripción de la problemática actual del Sistema Metrobús, el análisis se enfocará en la evolución de los costos operativos específicamente en combustible y mantenimiento de las unidades que afectan directamente en la estructura de costos de las empresas concesionarias y en las actualizaciones del pago por kilómetro.

Por último, se analizará la evolución financiera del sistema Metrobús a través del Fideicomiso No. 6628 y el presupuesto público del organismo Metrobús.

1.2 Antecedentes BRT

El Sistema de Autobuses de Tránsito Rápido (BRT por sus siglas en inglés, Bus Rapid Transit) es un sistema de alta calidad basado en buses que proporcionan

movilidad urbana rápida cómoda y de relación favorable costo-beneficios a través de la provisión de infraestructura de carriles segregados, operación rápida y frecuente y excelencia en mercadeo y servicio al cliente (Wright & Hook, 2007).

Los sistemas BRT se caracterizan principalmente por la similitud a un transporte masivo en rieles, pero con costos de 4 a 20 veces menores que un sistema de tranvía o tren ligero y de 10 a 100 veces menos que un sistema de transporte colectivo metro (Wright & Hook, 2007).

Wright & Hook (2007) señalan las características mínimas requeridas en un sistema BRT completo:

- Carriles segregados o carriles exclusivos;
- Localización de los carriles en el carril central;
- Existencia de una red integrada de rutas y corredores;
- Estaciones cómodas, seguras y protegidas contra el clima, adicionalmente que proporcionan acceso a nivel entre la plataforma y el piso del vehículo;
- Recaudo y verificación antes del abordaje;
- Integración física y tarifaria entre rutas, corredores y servicios de alimentadores;
- Entrada al sistema es restringida a operadores prescritos bajo una estructura de negocios y administrativa;
- Identidad de mercadeo distintiva para el sistema.

Los primeros corredores para buses con carriles propios comenzaron a ser implementado en Perú en 1972 con la nueva autopista urbana de la Av. Independencia. Posteriormente en el año 1974 se inauguran los servicios expresos en Curitiba, Brasil. América latina ha sido pionero en sistemas de movilidad BRT, antes de los años 90's se implementaron en ciudades de Brasil como São Paulo, Recife, Fortaleza, Porto Alegre entre otras.

En el año 2000 en Bogotá, Colombia; comenzó operaciones el sistema Transmilenio el cual es considerado uno de los sistemas BRT más grandes del mundo. Ciudades como Santiago, Chile; Buenos Aires, Argentina; y Ciudad de México se han sumado a la implementación de sistemas BRT en las últimas décadas.

En la actualidad existen 170 ciudades con sistemas BRT en operación y alrededor de 5,060 km de corredores a lo largo del mundo (BRT DATA, 2019). Adicionalmente, se planea la construcción en 121 ciudades y su expansión 55 ciudades más (BRT DATA, 2019).

1.3 Sistema Metrobús

El 24 de septiembre de 2004 la Secretaría de Transportes y Vialidad publicó en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el aviso de creación del sistema de transporte público denominado Corredores de Transporte Público de Pasajeros del Distrito Federal, que cuentan con las siguientes características:

“... un sistema de transporte masivo y/o colectivo, con operación regulada, recaudo centralizado, que operan de manera exclusiva en vialidades con carriles reservados para el transporte público, total o parcialmente confinados, que cuentan con paradas predeterminadas y con infraestructura para el ascenso y descenso de pasajeros, en estaciones ubicadas a lo largo de los recorridos, con terminales en su origen y destino, con una organización para la prestación del servicio como personas morales”.

(Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2004, pág. 34)

Posteriormente, se creó el Organismo Público Descentralizado Metrobús (el Organismo) a través del decreto publicado en la gaceta oficial del Distrito Federal (ahora Ciudad de México) el 9 de marzo de 2005, cuyo objeto principal es la planeación, administración y control del Sistema de Corredores de Transporte Público de Pasajeros de la Ciudad de México Metrobús (Sistema Metrobús).

El organismo tiene las siguientes atribuciones:

- *“Auxiliar técnicamente a los prestadores del servicio en la planeación de sus estrategias;*
- *Establecer los criterios de coordinación con las demás dependencias y los diferentes órganos de la Administración Pública;*
- *Proyectar y supervisar las obras del Sistema;*
- *Conservar, mejorar y vigilar el Sistema;*
- *Dictar y vigilar las políticas de operación del Sistema, de acuerdo con los lineamientos jurídicos aplicables en la materia;*
- *Fijar las normas de operación del Sistema;*
- *Proponer la tarifa del Servicio;*
- *Controlar permanentemente los recorridos de todos y cada uno de los vehículos vinculados al Sistema;*
- *Supervisar la correcta operación y mantenimiento del Sistema;*
- *Procurar el desarrollo tecnológico del Sistema;*
- *Mantener la disposición necesaria para el adecuado uso y desarrollo del Sistema;*
- *Coordinar la implementación de nuevos sistemas de recaudo;*
- *Las demás que le confieran las disposiciones legales aplicables y los que sean para el cumplimiento de su objetivo.” (Gobierno del Distrito Federal, 2005)*

1.3.1 Estructura organizacional del Sistema Metrobús

Organismo regulador

El Organismo Público Descentralizado Metrobús es responsable de la planeación, gestión y control del Sistema de Corredores de Transporte Público de Pasajeros (CTPP) de la Ciudad de México, asumiendo el papel de entidad reguladora, por medio de la definición de condiciones de operación, desarrollo de infraestructura,

sistemas de control, regulación, sistemas de pago, recaudo y distribución de ingresos, y política de subsidios y exenciones.

Empresas concesionarias

Las empresas concesionarias son aquellas que se encargan de la adquisición, mantenimiento y operación de los buses que son utilizados en el sistema.

Los concesionarios que operaban en las vialidades que se declararon como CTPP, cuentan con la prioridad en el otorgamiento de concesiones para participar en Metrobús, siempre y cuando se constituyan como Sociedades Mercantiles y se ajusten a las normas de operación que establezca Metrobús.

Las empresas concesionarias reciben una participación en el corredor en el cual se estipula el parque vehicular con el que deberá contar incluyendo las unidades de reserva para cubrir el mantenimiento y otras eventualidades¹.

Los concesionarios reciben a cambio un pago por la prestación del servicio de transporte público denominado “pago por kilómetro”², el cual está en función de los kilómetros ofertados en el sistema, dicho pago debe permitir a los concesionarios cubrir con sus costos totales de operación y garantizar una utilidad.

Adicionalmente, las empresas operadoras reciben un financiamiento para cubrir el costo del parque vehicular, las concesionarias aportan como mínimo el 20% del valor de adquisición de las unidades y el 80% restante es financiado a través de un crédito con un plazo de 5 años cuyo pago se encuentra garantizado por el patrimonio del fideicomiso³.

Una vez amortizado el financiamiento, a partir del mes 61 de la vigencia de la concesión, se entrega un monto mensual equivalente a dividir el 80% del valor de adquisición de los autobuses inicialices entre 60 meses con el propósito de conformar un fondo para la renovación del parque vehicular inicial; el 50% de ese

¹ Cláusula Décima Quinta de la concesión STV/METROBÚS/002/2008.

² Cláusula Cuadragésima Primera, inciso a. de la concesión STV/METROBÚS/002/2008.

³ Cláusula Cuadragésima Segunda de la concesión STV/METROBÚS/002/2008.

monto será entregado al operador y el 50 % se depositará a su nombre en un fondo como parte del fideicomiso⁴.

Figura 1. Empresas Concesionarias

Concesionaria	Fecha de Concesión	Vigencia
 <ul style="list-style-type: none"> •Corredor Insurgentes S.A. de C.V. •Vanguardia y Cambio S.A. de C.V. •Red de Transporte de Pasajeros (RTP) •Corredor Insurgentes Sur Rey Cuauhtémoc S.A. de C.V. •Corredor EJE 4-17M, S.A. de C.V. 	<p>Junio-2005 y Prorroga Junio-2012 Junio-2005 y Prorroga Enero-2008 y Prorroga</p>	<p style="text-align: center; font-size: 2em;">10 años</p>
 <ul style="list-style-type: none"> •Corredor EJE 4-17M, S.A. de C.V. •Cop Corredor Oriente Poniente, S.A. de C.V. •Transporto SaJi, S.A. de C.V. •CTTSA Corredor Tepalcates Tacubaya, S.A. de C.V. 	<p>Diciembre-2008 y prorroga</p>	
 <ul style="list-style-type: none"> •Movilidad Integral de Vanguardia, S.A.P.I. de C.V. 	<p>Diciembre-2010</p>	
 <ul style="list-style-type: none"> •Conexión Centro Aeropuerto, S.A. de C.V. 	<p>Enero-2012</p>	
 <ul style="list-style-type: none"> •Corredor Integral de Transporte Eduardo Melina CITEMSA S.A. de C.V. 	<p>Noviembre-2013</p>	
 <ul style="list-style-type: none"> •Corredor EJE 4-17M, S.A. de C.V. •Curva Villa Ixtacala CURVIX, S.A. de C.V. •Corredor Antenas - Rosario, S.A. de C.V. 	<p>Enero-2016</p>	
 <ul style="list-style-type: none"> •Sky Bus Reforma S.A. de C.V. •Operadora Línea 7 S.A. de C.V. 	<p>Julio-2016</p>	

Fuente: Elaboración propia con datos de Metrobús

⁴ Cláusula Cuadragésima Primera, inciso b. de la concesión STV/METROBÚS/002/2008.

Empresa de peaje

Cada línea cuenta con los servicios de una empresa de peaje, las cuales son responsables de la instalación, operación y mantenimiento de los sistemas de recaudo y medios de pago del sistema. Asimismo, dichas empresas son las encargadas de recolectar los ingresos que se generen por la prestación del servicio de transporte y canalizarlos a la cuenta especial del fideicomiso de administración y pago No. 6628.

El pago por la prestación del servicio de peaje se realiza con cargo al patrimonio del fideicomiso a través de un convenio de adhesión previa aprobación del comité técnico del fideicomiso.

Tabla 1. Empresas de peaje en el sistema Metrobús

Línea	Empresas de peaje	Fecha de contrato
1	Promotora Inbursa, S.A. de C.V. / Conduent	16 de junio de 2005 y diversos modificatorios.
2	Idear Electrónica, S.A. de C.V. / BEA	19 de junio de 2015 y diversos modificatorios.
3	Mobiliario Innovación y Diseño, S.A. de C.V. / Thales	20 de diciembre de 2010 y diversos modificatorios.
4	Promotora Inbursa, S.A. de C.V. / Conduent	21 de diciembre de 2011 diversos modificatorios
5	ACS Solutions de México, S.A. de C.V. / Conduent	28 de junio de 2013
6	Promotora Inbursa, S.A. de C.V. / Conduent	28 de mayo de 2015 y diversos modificatorios
7	Thales México, S.A. de C.V.	16 de diciembre de 2016

Fuente: Elaboración propia con datos de Metrobús

Empresa de SAE (Servicios de Ayuda a la Explotación)

El SAE (servicios de ayuda a la explotación), tiene como objetivo mejorar el rendimiento del sistema en términos de tiempo de viaje, confiabilidad, control, eficiencia operacional y seguridad; a través de tecnologías que permitan la gestión de la red.

Actualmente la empresa Promotora de Negocios, AV & RL, S.A. de C.V. es la encargada de proveer el SAE a todas las líneas del sistema Metrobús a cambio de una contraprestación mensual con cargo al patrimonio del fideicomiso No. 6628.

La primera fase para la implementación del SAE en el sistema comenzó en las líneas 1, 2, 3, 4 y 5, con el contrato celebrado el 28 de noviembre de 2012; posteriormente el 31 de julio de 2015 se acuerda la contratación del servicio para la línea 6. Por último, con fecha 20 de enero de 2017 y previa autorización del comité técnico se firma el contrato de prestación de SAE para la línea 7 del corredor Av. Reforma.

Fideicomiso de administración, inversión y pago No. 6628

El primer antecedente del fideicomiso comenzó el 25 de febrero de 2005 con la constitución del fideicomiso No.1962 encargado de la concentración de los ingresos y la distribución de los pagos de la primera etapa del corredor Insurgentes línea 1. Los primeros fideicomitentes fueron los concesionarios Corredor Insurgentes, S.A. de C.V. y Red de Transporte de Pasajeros.

Posteriormente, el 18 de junio de 2008 se creó el Fideicomiso privado No. 6628 cuyo objetivo es la administración de los recursos que se captan por el cobro de la tarifa al usuario y recargas mediante tarjeta de prepago además de realizar las distribuciones correspondientes a las empresas concesionarias y empresas prestadoras de servicios.

Participantes del fideicomiso:

- Fiduciario: Banco interacciones, S.A., Institución de Banca Múltiple, Grupo Financiero Interacciones.
- Los Fideicomitentes iniciales: organismo regulador, RTP en calidad de empresa operadora del Eje 4 Sur y Corredor Eje 4- 17M, S.A. de C. V, en calidad de empresa operadora del Eje 4 Sur.
- Fideicomitentes adherentes:
 - Se integran al fideicomiso conforme se implanten nuevos corredores.

- Solo están relacionados con la correspondiente al corredor donde operan, para mantener independencia en las decisiones que se tomen.
- Fideicomisario único: Organismo regulador (Metrobús)

Los fideicomitentes del fideicomiso No. 1962 se adhirieron al fideicomiso no. 6628 el cual actualmente opera en el sistema Metrobús.

El patrimonio del fideicomiso está constituido por las aportaciones iniciales de los fideicomitentes; el prepago diario por venta, carga y recarga de tarjetas; productos financieros derivados de la inversión de los fondos remanente; y bienes y derechos adquiridos a favor del patrimonio del fideicomiso.

Entre las principales funciones del fideicomiso se encuentran: Contratar a los prestadores de los servicios tecnológicos y operativos del sistema de peaje y control de acceso, servicios conexos y servicios de ayuda a la explotación; realizar la distribución de los recursos entre las empresas operadoras conforme a prelación de pagos previamente establecidas en el contrato de fideicomiso:

- Honorarios fiduciarios
- Créditos o financiamientos para el pago de buses
- Servicio de peaje y control de acceso
- Servicios conexos (seguro estaciones, limpieza y energía)
- Sistema de Ayuda a la Explotación
- Mantenimiento parque vehicular de línea 4 y 7
- Pago por kilometraje a empresas concesionarias
- Participación de Metrobús
- Compensaciones, Fondo de bonificaciones y obligaciones
- Fondo de reserva.

En resumen, el fideicomiso es encargado de recibir las aportaciones, bienes, derechos, dinero efectivo, prestaciones y contraprestaciones. Las aportaciones que reciba el fiduciario las administra en forma individual y separada por cada

corredor del sistema en cada subcuenta; se registran individualmente las aportaciones o incrementos que se reciban y se encargaran de los egresos que autorice el comité técnico, siempre que estuvieran relacionadas los prestadores de servicios vinculados con el sistema.

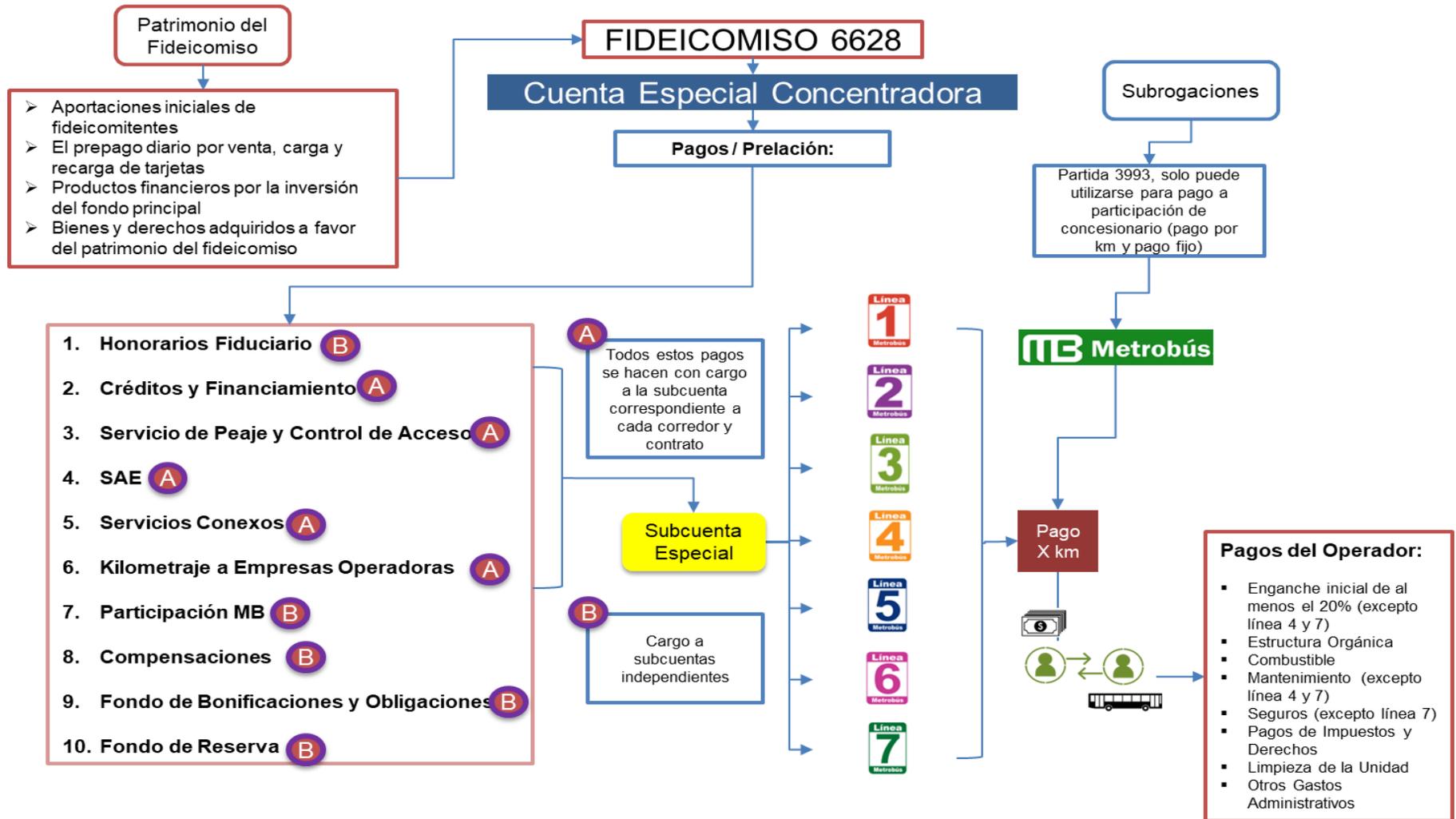
La prelación de pagos marcadas con la letra A de la Figura 2, corresponden a los pagos que se hacen a cargo de la subcuenta correspondiente de cada corredor; dichos pagos corresponden a créditos, servicios de peaje, SAE, Servicios conexos y kilometraje a empresas operadoras. La prelación de pagos de la letra B, corresponde a las subcuentas independientes y las cuales están asociadas a la participación de MB, compensaciones, fondo de bonificaciones y obligaciones; fondo de reserva y honorarios.

Asimismo, la subcuenta especial se creó para recibir el pago por kilómetro correspondiente a cada concesionaria operando en el sistema, dichas subcuentas están divididas por línea y concesionaria.

Como se puede observar en la figura 2, existen recursos provenientes de recursos públicos del sistema Metrobús los cuales son destinados para el pago por participación del kilometraje ofertado por las concesionarias en los corredores del sistema.

Para una descripción visual y detallada de la operación del Fideicomiso No. 6628, véase la Figura 2.

Figura 2. Estructura de fideicomiso Metrobús



Fuente: Elaboración propia datos de Metrobús

1.3.2 Red del Sistema Metrobús

El Sistema Metrobús actualmente está conformado por siete líneas, y cuenta con una infraestructura de aproximadamente 140 kilómetros de carriles confinados y 239 estaciones. Adicionalmente, se realiza la ampliación de la línea 5 que actualmente opera entre Río de los Remedios y San Lázaro, dicha ampliación tendrá 18.5 kilómetros y 34 estaciones entre San Lázaro y la Preparatoria 1 en la alcaldía de Xochimilco.

La conformación de líneas del sistema Metrobús:



Corredor Av. Insurgentes

- Inicio de operaciones: 19 de junio de 2005
- Terminales: Indios Verdes, Caminero, Buenavista II
- Longitud de ruta: 29 kilómetros
- Estaciones (47): Indios Verdes, Deportivo 18 de Marzo, Euzkaro, Potrero, La Raza, Circuito, San Simón, Manuel González, Buenavista I, Buenavista II, El Chopo, Revolución, Plaza de la República, Reforma, Hamburgo, Insurgentes, Durango, Álvaro Obregón, Sonora, Campeche, Chilpancingo, Nuevo León, La Piedad, Polifórum, Nápoles, Colonia del Valle, Ciudad de los Deportes, Parque Hundido, Félix Cuevas, Río Churubusco, Teatro Insurgentes, José María Velasco, Francia, Olivo, Altavista, La Bombilla, Dr. Gálvez, Ciudad Universitaria, Centro Cultural Universitario, Perisur, Villa Olímpica, Corregidora, Ayuntamiento, Fuentes Brotantes, Santa Úrsula, La Joya y El Caminero.
- Conectividad con las líneas del sistema: línea 2 en las estaciones Nuevo León y Viaducto; la línea 3 en la estación Circuito, La Raza y Buenavista; línea 4 en las estaciones Buenavista y Plaza de la República; línea 6 en la

estación Deportivo 18 de Marzo y con línea 7 en la estación Indios Verdes, Reforma y Hamburgo.



Corredor Eje 4 Sur

- Inicio de operaciones: 16 de diciembre de 2009
- Terminales: Tepalcates, Tacubaya
- Longitud de ruta: 20 km
- Estaciones (36): Tacubaya, Parque Lira, Antonio Maceo, De La Salle, Patriotismo, Escandón, Nuevo León, Viaducto, Amores, Etiopía / Plaza de la Transparencia, Doctor Vértiz, Centro SCOP, Álamos, Xola, Las Américas, Andrés Molina Enríquez, La Viga, Coyuya, Canela, Tlacotal, Goma, Iztacalco, UPIICSA, El Rodeo, Río Tecolutla, Río Mayo, Rojo Gómez, Río Frío, Del Moral, Leyes de Reforma, CCH-Oriente, Constitución de Apatzingán, General Antonio de León, Canal de San Juan, Nicolás Bravo y Tepalcates.
- Conectividad con las líneas del sistema: la línea 1 en la estación Nuevo León, y con la línea 3 en la estación Etiopía - Plaza de la Transparencia.



Corredor Eje 1 poniente

- Inicio de operaciones: 8 de febrero de 2011
- Terminales: Tenayuca, Etiopía II, Buenavista III, La Raza II
- Longitud de ruta: 17 kilómetros
- Estaciones (34): Tenayuca, San José de la Escalera, Progreso Nacional, Tres Anegas, Júpiter, La Patera, Poniente 146, Montevideo, Poniente 134, Poniente 128, Magdalena de las Salinas, Coltongo, Cuitláhuac, Héroe de Nacozari, Hospital la Raza, La Raza II, Circuito, Tolnahuac, Tlatelolco, Ricardo Flores Magón, Guerrero, Buenavista III, Mina, Hidalgo, Juárez,

Balderas, Cuauhtémoc, Jardín Pushkin, Hospital General, Doctor Márquez, Centro Médico, Obrero Mundial y Etiopía / Plaza de la Transparencia.

- Conectividad con las líneas del sistema: línea 1 en las estaciones Circuito, La Raza y Buenavista; línea 2 en la estación Etiopía / Plaza de la Transparencia; línea 4 en las estaciones Buenavista, Hidalgo y Juárez; línea 6 en la estación Montevideo; y línea 7 en la estación Hidalgo.



Corredor Buenavista-San Lázaro-Aeropuerto Terminales 1 y 2.

- Inicio de operaciones: 1 de abril de 2012
- Terminales: Buenavista IV, San Lázaro, Aeropuerto Terminales 1 y 2
- Longitud ida-vuelta: 28 km
- Estaciones por ruta (36): Norte: Buenavista, Delegación Cuauhtémoc, Puente de Alvarado, Museo San Carlos, Hidalgo, Bellas Artes, Teatro Blanquita, República de Chile, República de Argentina, Teatro del Pueblo, Morelos, Ferrocarril de Cintura, Mixcalco, Archivo General de la Nación, San Lázaro y Terminal 1 y 2

Sur: Buenavista, Delegación Cuauhtémoc, Puente de Alvarado, Plaza de la República, Glorieta de Colón, Expo Reforma, Vocacional 5, Juárez, Plaza San Juan, Eje Central, El Salvador, Isabel la Católica, Museo de la Ciudad, Pino Suárez, Las Cruces, Circunvalación, La Merced, Mercado de Sonora, Cecilio Robelo, Ing. Eduardo Molina, Hospital Balbuena, Moctezuma y San Lázaro.

- Conectividad con las líneas del sistema: línea 1 en las estaciones Buenavista y Plaza de la República, línea 3 en las estaciones Buenavista, Hidalgo y Juárez; línea 5 en las estaciones Archivo General de la Nación y San Lázaro; y línea 7 en la estación Hidalgo y Glorieta de Colón.

Nota: la tarifa de la ruta a Terminal 1 y 2 del aeropuerto tiene un costo de \$30.00 mientras que los demás destinos tienen la misma tarifa del sistema.



Corredor Eje 3 Oriente - Av. Ing. Eduardo Molina

- Inicio de operaciones: 5 de noviembre de 2013
- Terminales: San Lázaro, Río de los Remedios
- Longitud de ruta: 10 kilómetros.
- Estaciones (19): Río de los Remedios, 314 / Memorial New's Divine, 5 de Mayo, Vasco de Quiroga, El Coyol, Preparatoria 3, San Juan de Aragón, Río Guadalupe, Talismán, Victoria, Oriente 101, Río Santa Coleta, Consulado, Canal del Norte, Deportivo Eduardo Molina, Mercado Morelos, Archivo General de la Nación y San Lázaro.
- Conectividad con las líneas del sistema: línea 4 en las estaciones Archivo General de la Nación y San Lázaro, y línea 6 en la estación San Juan de Aragón.



Corredor Eje 5 Norte - Av. Montevideo

- Inicio de operaciones: 21 de enero de 2016
- Terminales: El Rosario, Villa de Aragón
- Longitud de ruta: 20 kilómetros.
- Estaciones (37): El Rosario, Colegio de Bachilleres 1, De las Culturas, Ferrocarriles Nacionales, UAM Azcapotzalco, Tecnoparque, Norte 59, Norte 45, Montevideo, Lindavista / Vallejo, Instituto del Petróleo, San Bartolo, Instituto Politécnico Nacional, Riobamba, Deportivo 18 de Marzo, La Villa, De los Misterios, Hospital Infantil La Villa, Delegación Gustavo A. Madero, Martín Carrera, Hospital General La Villa, San Juan de Aragón, Gran Canal, Casas Alemán, Pueblo San Juan de Aragón, Loreto Fabela, 482, 414, 416

Poniente, 416 Oriente, Deportivo los Galeana, Ampliación Providencia, Volcán de Fuego, La Pradera, Colegio de Bachilleres 9, Francisco Morazán y Villa de Aragón.

- Conectividad con las líneas del sistema: línea 3 en la estación Montevideo; con la línea 1 en la estación Deportivo 18 de Marzo; la línea 5 en la estación San Juan de Aragón; y línea 7 en las estaciones La Villa, De los Misterios, Hospital Infantil La Villa y Delegación Gustavo A. Madero .



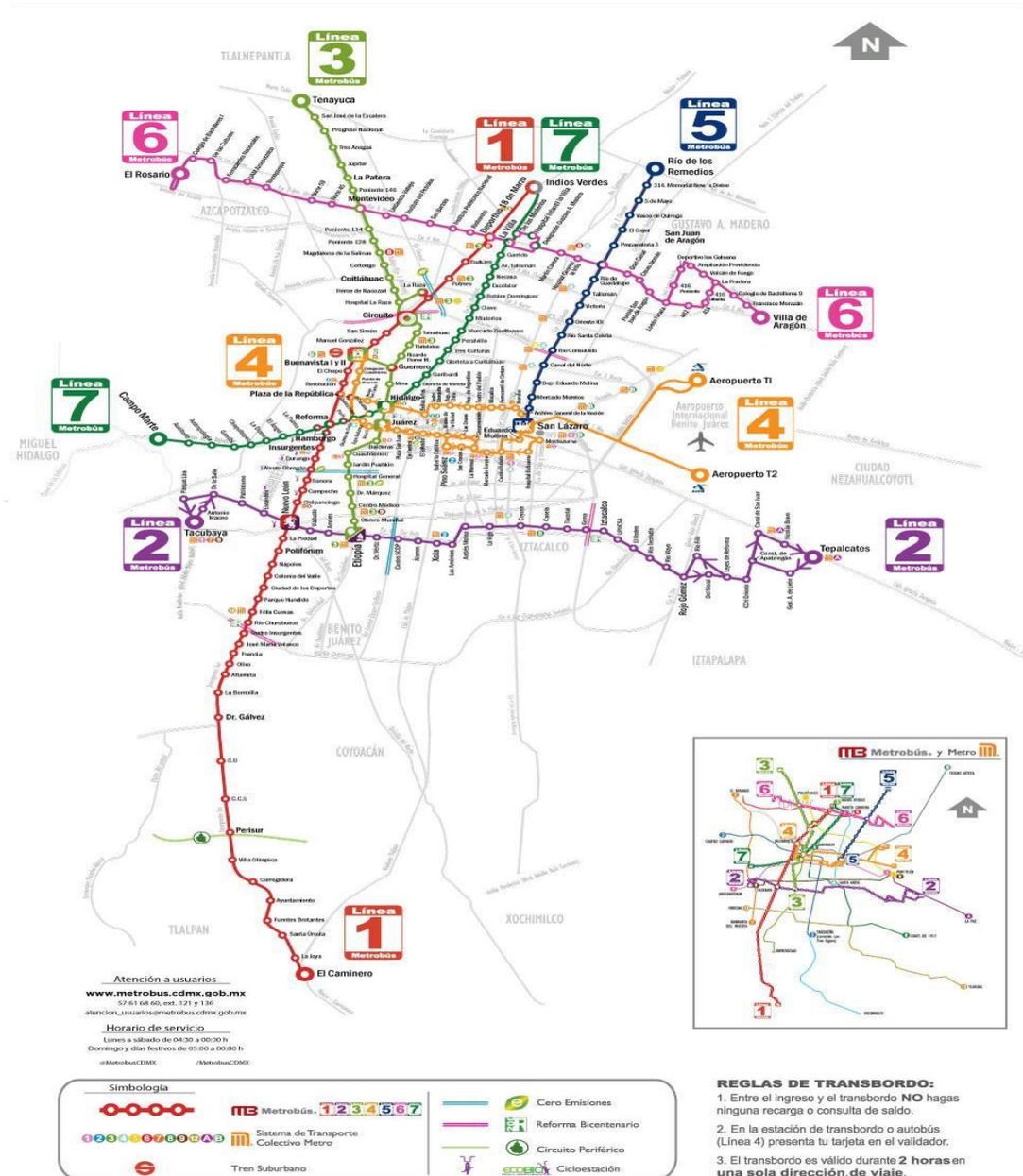
Corredor: Av. Paseo de la Reforma

- Inicio de operaciones: 6 de marzo de 2018
- Terminales: Indios Verdes , Campo Marte
- Longitud de ruta: 15 kilómetros.
- Estaciones: Indios Verdes, De Los Misterios, Hospital Infantil La Villa, Delegación Gustavo A. Madero, Garrido, Av. Talismán, Necaxa, Excélsior, Robles Domínguez, Clave, Misterios, Mercado Bethoveen, Peralvillo, Tres Culturas, Glorieta Cuitláhuac, Garibaldi, Glorieta Violeta, Hidalgo, El Caballito, Glorieta de Colón, París, Reforma, Hamburgo, La Palma, El Ángel, La Diana, Chapultepec, Gandhi, Antropología, Auditorio y Campo Marte.
- Conectividad con las líneas del sistema: línea 1 en las estaciones Indios Verdes, París, Reforma y Hamburgo; línea 3 en las estaciones El Caballito e Hidalgo; Línea 4 Ruta Norte en las estaciones El Caballito e Hidalgo, en Ruta Sur, en la estación Glorieta de Colón y la línea 6 en las estaciones Garrido, Hospital Infantil La Villa, De Los Misterios y Delegación Gustavo A. Madero.

La figura 3 muestra de forma esquemática la ubicación de las líneas del Sistema Metrobús y sus respectivas estaciones, así como la conectividad con los diversos

sistemas de transporte público como el Sistema de Transporte Colectivo Metro (Metro), Eco-bici, Tren Suburbano y corredores como Reforma Bicentenario, Circuito Periférico y corredor Cerro Emisiones, además de rutas alimentadoras de servicio colectivo (microbús y vagonetas).

Figura 3. Plano esquemático sistema Metrobús



Fuente: Metrobús

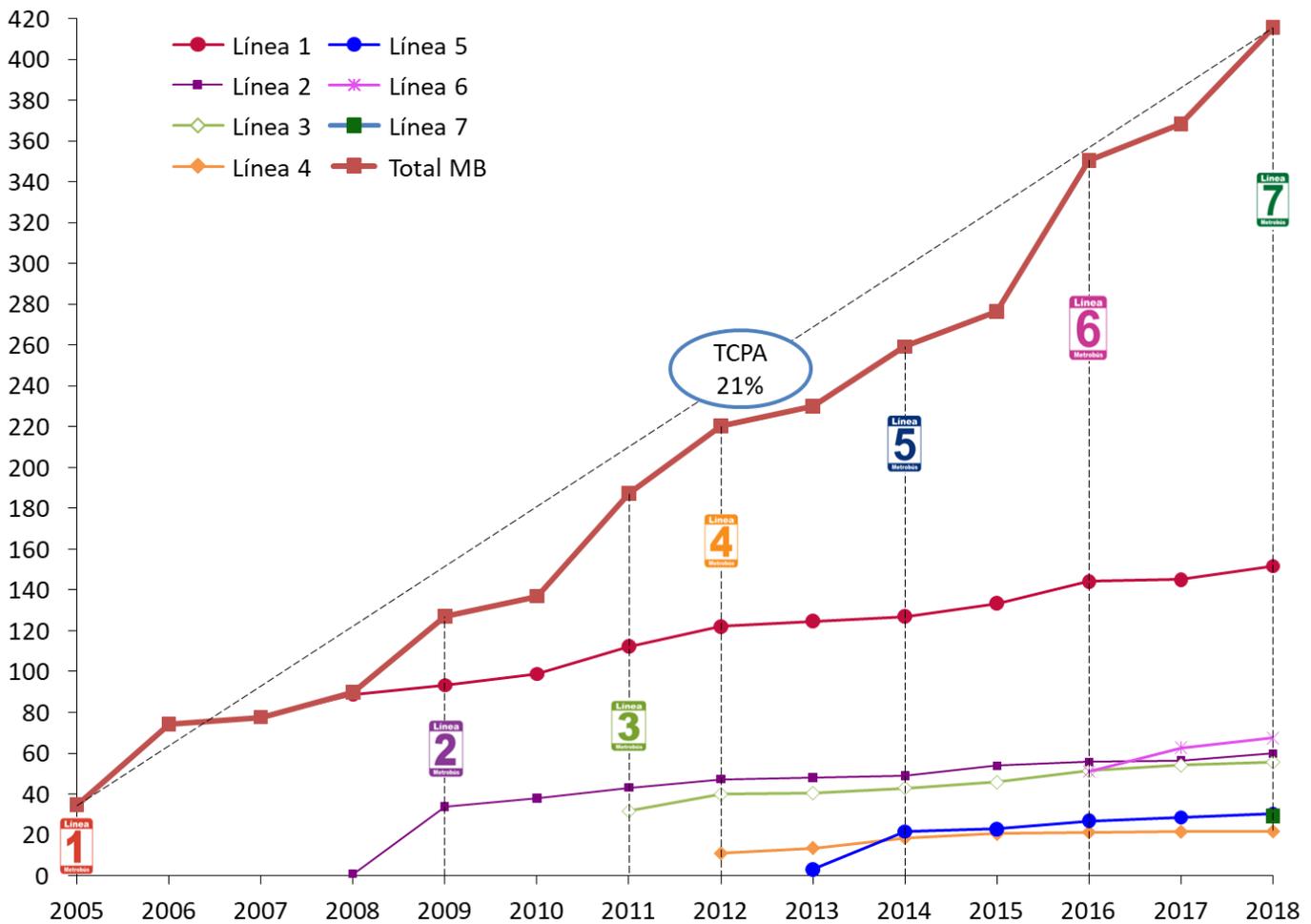
1.3.3 Afluencia del Sistema Metrobús

El sistema Metrobús es el segundo organismo de transporte público más importante de la Ciudad de México solo detrás del Sistema de Transporte Colectivo Metro, en 2018 transportó diariamente un promedio de 1.17 millones de pasajeros, siendo la línea 1 absorbió aproximadamente el 36% de la demanda total del sistema al transportó en promedio 412 mil pasajeros por día. Otras líneas como 6, 2, 3 y 7 transportaron en promedio 183 mil, 165 mil, 157 mil y 110 mil, pasajeros diarios respectivamente; entre las líneas con menor afluencia en el sistema se encuentran la línea 4 con 61 mil pasajeros promedio diarios y línea 5 con 84 mil pasajeros promedio diarios en 2018.

En la Figura 2, se muestra los pasajeros transportados por el sistema Metrobús desde el inicio de operaciones con 35 millones de pasajeros transportados en 2005 a 420 millones de pasajeros en 2018. El sistema ha tenido una tasa de crecimiento promedio anual de pasajeros de 21% en 14 años de operación, convirtiéndose en unos de los sistemas BRT más grandes del mundo. Asimismo, se puede observar el incremento de usuarios en el sistema cada inicio de operaciones de nuevos corredores en el sistema.

Adicionalmente, como indicador operativo del sistema, un bus de la línea 1 transporta cerca de 2 mil pasajeros promedio diarios en el corredor; de la "línea 2" 1.3 mil personas; del corredor eje 1 poniente 2,180 personas; las unidades piso bajo de la línea 4, transportan en promedio 817 personas al día lo que la hace la línea con menor ocupación diaria por bus; línea 5 cuenta con la mayor ocupación por bus al transportar cerca de 3 mil pasajeros al día; línea 6 y 7 se encuentran en el promedio al transportar 1,694 y 1,222 pasajeros por bus respectivamente.

Figura 4. Afluencia de pasajeros sistema Metrobús (millones de pasajeros)



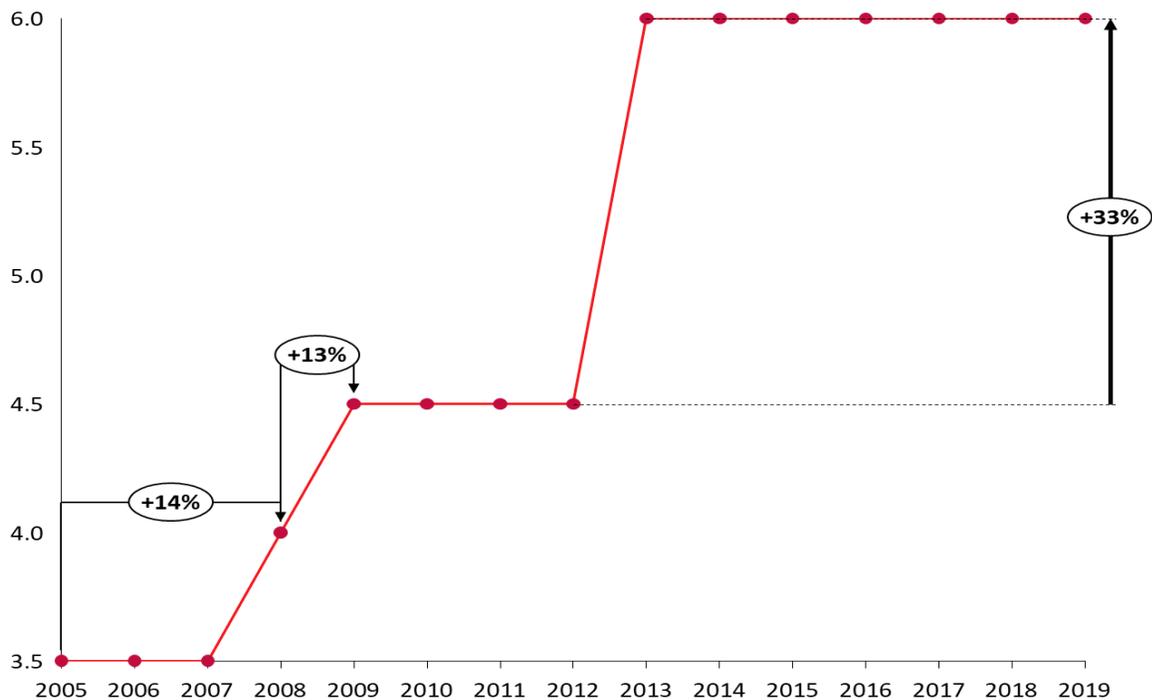
Fuente: Elaboración propia con datos del Portal Nacional de Transparencia a través de la solicitud de información 031700057019.

1.3.4 Tarifa del sistema

Desde inicio de operaciones hasta el año 2007 la tarifa del servicio era de \$3.50 pesos, para el año 2008 se acordó un aumento del 14% para actualizar la tarifa en \$4.00 pesos, al año siguiente la tarifa tuvo un incremento de \$.50 pesos lo que representó un aumento de 13%, dicha tarifa se mantuvo constante durante 4 años. La tarifa actual de \$6.00 no ha tenido un aumento desde el año 2013 cuando se autorizó un incremento del 33% con respecto al año 2012.

Con respecto a la actualización de la tarifa, la persona titular de la Jefatura de Gobierno es la facultada para autorizar las tarifas de los servicios públicos concesionados. Actualmente no se prevén aumentos en la tarifa del sistema por lo que es de suma importancia el comenzar a disminuir costos en el sistema que permitan un equilibrio financiero.

Figura 5. Evolución de la tarifa del sistema Metrobús



Fuente: Elaboración propia con datos de Metrobús

1.3.5 Flota actual del Sistema Metrobús

La flota actual de Metrobús cuenta con una antigüedad promedio de 5.6 años a 2019 y está compuesta por 683 autobuses con las siguientes características: 9 híbridos piso bajo, 61 unidades de piso bajo motor diésel, 90 doble piso, 401 articulados y 110 biarticulados con motor a diésel.

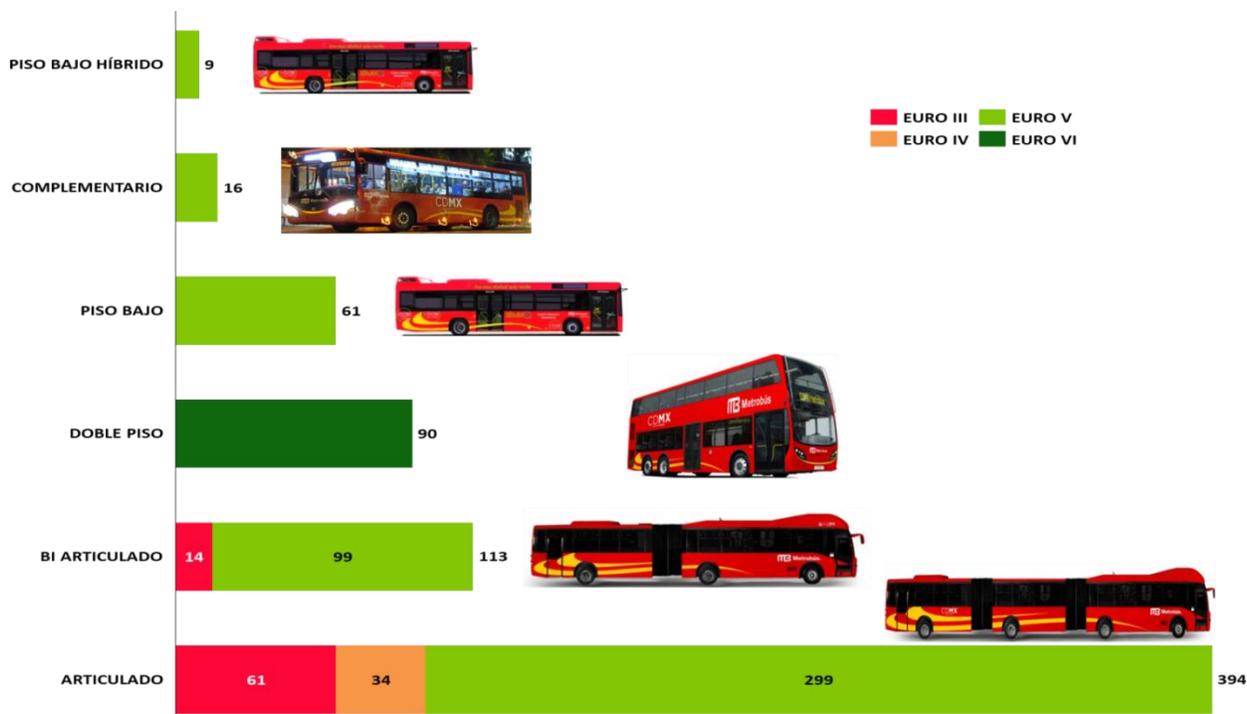
Adicionalmente, la flota cumple con la Norma Oficial Mexicana (NOM) 044-Semarnat, la cual determina los límites máximos permisibles de emisiones

contaminantes para vehículos con un peso mayor a 3,857 kilogramos que utilizan diésel; por lo que para cumplir con dicha norma la flota cuenta con 75 autobuses con certificaciones ambientales europeas Euro III, 34 Euro IV, 484 Euro V y 90 Euro VI.

En la actualidad, la marca sueca Volvo tiene una participación del 58.42% en el sistema con una flota de 399 buses de los cuales 202 son de tipo articulado, 110 biarticulado, 9 híbridos y 78 piso bajo. Mercedes Benz es la segunda marca representativa en el sistema con 142 buses modelo Gran Viale.

Alexander Dennis es la tercera marca con mayor número de buses en el sistema a través de las 90 unidades doble piso Enviro 500 que prestan sus servicios en el corredor Av. Reforma. Dina y Scania forman parte de los últimos lugares de la lista de proveedores al contar con 36 y 16 unidades respectivamente.

Figura 6. Descripción de la flota Sistema Metrobús 2019



Fuente: Elaboración propia con del Portal Nacional de Transparencia a través de la solicitud de información 031700057019.

La línea 1 cuenta con la flota más grande del sistema se explica en gran parte por la alta demanda en el corredor, de las 193 unidades que operan actualmente en la línea, la empresa concesionaria CISA cuenta con el 57% del total de la flota, al prestar sus servicios con 54 buses articulados y 56 biarticulados; por su parte RECSA, representa el 19.2% con un total de 37 buses de los cuales 21 son tipo articuladas y 16 biarticulados; VyC es el tercer concesionario con más flota en la línea al representar el 19.2% con 6 buses articulados y 14 biarticulados; el resto de la flota la componen RTP y CE4-17M con una flota de 13 unidades biarticuladas cada uno.

En la siguiente tabla se muestra la conformación de la flota de cada concesionaria así como el modelo, entra en operación, tipo de tecnología y años de servicio.

Tabla 2. Flota Línea 1- Corredor Av. Insurgentes

CONCESIONARIO	AUTOBÚS MODELO	FLOTA	TIPO DE BUS	ENTRADA EN OPERACIÓN	TECNOLOGÍA	AÑO EN SERVICIO
CISA	VOLVO B12	17	ARTICULADO	2005	EURO III	14
	VOLVO B12	1	ARTICULADO	2006	EURO III	13
	VOLVO BRT 7300	6	ARTICULADO	2008	EURO III	11
	VOLVO BRT 7300	4	ARTICULADO	2009	EURO IV	10
	VOLVO BRT 7300	4	ARTICULADO	2012	EURO V	7
	VOLVO BRT 7300 BIART	1	BIARTICULADO	2010	EURO III	9
	VOLVO BRT 7300 BIART	4	BIARTICULADO	2014	EURO V	5
	VOLVO BRT 7300 BIART	22	BIARTICULADO	2017	EURO V	2
	VOLVO BRT 7300 BIART	25	BIARTICULADO	2018	EURO V	1
	VOLVO BRT 7300 BIART	2	BIARTICULADO	2019	EURO V	0
	DINA BRIGHTER	3	ARTICULADO	2013	EURO V	6
	DINA BRIGHTER	2	ARTICULADO	2014	EURO V	5
	DINA BRIGHTER	10	ARTICULADO	2015	EURO V	4
	SCANIA	7	ARTICULADO	2018	EURO V	1

RTP	SCANIA MEGA ART	2	BIARTICULADO	2019	EURO V	0	
	VOLVO BRT 7300 BIART	8	BIARTICULADO	2008	EURO III	11	
	VOLVO BRT 7300 BIART	5	BIARTICULADO	2015	EURO III	4	
VyC	VOLVO BRT 7300	6	ARTICULADO	2012	EURO V	7	
	VOLVO BRT 7300 BIART	11	BIARTICULADO	2012	EURO V	7	
	VOLVO BRT 7300 BIART	3	BIARTICULADO	2014	EURO V	5	
RECSA	VOLVO BRT 7300	18	ARTICULADO	2008	EURO III	11	
	VOLVO BRT 7300	3	ARTICULADO	2009	EURO IV	10	
	VOLVO BRT 7300 BIART	3	BIARTICULADO	2012	EURO V	7	
	VOLVO BRT 7300 BIART	2	BIARTICULADO	2014	EURO V	5	
	VOLVO BRT 7300 BIART	1	BIARTICULADO	2015	EURO V	4	
	VOLVO BRT 7300 BIART	1	BIARTICULADO	2016	EURO V	3	
	VOLVO BRT 7300 BIART	3	BIARTICULADO	2017	EURO V	2	
	VOLVO BRT 7300 BIART	6	BIARTICULADO	2018	EURO V	1	
	VOLVO BRT 7300 BIART	10	BIARTICULADO	2015	EURO V	4	
	VOLVO BRT 7300 BIART	3	BIARTICULADO	2018	EURO V	1	
	CE4- 17M	VOLVO BRT 7300 BIART	10	BIARTICULADO	2015	EURO V	4
		VOLVO BRT 7300 BIART	3	BIARTICULADO	2018	EURO V	1

Fuente: Portal Nacional de Transparencia a través de la solicitud de información 031700057019.

La flota actual susceptible a ser remplazada en su mayoría se encuentra en propiedad de la concesionaria CISA con un parque vehicular de 17 buses Volvo B12 tipo articulado modelo 2005 con 14 años en operación, un bus del mismo modelo con 13 años de antigüedad y 6 buses articulado Volvo BRT 7300 con 11 años de operación.

Por su parte, RECSA tiene en operación 18 unidades articuladas Volvo BRT 7300 con 11 años de antigüedad y 3 buses del mismo modelo con 10 años de

antigüedad. Asimismo, RTP cuenta con un parque vehicular de 8 buses con 11 años en operación modelo Volvo BRT 7300 biarticulado los cuales son susceptibles a ser renovados.

La línea 2 es la segunda más importante en cuestión de pasajeros transportados así como la más longeva del sistema, cuenta con una flota de 122 buses articulados, cabe mencionar que el 45% de la flota actual cuenta con un tiempo en operación superior a 10 años, por lo que la renovación de la flota debe realizarse en los próximos años. La participación de cada empresa en el corredor se encuentra distribuida de la siguiente manera:

- CTTSA- 36 buses de los cuales 15 tiene un tiempo de operación superior a 10 años.
- CE4-17M- 31 buses, con un el 42% susceptible a renovación.
- TSAJJ- 25 buses en operación y 9 buses con más de 10 años en operación.
- COPSA- 16 buses de los cuales 7 tienen una antigüedad igual o mayor a 10 años.
- RTP- 14 unidades y una posible renovación del 64% de su flota.

Tabla 3. Flota Línea 2-Corredor Eje 4 Sur

CONCESIONARIO	AUTOBÚS MODELO	FLOTA	TIPO DE BUS	ENTRADA EN OPERACIÓN	TECNOLOGÍA	AÑO EN SERVICIO
CE4-17M	VOLVO BRT 7300	16	ARTICULADO	2006	EURO IV	13
	DINA BRIGHTER	5	ARTICULADO	2014	EURO V	5
	VOLVO BRT 7300	1	ARTICULADO	2015	EURO V	4
	VOLVO BRT 7300	4	ARTICULADO	2016	EURO V	3
	VOLVO BRT 7300	1	ARTICULADO	2017	EURO V	2
	VOLVO BRT 7300	4	ARTICULADO	2019	EURO V	0
RTP	MERCEDES BENZ	3	ARTICULADO	2008	EURO III	11

	GRAN VIALE						
	VOLVO BRT 7300	6	ARTICULADO	2009	EURO IV	10	
	VOLVO BRT 7300	5	ARTICULADO	2014	EURO V	5	
TRANSPORTES SAJJ.	MERCEDES BENZ GRAN VIALE	8	ARTICULADO	2008	EURO III	11	
	MERCEDES BENZ GRAN VIALE	1	ARTICULADO	2009	EURO III	10	
	MERCEDES BENZ GRAN VIALE	2	ARTICULADO	2012	EURO V	7	
	MERCEDES BENZ GRAN VIALE	2	ARTICULADO	2014	EURO V	5	
	SCANIA MEGA	2	ARTICULADO	2016	EURO V	3	
	VOLVO BRT 7300	3	ARTICULADO	2018	EURO V	1	
	MERCEDES BENZ GRAN VIALE	3	ARTICULADO	2018	EURO V	1	
	VOLVO BRT 7300	3	ARTICULADO	2019	EURO V	0	
	MERCEDES BENZ GRAN VIALE	1	ARTICULADO	2019	EURO V	0	
	CTTSA	VOLVO BRT 7300	15	ARTICULADO	2006	EURO V	13
		VOLVO BRT 7300	5	ARTICULADO	2012	EURO V	7
VOLVO BRT 7300		5	ARTICULADO	2014	EURO V	5	
VOLVO BRT 7300		5	ARTICULADO	2016	EURO V	3	
VOLVO BRT 7300		6	ARTICULADO	2018	EURO V	1	
COPSA	MERCEDES BENZ GRAN VIALE	5	ARTICULADO	2008	EURO III	11	
	MERCEDES BENZ GRAN VIALE	2	ARTICULADO	2009	EURO III	10	
	MERCEDES BENZ GRAN VIALE	2	ARTICULADO	2012	EURO V	7	
	MERCEDES BENZ GRAN VIALE	4	ARTICULADO	2014	EURO V	5	
	SCANIA	3	ARTICULADO	2016	EURO V	3	

Fuente: Portal Nacional de Transparencia a través de la solicitud de información 031700057019.

El corredor Eje 1 Poniente cuenta con una sola empresa concesionaria que presta sus servicios a través de 72 unidades en su mayoría de la marca Mercedes, la flota cuenta con 56 buses con una antigüedad igual o mayor a diez años lo que representa el 78% de la flota, por lo que el presente estudio podría ayudar a realizar una evaluación de las unidades próximas a incorporar a la línea 3.

Tabla 4. Flota Línea 3 – Corredor Eje 1 poniente

CONCESIONARIO	AUTOBÚS MODELO	FLOTA	TIPO DE BUS	ENTRADA EN OPERACIÓN	TECNOLOGÍA	AÑO EN SERVICIO
MIVSA	MERCEDES BENZ GRAN VIALE	54	ARTICULADO	2008	EURO V	11
	MERCEDES BENZ GRAN VIALE	2	ARTICULADO	2009	EURO V	10
	MERCEDES BENZ GRAN VIALE	4	ARTICULADO	2012	EURO V	7
	MERCEDES BENZ GRAN VIALE	6	ARTICULADO	2014	EURO V	5
	VOLVO BRT 7300	6	ARTICULADO	2016	EURO V	3

Fuente: Portal Nacional de Transparencia a través de la solicitud de información 031700057019.

La línea 4 cuenta con una flota relativamente nueva, más de dos tercios del parque vehicular tendrá que ser renovado en los próximos 4 años, cabe mencionar que la línea cuenta con la menor afluencia del sistema y sus unidades miden aproximadamente 12 m por lo tanto son más pequeñas comparadas con los otros corredores.

Tabla 5. Flota Línea 4 – Buenavista-San Lázaro-Aeropuerto Terminales 1 y 2

CONCESIONARIO	AUTOBÚS MODELO	FLOTA	TIPO DE BUS	ENTRADA EN OPERACIÓN	TECNOLOGÍA	AÑO EN SERVICIO
CONEXIÓN	VOLVO 7700	54	PISO BAJO	2012	EURO V	7
	VOLVO 7700	1	PISO BAJO	2015	EURO V	4
	VOLVO ACCES	14	PISO BAJO	2018	EURO V	1

	SCANIA MEGA PB	1	PISO BAJO	2019	EURO V	0
--	-------------------	---	-----------	------	--------	---

Fuente: Portal Nacional de Transparencia a través de la solicitud de información 031700057019.

Línea 5 tiene un parque vehicular reciente aunado a la incorporación de nuevas unidades derivado de la ampliación de la misma, las unidades más antiguas cuentan con 6 años en operación por lo que aún existe un amplio margen de tiempo para evaluar las nuevas unidades próximas a sustituir.

Tabla 6. Flota Línea 5 – Eje 3 Oriente - Av. Ing. Eduardo Molina

CONCESIONARIO	AUTOBÚS MODELO	FLOTA	TIPO DE BUS	ENTRADA EN OPERACIÓN	TECNOLOGÍA	AÑO EN SERVICIO
RTP	VOLVO BRT 7300	5	ARTICULADO	2014	EURO V	5
CITEMSA	VOLVO BRT 7300	19	ARTICULADO	2013	EURO V	6
	VOLVO BRT 7300	1	ARTICULADO	2016	EURO V	3
	VOLVO BRT 7300	1	ARTICULADO	2017	EURO V	2
	VOLVO BRT 7300	2	ARTICULADO	2018	EURO V	1

Fuente: Portal Nacional de Transparencia a través de la solicitud de información 031700057019.

Por su parte, línea 6 al ser la segunda más importante en cuanto personas transportadas, cuenta con un parque vehicular antiguo, cerca de 22 buses tiene más de 10 años de servicios. La flota de la ccesionaria CARSA cuenta con 18 buses con 13 años en operación por lo que su renovación es evidente. En general, gran parte de la flota de línea 6 ha brindado servicios entre 1 y 3 años.

Tabla 7. Flota Línea 6 – Eje 5 Norte - Av. Montevideo

CONCESIONARIO	AUTOBÚS MODELO	FLOTA	TIPO DE BUS	ENTRADA EN OPERACIÓN	TECNOLOGÍA	AÑO EN SERVICIO
CE4-17M	VOLVO BRT 7300	4	ARTICULADO	2008	EURO IV	11
	VOLVO BRT 7300	1	ARTICULADO	2011	EURO IV	8
	VOLVO BRT 7300	2	ARTICULADO	2011	EURO V	8
	VOLVO BRT 7300	33	ARTICULADO	2016	EURO V	3

	VOLVO BRT 7300	3	ARTICULADO	2018	EURO V	1
	VOLVO BRT 7300	3	ARTICULADO	2017	EURO V	2
	SCANIA MEGA ART	1	BIARTICULADO	2014	EURO V	5
	VOLVO BRT 7300	2	ARTICULADO	2019	EURO V	0
	MASA C11R	14	12 M	2016	EURO V	3
	MASA C11R	2	12 M	2017	EURO V	2
CURVIX	MERCEDES BENZ GRAN VIALE	25	ARTICULADO	2016	EURO V	3
CARSA	MERCEDES BENZ GRAN VIALE	18	ARTICULADO	2006	EURO V	13

Fuente: Portal Nacional de Transparencia a través de la solicitud de información 031700057019.

El corredor paseo de la reforma posee la flota más nueva dentro del sistema, cuenta con 90 buses doble piso de la marca inglesa Alexander Dennis, modelo EVIRO 500 que cuentan con una tecnología EURO VI, dicho parque vehicular sustituyo a los 180 buses que circulaban por el corredor.

Tabla 8. Flota Línea 7 – Av. Paseo de la Reforma

CONCESIONARIO	AUTOBÚS MODELO	FLOTA	TIPO DE BUS	ENTRADA EN OPERACIÓN	TECNOLOGÍA	AÑO EN SERVICIO
OL7	ALEXANDER DENNIS ENVIRO 500	48	DOBLE PISO	2018	EURO VI	1
SKYBUS	ALEXANDER DENNIS ENVIRO 500	42	DOBLE PISO	2018	EURO VI	1

Fuente: Portal Nacional de Transparencia a través de la solicitud de información 031700057019.

1.4 Evolución del pago por kilómetro

Como se estipula en la concesión los concesionarios tendrán una participación⁵ de los recursos captados del cobro de la tarifa al usuario por el kilometraje ofertado en el sistema Metrobús.

⁵ Pago por la prestación del servicio de transporte público de pasajeros dentro del sistema Metrobús.

Dicha participación se calcula mediante el producto del pago por kilómetro y el número de kilómetros efectivos recorridos en servicio por el parque vehicular de la empresa concesionaria. El pago por kilómetro tiene como objetivo cubrir los costos de operacionales de las concesionarias.

Las actualizaciones del pago por kilómetro están sujetas a aprobación de los organismos reguladores de transporte, y deben estar sujetas a revisión anualmente a excepción de casos extraordinarios si se presenta una crisis financiera con base en el contrato de concesión. Adicionalmente, la actualización del pago por kilómetro se determina a través de las variaciones anuales de dos variables: combustible (precio de diésel) e Índice Nacional de Precios al Consumidor (publicado por INEGI) del año inmediato anterior⁶. Cabe mencionar que en ninguna concesión establece la ponderación de cada variable para realizar el cálculo de la actualización.

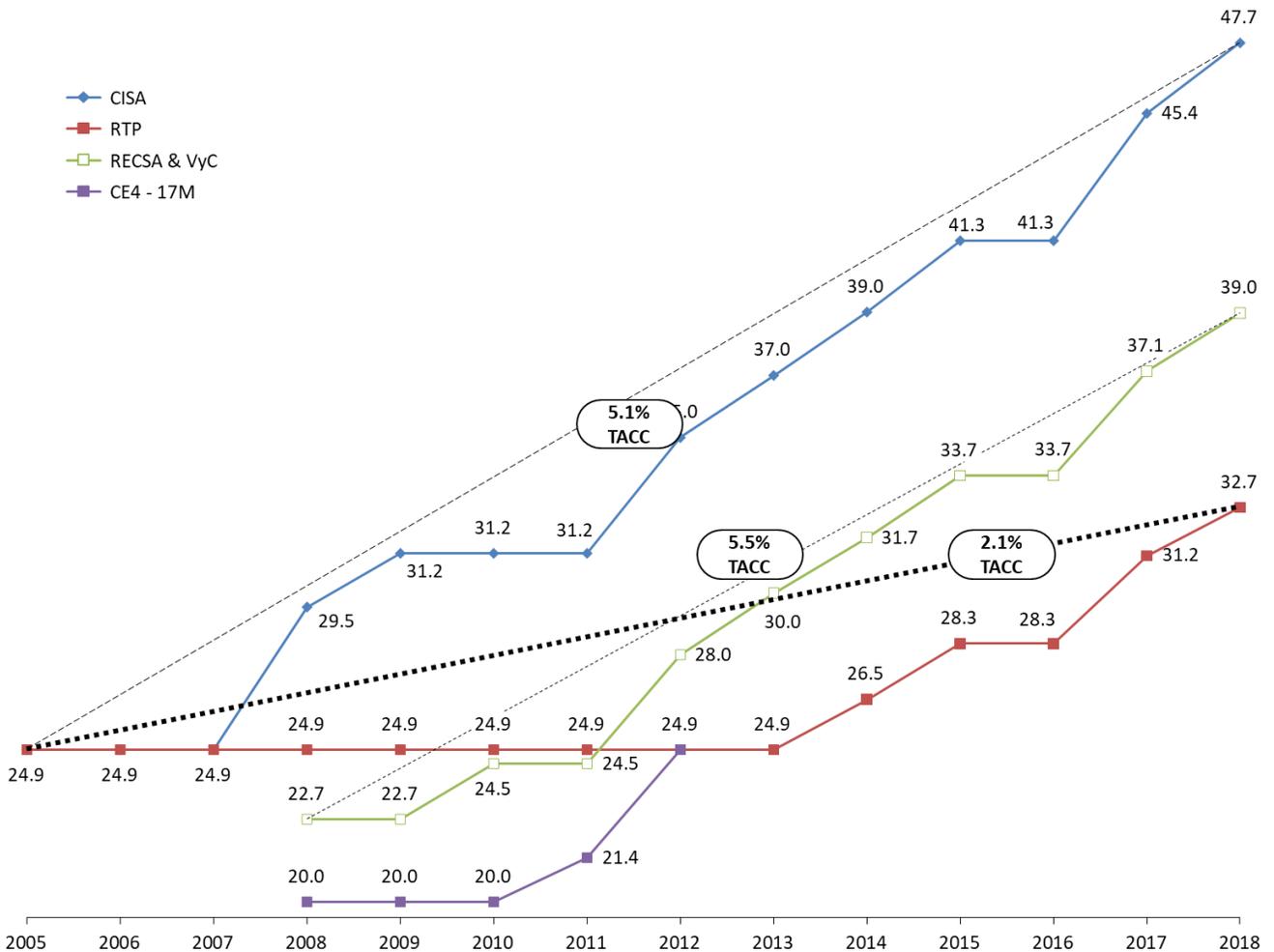
El pago por kilómetro se encuentra en función del corredor en el cual brindan el servicio de transporte y tipo de unidades; de todo el sistema solo la línea 1 cuenta con un esquema diferente en el pago por kilómetro, dicho esquema contempla pagos por kilómetro diferenciados a cada concesionario operando en el corredor. En el resto del sistema se establece en cada línea un pago por kilómetro homogéneo para cada concesionario operando en el corredor.

En la siguiente figura muestra la evolución del pago por kilómetro⁷ de cada una de las concesionarias en el de unidades tipo articuladas de la línea 1, la tasa de crecimiento promedio anual del pago por kilómetro ha sido del 5% para todas las concesionarias a excepción de RTP la cual ha tenido actualizaciones promedio del 2.1% anual. Asimismo, se puede observar las diferencias en el pago por kilómetro de cada una de las empresas concesionarias siendo CISA la empresa que recibe un monto de \$47.7 por kilómetro, \$8.7 pesos más que RECSA y VyC; y \$15 pesos por arriba de RTP y CE4-17M.

⁶ Cláusula Cuadragésima Primera, inciso a. de la concesión STV/METROBÚS/002/2008.

⁷ Véase Anexo 1.

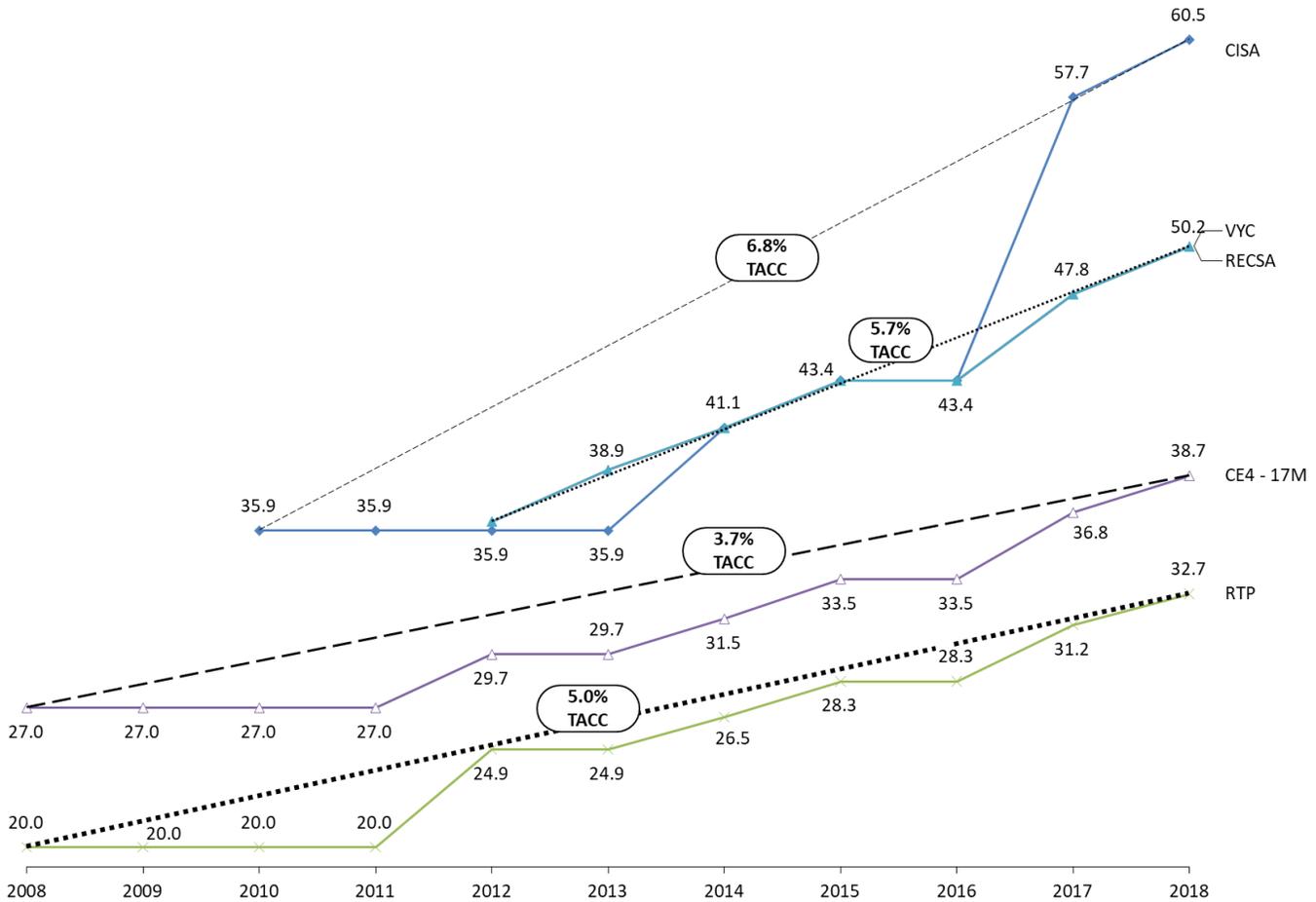
Figura 7. Evolución del pago por kilómetros buses articulados línea 1 (\$/km)



Fuente: Elaboración propia con datos del Portal Nacional de Transparencia a través de la solicitud de información 031700057019.

Respecto a la flota tipo biarticulada, el incremento en pago por kilómetro ha sido similar a los buses articulados incrementado 5.3% anualmente desde su incorporación en el sistema, la empresa CISA recibe un pago por kilómetro de \$60.5, 17% más que las empresas VyC y RECSA las cuales reciben \$50.2 por kilómetro recorrido. Por otro lado, las concesionarias CE4-17M y RTP son las que reciben el menor pago por kilómetro dentro de esta categoría y línea, al recibir \$38.7 y \$32.7 respectivamente.

Figura 8. Evolución del pago por kilómetros buses biarticulados línea 1 (\$/km)

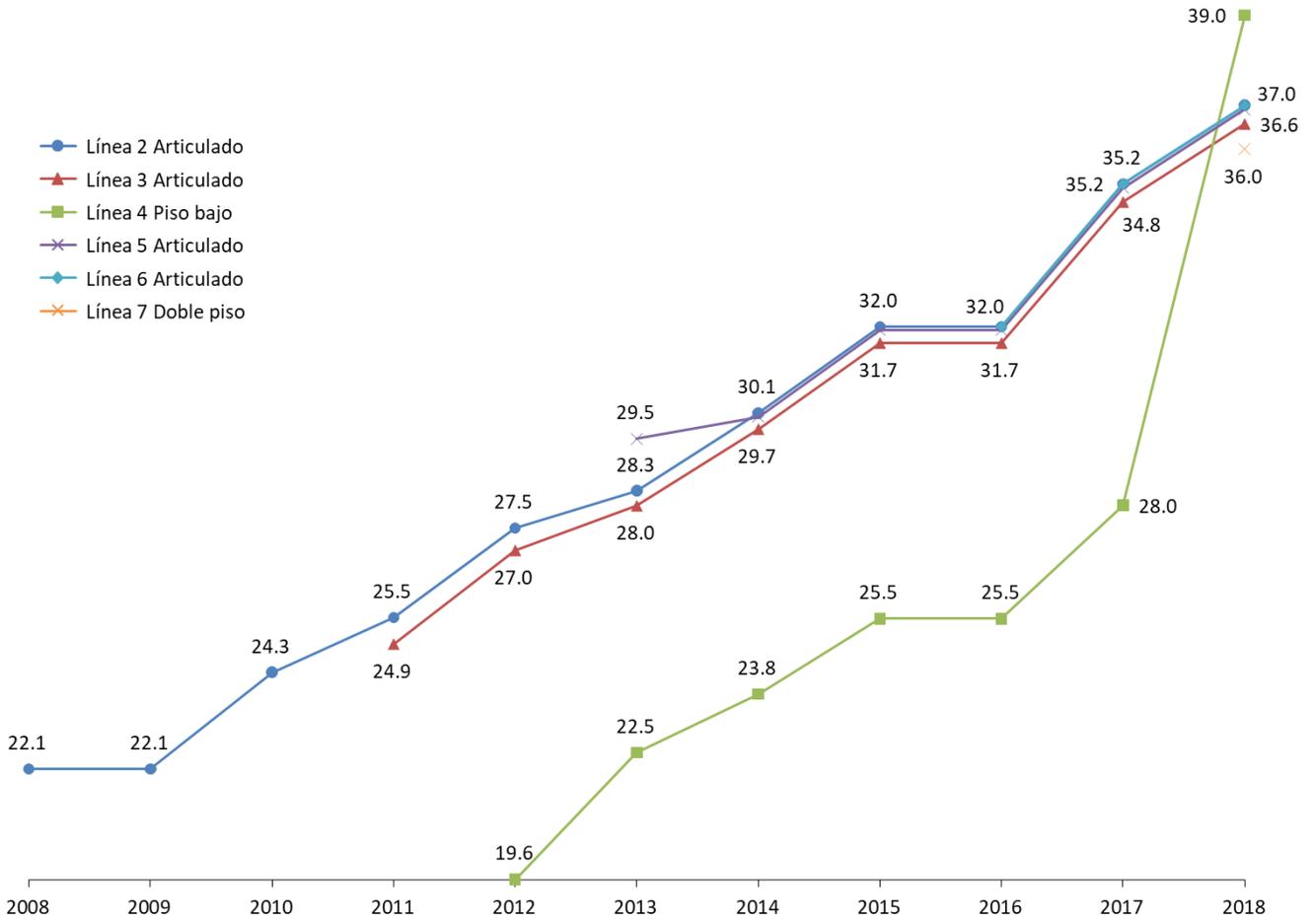


Fuente: Elaboración propia con datos del Portal Nacional de Transparencia a través de la solicitud de información 031700057019.

El resto del sistema al 2019 cuenta con un pago por kilómetro promedio de \$37.07, y un aumento promedio del 5.8% anual. La concesionaria Conexión de la línea 4 recibe un pago por kilómetro de \$39 para sus unidades piso bajo. En línea 7, SKY BUS y OP L7 prestan sus servicios a cambio de \$36 por kilómetro para la operación de sus buses de doble piso. Línea 2 la cual cuenta con cuatro concesionarias (CE4-17M, CTTSA, COPSA, TSAJJ) y línea 6 (CURVIX y CARSA) reciben el mismo pago por kilómetro de \$36.98; MIVSA presta sus servicios en el

corredor Eje 1 Poniente de línea 3 por \$36.56 cada kilómetro; línea 5 a través de CITEMSA tiene un costo por kilómetro de \$36.89

Figura 9. Evolución del pago por kilómetro línea 2-7 del sistema Metrobús (\$/km)



Fuente: Elaboración propia con datos del Portal Nacional de Transparencia a través de la solicitud de información 031700057019.

La actualización del pago por kilómetro durante los últimos años se debe en gran medida al aumento de los precios de las variables consideradas en la actualización (Combustible e INPC) las cuales repercuten de manera directa en los costos operacionales de las concesionarias.

Para realizar un análisis de la repercusión del aumento de cada variable, utilizada para la actualización del pago por kilómetro, en los costos operacionales; se debe

contemplar la ponderación de cada una de ellas en el esquema de costos de las empresas concesionarias, por lo que la revisión documental de la composición de costos en otros sistemas de transporte público puede ayudar a realizar una aproximación de la ponderación de costos en las empresas concesionarias del sistema Metrobús. Algunos estudios enfocados en la composición de costos operacionales se han realizado en los sistemas de transporte en Bogotá, Colombia; y Santiago de Chile.

En el primer estudio, Wright & Hook (2007) describen la composición de costos operacionales de BRT de Transmilenio Bogotá en el año 2012, en el define cuatro tipos de costos operacionales principales: depreciación de los activos, cargos de financiación, costos operativos fijos y costos variables de operación. La tabla 8 muestra un desglose de costos en los que se ven inmerso un operador de servicios troncales del sistema Transmilenio, así como unidad de medida utilizada para evaluar dicho costo de operación.

Tabla 9. Composición de costos sistema TransMilenio, Bogotá

Ítem	Unidades de medida	Valor por vehículo	
Depreciación			
Depreciación de vehículos	% del valor del vehículo/año	10%	
Cargos financieros			
Costo de capital	Tasa efectiva de interés anual sobre el capital invertido	14%	
Costos fijos de operación			
Salarios de los conductores	Empleados/vehículo	1,62	
Salarios de los mecánicos	Empleados/vehículo	0,38	
Salarios del personal administrativo y de los supervisores	Empleados/vehículo	0,32	
Otros gastos administrativos	% de costos variables + mantenimiento + personal	4,0%	
Aseguramiento de la flota	% del valor del vehículo/año	1,8%	
Costos variables de operación			
Combustible	Galones de diesel/100 km	18,6	
	m ³ de gas natural/100 km	74	
Llantas	Llantas nuevas	Unidades/100.000 km	10,0
	Reencauche	Unidades/100.000 km	27,6
Lubricantes	Motor	Cuartos de galón/10.000 km	78,9
	Transmisión	Cuartos de galón/10.000 km	4,5
	Diferencial	Cuartos de galón/10.000 km	5,8
	Grasa	Kilogramos/10.000 km	3,0
Mantenimiento	% del valor del vehículo/año	6,0%	

Fuente: TransMilenio S.A., Bogotá, Colombia, Junio 2002

Fuente: Extraído de Wright & Hook, 2007

Diversos estudios ponderan cada variable de los costos operacionales en los sistemas de transporte público, por ejemplo, en el sistema Transmilenio la estructura de costos de operación en 2005 bajo la modalidad troncal se componía de la siguiente manera: Combustible 24.01%, Neumáticos 5.16%, Lubricantes 1.5%, Mantenimiento (repuestos) 9.15%, Personal 14.38% y costos fijos 45.80%. (Transmilenio, 2005), cabe mencionar que dicha composición de costos se encuentra en constantes modificaciones.

Indicadores más recientes del sistema Transmilenio se presentaron en la licitación pública TMSA-LP-06-2015, la cual pondera una canasta de costos variables en la operación de buses articulados, dentro de los costos más significativos se encuentra el combustible representando más de la tercera parte de los costos, los salarios representan alrededor de 28% seguido de mantenimientos con el 22%, y neumáticos y lubricantes representó cerca del 8% de los costos variables.

En Chile, el Instituto Nacional de Estadística cuenta con un Índice de Costos de Transporte, con el objetivo de representar los gastos de operación de una empresa de transporte de carga terrestre, dicho índice es útil para efectos de comparación con el transporte de pasajeros y cuenta con los siguientes componentes:

- Combustible 36.85%,
- Recursos humanos 29.79%,
- Otros servicios relativos al equipo de transporte 7.65%,
- Servicios financieros 10.59%
- Repuestos y accesorios para el funcionamiento y mantención del vehículo 15.02%. (CTS EMBARQ México & WRI México, 2017).

Como se puede observar uno de los principales costos operacionales en la industria del transporte es el combustible al ser un insumo primordial para la operación de los buses que en su mayoría cuentan con motores a base de diésel, dicha dependencia ha generado un incremento en los costos de operación

derivado de la evolución en los precios del diésel; adicionalmente, los costos de mantenimiento se incrementan por factores como inflación, tipos de cambio y el factor de rendimientos de crecientes por antigüedad de la unidad.

Para identificar la problemática en materia de costos operacionales en el sistema Metrobús centraremos el análisis en los precios de diésel y en los mantenimientos preventivos y correctivos.

1.5 Evolución de las variables utilizadas en la actualización del Pago por km

Evolución de los precios de diésel

Durante años el precio de los combustibles era controlado por parte del Gobierno Federal a través de estímulos fiscales por medio del Impuesto Especial Sobre Producción y Servicios (IEPS), dicho impuesto logró mantener precios estables en circunstancias de gran volatilidad en los precios internacionales de combustibles, por medio de un estímulo fiscal al precio de venta final de los combustibles.

A partir de la reforma energética a principios de 2014, se comenzó con el proceso gradual de la liberalización de precios de los combustibles, en el año 2017 se comenzaron a determinar los precios finales de los combustibles en estaciones a través de diversas variables tales como:

Variables para la determinación del precio referente del diésel

- Precios internacionales de referencia.
 - Diésel: promedio de las cotizaciones medias del precio spot de la referencia para el diésel Ultra Low Sulfur Diesel (ULSD), USGC, Houston, publicada por Platts US MarkertScan, en USc\$/galón.
- Ajuste por calidad que corresponde a combustible diésel aplicable a los precios de referencia, el cual considera número de cetano y azufre para el diésel, conforme a las especificaciones correspondientes.
- Costos logísticos.

- Costos de logística y almacenamiento, el cual considera los costos de transporte e importación del combustible desde el punto de envío de acuerdo al precio de referencia hasta los puntos de internación al territorio nacional, y que incluye fletes marítimos o terrestres, ajustes e inspecciones por carga y descarga, servicios portuarios y aduanas, así como los costos de transporte en territorio nacional del punto de internación hasta el punto de venta al mayoreo incluyendo los costos de almacenamiento, en US\$/barril.
- Costo de distribución de Pemex en el punto de venta al mayoreo y considera costos de transporte a los expendios autorizados al público y, en su caso, del distribuidor, en \$/l.
- Margen de utilidad
 - Es el valor estimado promedio del margen comercial para las estaciones de servicio del combustible diésel, en \$/l, tomando en consideración el promedio de los 12 meses inmediatos anteriores. Este margen será calculado por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) como la diferencia promedio entre el precio de venta en Terminales de Almacenamiento y Reparto (TAR) y el precio al público conforme a los precios publicados por la Comisión Reguladora de Energía (CRE).
- IEPS
 - Cuotas del impuesto especial sobre producción y servicios, establecidas en el artículo 2o. fracción I, inciso D), Numeral 1 de la Ley del Impuesto Especial sobre Producción y Servicios, en \$/l.
- Otros
 - Incluye las cuotas del impuesto especial sobre producción y servicios aplicables a los combustibles diésel en el periodo t, establecidas en el artículo 2o., fracción I, inciso H), numerales 3 y 5 de la Ley del Impuesto Especial sobre Producción y Servicios, así como las cuotas

establecidas en el artículo 2o.-A de dicha ley, y el impuesto al valor agregado. (Diario Oficial de la Federación, 2018).

Nota: los precios de referencia, el ajuste de calidad y los costos de logística y almacenamiento se convierten en pesos por litro, considerando el tipo de cambio de venta del dólar de los Estados Unidos de América que emite el Banco de México y publica el Diario Oficial de la Federación redondeado a cuatro decimales.

En los últimos 13 años el precio del diésel ha tenido una tasa anual de crecimiento compuesto de 10%, tal y como se muestra en la Figura 9, del año 2016 al 2017 se registró un aumento en el precio del diésel de 19.8% al pasar de los \$14.06 pesos por litro a \$16.84 pesos por litro respectivamente en la Ciudad de México, de 2017 a 2018 el precio promedio en la Ciudad de México aumentó en 15.7% y en el primer semestre de 2019 ha aumentado 9.8% respecto al año anterior.

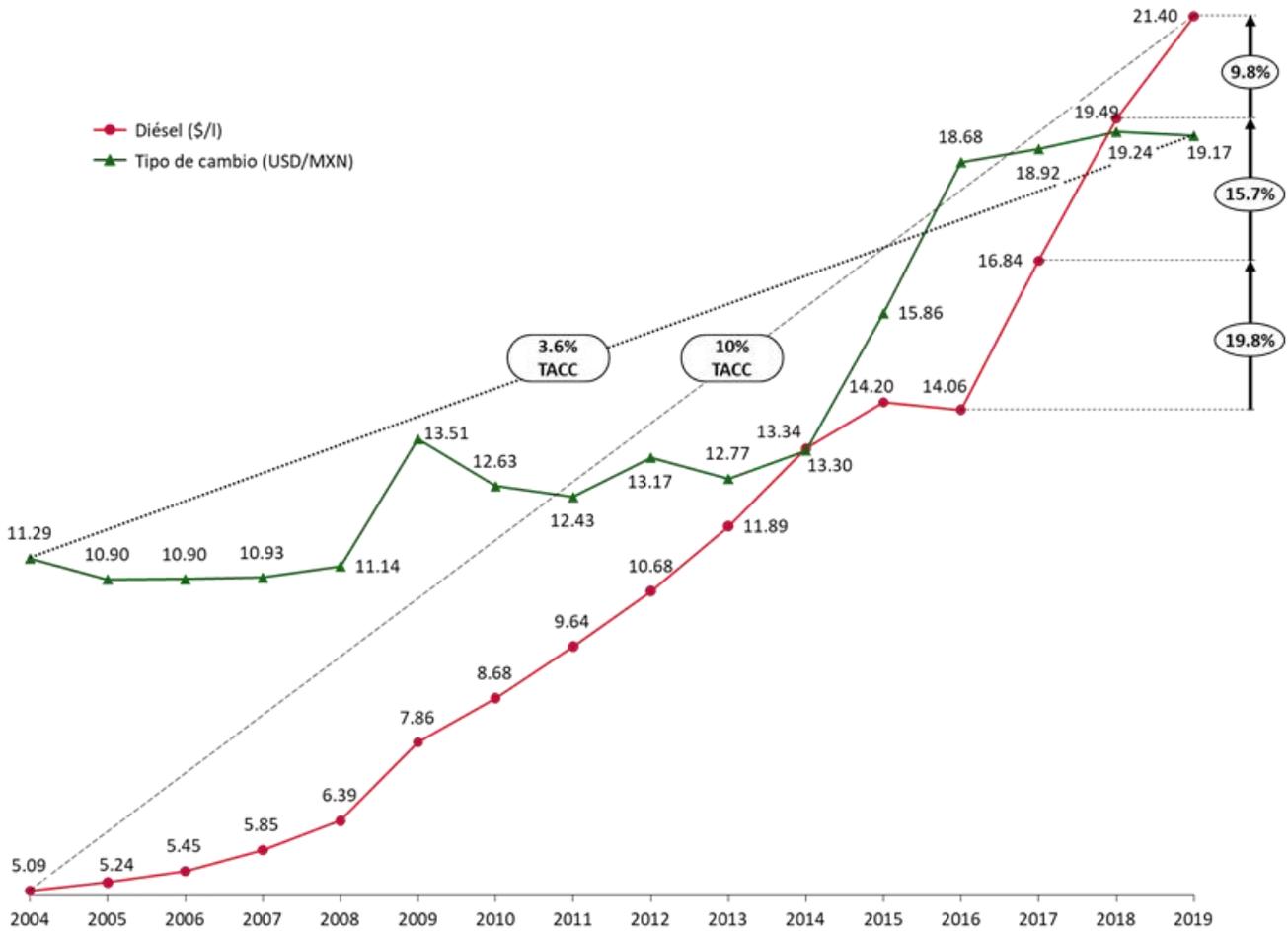
Dichos aumentos se pueden explicar por el comportamiento de las principales variables utilizadas para la determinación del precio de referencia de las gasolinas.

- Enero de 2016 y enero de 2017 el precio de la gasolina de referencia de las gasolinas en la Costa Golfo de los Estados Unidos registró un incremento de 47.94%.
- El precio de la mezcla mexicana de exportación pasó de 23.91 dólares por barril en enero de 2016 a 44.05 dólares por barril en enero de 2017. (Centro de Estudios de las Finanzas Públicas, 2017)
- Tipo de cambio ha tenido un comportamiento volátil durante el último lustro lo cual repercute significativamente en de los precios de los combustibles en gran medida al factor de importación, para poner en contexto, en el periodo que comprende de 2013 a 2018 la participación de las importaciones de diésel en el consumo interno creció a una tasa promedio anual del 23%.

Para poner en contexto, en 2013 la demanda de diésel ascendió a 392 mbd (miles de barriles de diarios) de los cuales el 27% provenía de importaciones, en

comparación con 387 Mbd del año 2018, representado las importaciones el 76% del consumo interno; adicionalmente, el principal proveedor fue Estados Unidos representando el 95% del total de las importaciones durante ese mismo año. (SENER, 2018).

Figura 10. Evolución del precio de diésel y tipo de cambio



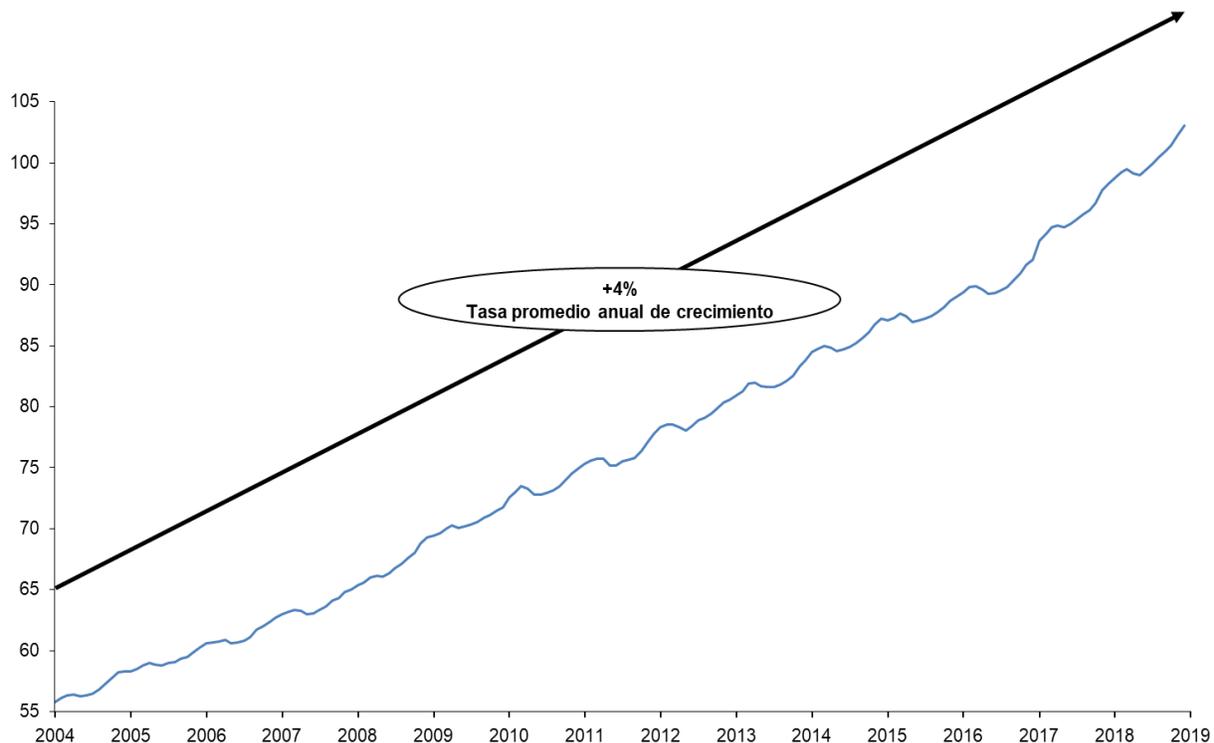
Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, INEGI y BANXICO.

Evolución del INPC

La variable INPC es tomada en cuenta para la ponderación de la actualización del pago por kilómetro, dicha variable repercute en costos como mantenimiento, refacciones, entre otros insumos; desde el inicio de operaciones del sistema

Metrobús la tasa promedio anual de crecimiento del INPC ha sido del 4%, tal y como se muestra en la Fig.11.

Figura 11. Evolución del INPC



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI

Los costos variables con el paso del tiempo incrementan su costo debido a factores como antigüedad, Inflación entre otros. La variable inflación tiene efectos en los insumos como refacciones, lubricantes, aceite o cualquier otra pieza mecánica y eléctrica requeridas para realizar los mantenimientos tal y como se tienen especificados por el fabricante.

Los mantenimientos preventivos y correctivos son fundamentales para garantizar el funcionamiento óptimo de los componentes mecánicos y eléctricos de los buses, así como para brindar las condiciones mínimas de operación durante la vida útil de los buses en el servicio de transporte público, dichos mantenimientos están en función con los kilómetros recorrido, por lo que existen manuales de

mantenimiento de cada una de las unidades en el que se describen el tipo de mantenimiento que se debe realizar y la periodicidad medida por kilómetros de operación.

Dentro de los mantenimientos preventivos para las unidades de diésel involucran diversas actividades como revisión y en su caso reemplazo de piezas, dichas actividades se pueden describir de la siguiente manera:

- Cambios de aceite a motor, caja de cambios y diferencial;
- Reemplazo de filtro de aceite, combustible, aire, material particulado, entre otros.
- Lubricación, control de nivel de aceite y fluido.
- Suspensión y mecanismo de dirección.

Los trabajos de mantenimiento correctivo o reparaciones mayores pueden incluir las siguientes actividades:

- Motor: reacondicionamiento de motor, inyectores, válvulas, entre otros.
- Sistema eléctrico: cambio de baterías, alternador, motor de arranque entre otros.
- Sistema de frenos: reemplazo de discos de freno, cilindro de freno pastillas de freno, sensores de frenado entre otras refacciones.
- Sistema neumático: reemplazo de neumáticos.
- Suspensión: revisión o en su defecto cambio de amortiguadores.

Como lo describimos con anterioridad, los costos de operación han ido en aumento en gran medida por el incremento en los precios del diésel y la evolución de los costos de mantenimiento derivado de los aumentos en los insumos necesarios para realizar adecuadamente cada tipo de mantenimiento, dicha situación conlleva una actualización al pago por kilómetro que reciben como contraprestación las concesionarias con el fin de hacer frente a sus costos de operación.

1.6 Situación financiera del sistema Metrobús

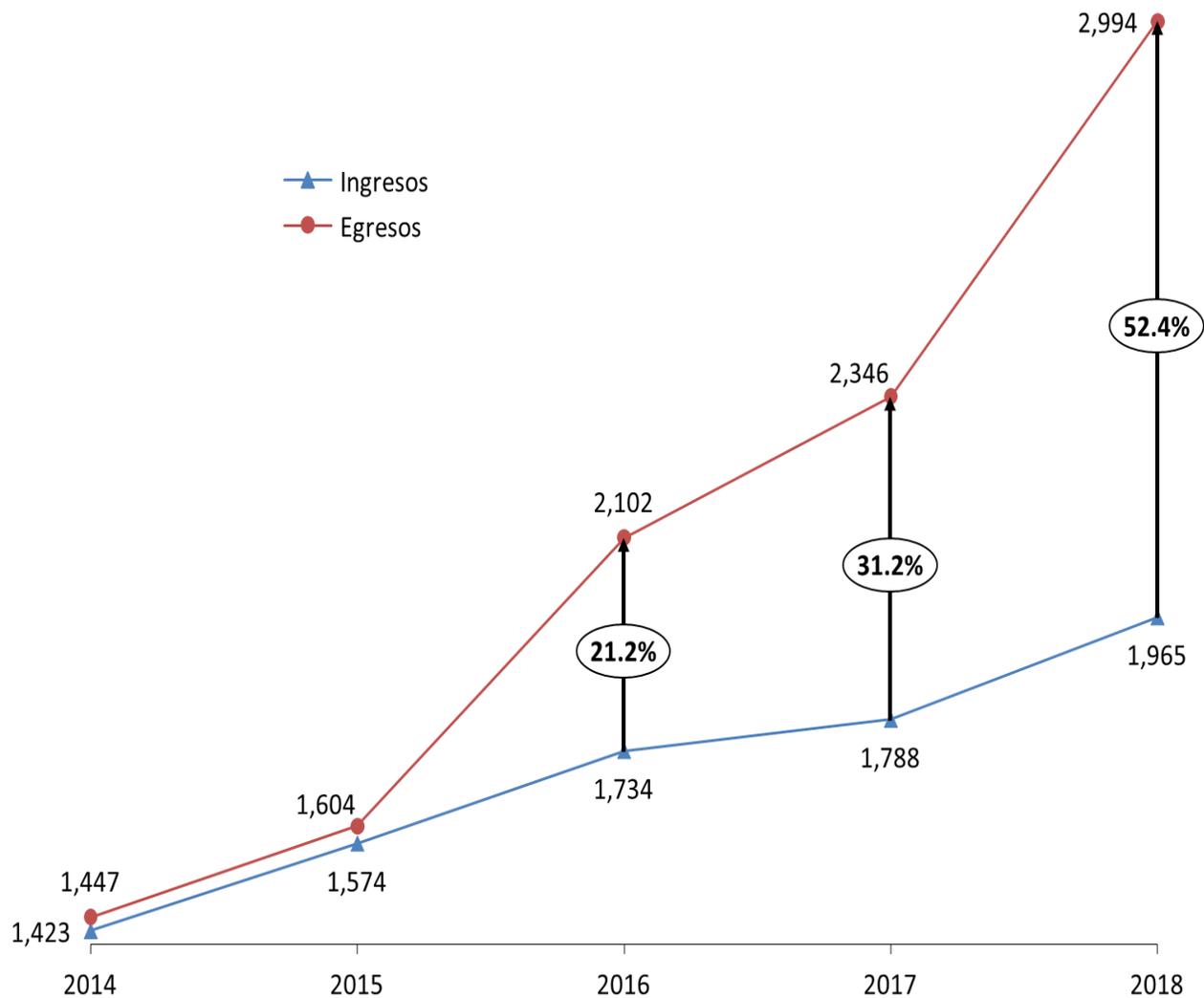
En la primera sesión ordinaria del consejo directivo de Metrobús de fecha 21 de febrero de 2019, se mostró una estimación de ingresos y egresos del fideicomiso No. 6628 para el año 2019; en dichas estimaciones se muestra un déficit aproximado de 776.34 mdp; asimismo se proyectaron ingresos provenientes del fideicomiso por 2,015.10 mdp y por concepto de subrogaciones de 637.24 mdp.

En cuanto los egresos se proyectaron erogaciones por concepto de pago por kilómetro de 2,140 mdp que representa el 62% del total de egresos, otros conceptos relevantes como complementarios y peaje, se estimaron erogaciones por 387.46 mdp y 310.52 mdp respectivamente; el restante de las erogaciones las completan conceptos de línea 7; SAE; conexos; mantenimiento de buses de línea 4 y 7; y fiduciario.

En la figura 13, se muestra una evolución histórica de la situación financiera del fideicomiso No. 6628, se puede apreciar la gran brecha que existe entre ingresos del fideicomiso provenientes de la recarga y venta de tarjetas; con los egresos los cuales están clasificados en la prelación de pagos del fideicomiso.

El déficit en el que está inmerso el fideicomiso ha tenido un crecimiento sustancial a partir del año 2016 en el que se registró un déficit del 21.2%, al solo ingresar a las cuentas del fideicomiso \$1,734 mdp y egresos por \$2,102 mdp. En los años siguientes la tendencia continua, en el año 2017 donde la brecha entre ingresos y egresos fue de 31.2% equivalente a 558 mdp; en el último año que se tiene registro, el déficit se disparó al casi al doble del año anterior, la diferencia entre ingresos y egresos fue de aproximadamente mil millones de pesos al registrar ingresos por debajo de los 2 mil millones de pesos y egresos por casi 3 mil millones de pesos equivalente a un déficit de 52.4%.

Figura 12. Ingresos y egresos del Fideicomiso No.6628 (Millones de pesos)



Fuente: Elaboración propia con datos de la primera sesión ordinaria consejo directivo de Metrobús 21 de febrero de 2019.

Ante la insuficiencia de recursos provenientes en su gran mayoría de la recaudación de la tarifa del servicio y los nulos aumentos en la misma, el organismo público descentralizado Metrobús a través de presupuesto público destina recursos para cubrir el concepto de pago por kilómetro con el fin de garantizar la estabilidad financiera del sistema. Dicho pago se realiza con cargo de

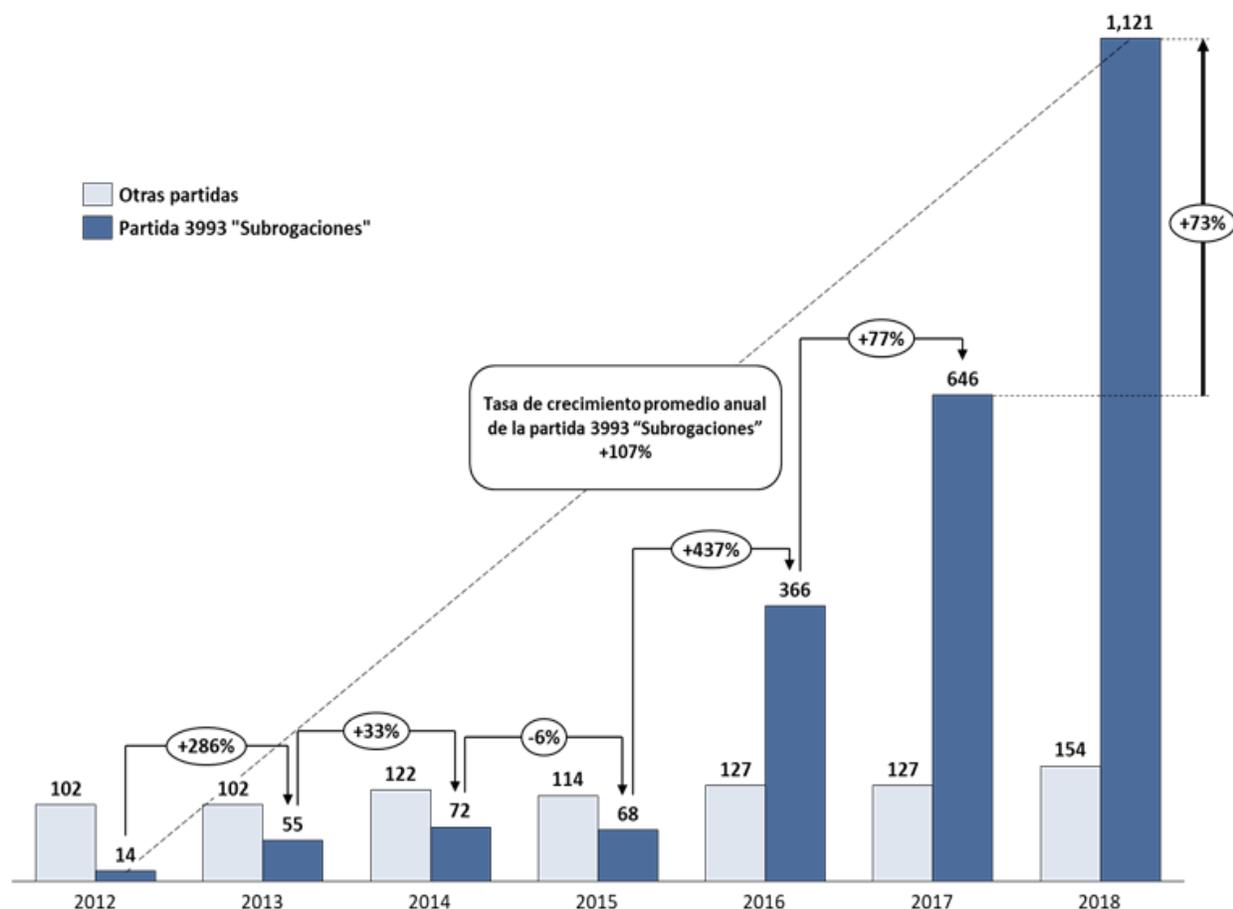
la partida presupuestal 3993 llamada subrogaciones la cual se encuentra estrictamente destinada al pago de la participación en la tarifa por el Servicio Público de Transporte de Pasajeros en el Sistema de Corredores de Transporte Público de Pasajeros de la Ciudad de México Metrobús, que celebran por una parte el Organismo Descentralizado de la Administración Pública de la Ciudad de México denominado Metrobús y por el otro lado la Concesionaria.

En los últimos años, los egresos por concepto de subrogaciones registrados en la partida 3993 han tenido una tasa promedio de crecimiento anual de 107% en el periodo que comprende 2012-2018, los incrementos más significativos comenzaron a partir del año 2016, al pasar de \$68 mdp en el año 2015 a \$366 mdp en 2016 registrando un aumento del 437%, dicha subrogación representó un 74.2% del presupuesto de egresos del organismo Metrobús.

Las subrogaciones en los últimos dos años se han tenido un comportamiento alcista, tan solo en el 2017 se ejercieron 646 mdp 77% más que el año anterior y en el 2018 se erogaron 73% más que el año anterior para llegar a la cantidad de 1,120 mdp. Véase figura 12.

La participación de subrogaciones en el presupuesto de egresos del Organismo Metrobús ha incrementado sustancialmente, para poner en contexto, en 2012 las subrogaciones representaban el 12.2% del presupuesto del organismo, cifra contrastante con el 87.9% que representaba dicho concepto en el 2018. Esta problemática ha repercutido considerablemente en las finanzas públicas debido a las altas erogaciones destinadas a la conservación financiera del sistema Metrobús.

Figura 13. Egresos del Organismos Público Descentralizado Metrobús 2012-2018 (millones de pesos)



Fuente: Elaboración propia con datos de SAF a través de cuenta pública Metrobús.

1.7 Hitos relevantes

A lo largo de este capítulo se analizó la estructura organizacional del sistema Metrobús con el objetivo de identificar la interacción de cada uno de los participantes en el modelo de negocios de Metrobús. Se hizo un estudio de la flota en operación en el sistema con el objetivo de mostrar la necesidad de renovación del parque vehicular actual en cada una de las líneas en operación del sistema, localizando cada una de las unidades con antigüedades mayores a las establecidas en el contrato de concesión.

Se analizó la evolución del pago por kilómetro identificando para cada una de las empresas concesionarias la contraprestación recibida y su evolución a lo largo de la concesión; asimismo, se pudo apreciar la diferencia entre los pagos por kilómetro de las empresas concesionarios de la línea 1 con el resto del sistema, en el cual sin importar el número de concesionarios el pago por kilómetro es idéntico para todos. Adicionalmente, se incluyó un análisis de las dos variables ponderadas para la actualización del pago por kilómetro; la primer variable: combustible ha tenido incrementos promedios de 10% anuales, lo que ha provocado un aumento en los costos de combustible que a su vez se encuentra ligado al factor de rendimiento por antigüedad provocando un encarecimiento en los costos operativos por concepto de combustible que equivale aproximadamente al 35% en la estructura de costos de los sistemas de transporte.

La segunda variable que considerar en el pago por kilómetro es el INPC, desde el inicio de operación del sistema Metrobús la inflación se ha tenido crecimientos promedios de 4%, lo que ha provocado el encarecimiento de ciertos insumos para realizar el mantenimiento adecuado. Derivado de la evolución de las variables antes mencionadas se ha tenido que ajustar el pago por kilómetro, lo que ha provocado incrementos en los egresos del fideicomiso por dicho concepto.

Por último, se observaron los problemas financieros del fideicomiso Metrobús, cuya principal problemática se centra en la disminución de la recaudación proveniente de la venta de tarjetas y tarifa del sistema con respecto a los egresos destinados a cubrir en su gran mayoría pago por kilómetro; créditos; servicios operacionales como peaje, SAE y conexos; entre otros gastos establecidos en el fideicomiso. Derivado de la problemática antes mencionada se logró examinar la evolución de los recursos destinados al apoyo en las finanzas del sistema Metrobús a través de la partida subrogaciones provenientes de recursos presupuestales del organismo Metrobús.

CAPÍTULO 2. ESTUDIOS TCO ENFOCADOS EN TECNOLOGÍAS SUSTENTABLES PARA TRANSPORTE

2.1 Introducción

En este segundo capítulo se busca abordar un marco conceptual enfocado en el modelo TCO, por lo cual se estudiarán los antecedentes históricos de estudios TCO y cuales han sido los enfoques que se le ha dado a esta metodología.

Posteriormente se analizarán todos aquellos estudios TCO enfocados en el sector transporte que evalúen vehículos de tecnologías eléctricas con tecnologías convencionales con el objetivo de evaluar las variables utilizadas para el desarrollo del modelo; así como, identificar las ventajas y desventajas de utilizar este tipo de modelos y la evolución de las metodologías utilizadas para la evaluación del TCO en materia de transporte.

Por último, se revisarán estudios enfocados a la evaluación TCO de transporte público, con el objetivo de obtener datos utilizados en estudios que puedan incorporarse en el modelo TCO del sistema Metrobús, se analizarán las limitantes de cada estudio y cada uno de los resultados obtenidos, así como las conclusiones y recomendaciones emitidas por los autores de cada estudio.

2.2 Antecedentes del modelo TCO

El costo total de propiedad (TCO por sus siglas en inglés Total Cost of Ownership) es un análisis destinado a descubrir todos los costos de por vida que resultan de adquirir ciertos tipos de activos, algunas veces el TCO es denominado análisis del costo del ciclo de vida operativo.

El estudio de TCO se basaba principalmente en los costos asociados que conlleva una compra, esto quiere decir los costos de propiedad como la instalación, implementación, uso, actualización y mantenimientos de los activos.

Argumentando que dichos costos pueden ser sustanciales, el análisis TCO encuentra una diferencia significativa entre el precio de compra y los costos totales del ciclo de vida (Schmidt, 2010).

Dicho análisis se comenzó a utilizar en el sector de tecnologías de la información (IT) a finales de los 80's, los analistas realizaban estudios en el cual mostraban una gran diferencia entre los precios de los sistemas de IT y los costos de los sistemas.

Ellram (1995) define al TCO como una metodología y filosofía, la cual mira más allá del precio de compra e incluye todos aquellos costos indirectos incurridos. Este enfoque proporciona las herramientas para comprender y administrar los costos, por lo que ha retomado importancia para las organizaciones.

Ellram & Siferd (1998), exploran el concepto de TCO y definen la relación entre el TCO y la gestión estratégica de costos a través del estudio de 11 firmas, llegando a la conclusión que existen diversas barreras para implementar el TCO junto con la gestión estratégica de costos; por lo que las adquisiciones deben ser vistas como una actividad estratégica.

Existen diversos enfoques matemáticos en el estudio del TCO, tal es el caso de Degraeve et al. (2005), demuestra que deben usarse modelos de programación matemática para explotar la información del TCO al evaluar las opciones de adquisición estratégica de la empresa, llegando a la conclusión que el uso del sistema de información en toda la empresa para la adquisición estratégica basada en datos de TCO, muestra el ahorro en costos del 10%.

Hurkens et al. (2006) muestran a través de un modelo TCO para la industria de vidrios de automóviles como se puede administrar proveedores y mejorar el proceso de la cadena de suministros; demuestran que el TCO puede ser útil para descubrir los costos directos y ocultos de realizar negocio con diferentes proveedores.

2.3 Modelo TCO para sector transporte

La integración del estudio del TCO en apoyo de la electromovilidad es una herramienta que proporciona a los tomadores de decisiones del sector transporte público y privado, un panorama económico sobre la viabilidad de la implementación de tecnologías sustentable en los sistemas de transporte, además de redireccionar las perspectivas y horizontes de evaluación, promoviendo una visión de largo plazo, aunque esto sacrifique los beneficios de corto plazo.

En los años recientes se han realizado diversos estudios relativos a la implementación de vehículos eléctricos, dichos estudios basan su análisis bajo el enfoque TCO e incluyen el factor de costo por externalidades principalmente contaminación de aire y ruido; gran parte de dichos estudios concluye en los beneficios económicos y sociales del uso de vehículos eléctricos con respecto a vehículos de combustibles fósiles.

Clerck, et al. (2016), analizan alternativas tecnológicas por medio de un enfoque TCO para vehículos con; tecnologías limpias (híbridos, eléctricos) y tecnologías convencionales (diésel y gas natural); en la región de Bruselas, Bélgica. En el estudio se incluye la evaluación del costo por externalidades, costos por congestiones de tránsito, costos de contaminación del aire y costos de ruido, entre otros. Finalmente, a través de un modelo Total Cost of Society el cual incluye el TCO base y combina los costos por externalidades, llegan a la conclusión que los vehículos de tecnologías eléctricas e híbridos son benéficos para la sociedad al generar menores costos que los vehículos a base de diésel y gas natural.

Por su parte, Mitropoulos, Prevedouros, & Kopelias (2017), realizan un estudio de LCC en el que consideran los costos directos e indirectos, se evaluaron las externalidades las cuales incluían el valor presente de la pérdida de tiempo para reabastecimiento de combustible y mantenimiento de vehículos, y Los costos externos de por vida incluyen contaminantes del aire y GEI.

Adicionalmente, se evaluaron los costos operativos durante la vida útil del desde el momento de la compra del vehículo hasta el momento del desguace, incluido el suministro de combustible, mantenimiento, impuestos, seguro, registro y costos de licencia de conducir. En su estudio concluyen que los bajos costos en externalidades de los vehículos eléctricos eran compensados con el alto costo de adquisición. Aunado a esto, observaron el potencial a largo plazo de los vehículos eléctricos como alternativa para reducir el impacto ambiental, combinado con políticas para apoyar la creación de un sistema de transporte sustentable. (Mitropoulos, et al, 2017)

Lebeau, et al (2013) desarrollan un modelo de TCO para tres segmentos diferentes de automóviles, el objetivo principal del documento era comparar la rentabilidad de los vehículos híbridos eléctricos (HEVs), vehículos de baterías (BEVs) y vehículos híbridos eléctricos enchufable (PHEVs) con respecto a los vehículos convencionales (gasolina y diésel); evaluando todos los costos incurridos durante la vida útil prevista del vehículo se incluyen: costo de compra, impuesto de matriculación, impuesto de circulación de vehículos, mantenimiento, costos de llantas y control técnico, costo de seguro, costo de arrendamiento de batería, costo de reemplazo de batería y costo de combustible o electricidad.

Para realizar el modelo TCO Lebeau, et al (2013) realizaron los cálculos en tres pasos: Análisis de cada flujo de costos (periódicos); Cálculo del valor presente de los costos únicos y recurrentes; y División del valor presente por el número de kilómetros durante la vida útil del vehículo con el objetivo de identificar un costo por kilómetro.

Los resultado del análisis TCO para los segmentos pequeños arrojó un rango de €/km de 0.18-0.23 para carros a base de gasolina, 0.19-0.21 para vehículos diésel y 0.30-0.36 para BEVs, la diferencias entre los costos se debe en gran medida a la proporción del costo de depreciación de los BEVs en el porcentaje de los costos totales. Sin embargo, la proporción de costos de combustible y electricidad en el

porcentaje de los costos fue menor en el los BEVs al representar tan solo el 8% del total de los costos a diferencia del 38% en gasolina y 25% en diésel.

En los vehículos de segmento mediano los resultados obtenidos no contaban con una brecha tan grande como el segmento mediano, los €/km oscilaban entre los 0.27 a 0.31 para vehículos convencionales y 0.27 a 0.50 para los vehículos eléctricos siendo los Híbridos los más rentables de esta categoría y los PHEVs los más costosos; para dicho segmento se concluyó que realizar un leasing de batería resulta más rentable que comprar el carro con la batería incorporada, en cuanto al costo de depreciación se obtuvieron porcentajes semejantes para todos los tipos de vehículos a excepción de los PHEVs.

Por último, el segmento Premium se evaluó un vehículo BEV de la marca Tesla Modelo S, en sus diferentes tipos de configuraciones de baterías 40kWh, 60kWh y 85 kWh; los resultados arrojados que los BEVs tienen un costo por kilómetro competitivo comparado con los vehículos convencionales.

2.4 Modelos TCO enfocados en transporte público

Argonne National Laboratory (2013) desarrolló una herramienta llamada Alternative Fuel Life-Cycle Environmental and Economic Transportation (AFLEET) que permite estimar el uso de petróleo, emisiones de gases efecto invernadero, emisiones contaminantes de aire, y el costo de propiedad de vehículos ligeros y pesados. La herramienta provee cuatro métodos de cálculo dependiendo de las metas de cada uno de los usuarios.

La primera opción de cálculo es a través de la calculadora de recuperación de la inversión (Payback) la cual examina el valor de compra y los costos operativos anualmente para calcular el periodo de tiempo necesario para recuperar la inversión con el objetivo de comparar el Payback de un vehículo convencional en comparación con vehículos de alternativas avanzadas. La segunda alternativa es la calculadora del costo total de propiedad, mediante una evaluación del valor presente neto de los costos operativos y fijos durante los años de propiedad

proyectada de un vehículo nuevo, adicionalmente incorpora el análisis de uso de combustible durante su vida útil.

La penúltima opción proporciona un cálculo de la huella de flota en el que se estima el uso anual de combustible, la emisión de gases efecto invernadero y emisión de contaminantes atmosféricos de vehículos existentes y nuevos; dicho cálculo toma en cuenta la antigüedad de los vehículos derivado de un factor de antigüedad el cual propicia un aumento en las emisiones de contaminantes atmosféricos en comparación de las unidades nuevas.

Por último, la calculadora de reducción de ralenti (IR) examina los costos operativos y de adquisición anuales para calcular una recuperación simple de la compra de vehículo de alternativa avanzada en comparación con un vehículo convencional, así como el uso promedio anual de combustible, GEI y emisiones de contaminantes atmosféricos (Argonne National Laboratory, 2018).

Por su parte, Sierra Club (2017) realiza un análisis comparativo entre unidades eléctricas, nuevas a diésel y gas natural en la región de Massachusetts a través de la herramienta desarrollada por Argonne llamada AFLEET, en dicho análisis demuestra que los buses eléctricos cero emisiones tienen un TCO 15% más bajo que los buses diésel nuevos, basado en datos reportados recientemente, se estimó que cada bus eléctrico ahorraría a la Massachusetts Bay Transportation Authority (MBTA por sus siglas en inglés) arriba de \$200,000 dólares en comparación con una unidad a base de diésel.

Para entender dichos resultados, se puede explicar en gran parte por los ahorros obtenidos en los costos totales por concepto de mantenimiento y operación fueron entre el 70% y 79% más baratos que los buses de gas natural y buses diésel respectivamente; y por el comportamiento de los combustibles en el cual la electricidad insumo principal de los buses eléctricos ha demostrado un precio más estable en la región en comparación con el diésel y gas natural. (Sierra Club, 2017).

Sheth & Saka (2019) realizan un estudio para el transporte público de la India, el cual es uno de los sectores que más contribuyen con el deterioro de la calidad del aire y la salud humana, el objetivo primario de dicha investigación era el comparar buses eléctricos y diésel a través de un enfoque de costos durante el ciclo de vida (LCC por sus siglas en inglés Life Cycle Cost), dicho enfoque cuantifica los costos de adquisición y operación por medio de herramientas como el TCO y su evaluación tomando como criterio principal el valor presente neto.

“Según el análisis, se observó que cuando se evalúa durante un ciclo de vida de 25 años, que es la vida normal de la infraestructura de transporte, como los pavimentos en India, el costo total de propiedad de los autobuses eléctricos (INR 36,6 millones o USD 571.875) es significativamente menor que el de los autobuses diésel (INR 39.1 millones, o USD 610,938) incluso si se ignoran los costos externos de la contaminación. Esta tendencia también está respaldada por el análisis de VPN, en el que la opción de autobús eléctrico NPV (INR 26.2 millones o USD 409,375) es significativamente más barata que la del autobús diésel NPV (INR 32.3 millones o USD 504,688).” (Sheth & Sakar, 2019, pág. 113)

Como conclusión, Sheth & Saka (2019) mencionan que los autobuses eléctricos, aunque implican un alto gasto de capital (dos o tres veces mayor que los autobuses diésel), tienen costos recurrentes mucho más bajos y parecen ser factibles a la luz de los beneficios a largo. Adicionalmente señalan que el costo de propiedad es más sensible al costo de adquisición del bus por lo que se requieren crear mecanismos de financiamiento alternativos para el gasto de capital, y plantear que los ahorros en los costos operativos por parte de un bus eléctrico pueden permitir la renovación de flotas.

Aber (2016) realiza un análisis para la ciudad de Nueva York que consistió en la comparación de la flota actual de buses que se conforma principalmente de diésel, buses híbridos diésel y algunos de gas natural. El análisis consideró un tiempo de vida de 12 años y se evaluó el costo total de la propiedad el cual incluye la

compra del bus, costos de electricidad o combustible, y mantenimiento; asimismo se incluyeron ahorros asociados a los ahorros asociados a los beneficios en salud y costos de carbono; evaluando la alternativa de buses eléctricos y buses diésel. Adicionalmente se evaluaron indicadores financieros como valor presente neto VPN y el tiempo de retorno de la inversión (Payback).

Los resultados del análisis utilizando la alternativa 1 la cual considera precios promedio de electricidad, diésel y gases de efecto invernaderos; un costo de carbón de \$36/ tonelada métrica y una tasa de descuento del 3%, se obtuvieron los siguientes resultados:

“El costo total de un autobús eléctrico es apreciablemente más alto que el costo del autobús diésel. Sin embargo, los ahorros en los costos de operación y mantenimiento deberían compensar con creces el diferencial inicial de costos y proporcionar un caso de negocio modestamente positivo (excluyendo los costos de beneficios de atención médica). Esto se debe al menor costo de la electricidad para un autobús eléctrico en comparación con el costo del combustible diésel para los autobuses de la flota actual, así como el tren de potencia del autobús y otros costos de mantenimiento más bajos para el autobús eléctrico. El uso de la Alternativa 1 muestra ahorros de aproximadamente \$160,000 dólares durante los 12 años de vida útil del autobús, con un VPN de \$85 mil dólares asociado con la inversión incremental, aunque con un período de recuperación no muy atractivo de 7.69 años. Agregar los costos de atención médica más bajos de \$100 mil dólares por autobús por año en la ecuación hace que el caso financiero sea convincente.” (Aber, 2016, p. 29)

En los resultados antes descritos no se incluyeron los ahorros obtenidos por concepto de fases de efecto invernaderos, dichos ahorros son cercanos a las 500 mil toneladas métricas por año, con base en dicho análisis se propone dar el siguiente paso a la compra de buses eléctrico argumentando todos los beneficios en la salud y reducción de las emisiones de gases contaminantes. Adicionalmente,

recomienda al NY City Transit, una compra de 10 buses de cada tipo de al menos dos proveedores con el objetivo de poner a prueba sus modelos al menos por un año para adquirir experiencia y entender el rendimiento de las baterías con los diferentes tipos de clima de New York.

Otro estudio enfocado en la comparación de TCO de buses eléctricos con diésel y gas natural fue realizado por Topal & Nakir (2018) para la ciudad de Estambul, Turquía. Su estudio tiene como objetivo demostrar la viabilidad para una transición a tecnologías sostenibles y cero emisiones en el transporte público de Estambul.

A través de un enfoque llamado “Modelo compra y Operación de bus Cero-emisiones (ZEBusPOM por sus siglas en inglés) el cual consiste en 5 pasos:

1. Pruebas de rendimiento en campo: consiste en llevar a cabo las pruebas de rendimiento del vehículo en condiciones reales de campo como tiempo de viaje, ruta establecida y condiciones de viaje en la ciudad de Estambul, se calcula sobre la base de 300 días y el 82% de eficiencia en operación dentro de 1 año;
2. Creación de la fuente de datos: los datos son obtenidos como resultados de las pruebas de campo, se analizan parámetros técnicos y económicos como costo medio de combustible, tiempo de suministro para llenar tanque de combustible, consumo de energía por km, emisiones de GEI y rango promedio para un tanque lleno, entre otros parámetros.
3. Análisis TCO, considera la compra de los buses y los costos operaciones la cual depende de las variables de los operadores de transporte.
4. Análisis Económico; para realizar el análisis económico se consideró el valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR) y el periodo de recuperación de la inversión.
5. Evaluación y comparación de los resultados obtenidos en el análisis económico, centrando la evaluación en variables como se comparan los costos de adquisición de los buses y los costos de operación

Topal & Nakir (2018), evalúan los modelos de diésel 12m bus motokar Kent LF, el bus gas natural bus 12 m Karsan Bredamenarinibus y el bus eléctrico 10.7m Bozankaya E-Karat. Los resultados obtenidos del análisis TCO para un período de tiempo de 10 años bajo las condiciones establecidas por la Electricity, Tramway and Tunnel General Management (IETT) fueron: un TCO de €384,187.61 euros para buses diésel; €378,505.92 euros para buses de GNC y €404,307.44 euros para buses eléctricos.

Los resultados a través del análisis económico fueron los siguientes: el periodo de recuperación de la inversión para buses diésel fue de 2.8 años; 3.9 y 5.6 años para buses gas natural y eléctricos respectivamente.

En cuanto al parámetro de Valor actual neto (VAN) se realizó la evaluación con una tasa de descuento de 8%, el valor de los flujos de buses diésel calculado fue de €52'311,540.54 euros. Con la misma tasa de descuento, los buses de gas natural obtuvieron un VAN de €40'129,447.52 euros; por último, los buses eléctricos calcularon un VNA de €19'171,212.50 euros.

Como conclusión Topal & Nakir (2018) consideran que el modelo desarrollado es funcional en el análisis para la transición de buses diésel/gas natural a eléctricos, y puede aplicarse directamente en sistemas de transporte público con características operativas similares a la ciudad de Estambul la cual cuenta con más de 5 mil buses activos diariamente.

En la ciudad de Santiago de Chile, Mujica Carvaja (2014) desarrolló un estudio cuyo objetivo consistió en determinar en qué circuitos del sistema Transantiago existe factibilidad de incorporación de buses y trolebuses eléctricos a través de comparar los costos entre un escenario base de recambio de flota a buses Euro V con los costos de la propuesta a un horizonte de 20 años.

Por medio de un modelo de costos desarrollado por la Universidad de Duke y adecuado al estudio del caso, se evaluaron los siguientes modelos según el tipo de tecnología: Bus Diésel Volvo B7R; Busscar Urbanus Pluss LF Trolebús; Bus

eléctrico BYD K9; Híbrido en Paralelo Volvo 7900 e Híbrido en serie Citea SLF-120/hybrid. Se consideró una flota de 15 buses para realizar la evaluación de costos con una serie de supuestos en el caso del financiamiento de la catenaria utilizada por los modelos Trolebús en la cual asumen una subvención del 33% por el estado y el resto es financiado por medio de una tarifa proporcional al consumo.

Los resultado de los costos a un periodo de 20 años fueron los siguientes, los buses eléctricos tuvieron los menores costos durante el ciclo de vida, si bien los costos de adquisición de dicha tecnología son mayores en comparación con las tecnologías diésel o trolebuses, se compensa con la disminución en el costo de combustible; la segunda tecnología menos costosa fue trolebús explicado en gran medida por los mecanismo de financiamiento de la infraestructura catenaria lo cual provoca que los costos por energía se incrementen sustancialmente, al realizar la evaluación de costos asumiendo que la infraestructura la financia completamente el estado, la tecnología trolebús se convierte en la más económica de todas las opciones. Las tecnologías restantes resultaron ser más costosas que las dos tecnologías antes descritas.

Mujica Carvaja (2014) concluye que *“... existe factibilidad técnica para incorporar tecnología eléctrica cercana a un 35% de la flota de Transantiago, teniendo un ahorro en costos de entre un 5,3% y 12,1% tomando una evaluación a 20 años, y reduciendo alrededor de un 30% los niveles de contaminantes a un horizonte al 2020”*. (Mujica Carvaja, 2014, p. i)

Adicionalmente describe una serie de factores como la renovación de la estructura orgánica institucional que permita coordinar a los diversos actores; reestructuración de contratos de concesión que incentivan por medio de beneficios económicos la transición a un modelo de electromovilidad; y generar mecanismos que generen certidumbre en la vida útil de las baterías utilizadas por buses eléctricos.

2.5 Estudios TCO para transporte público en México

En la ciudad de México C40 Cities Finance Facility realizó un análisis de la implementación de buses eléctricos en el corredor Eje 8 sur con origen-destino: Mixcoac-Constitución de 1917, los objetivos principales de dicho estudio eran el comparar varias opciones tecnologías para buses en el corredor, desarrollar un análisis en el cual los organismos y la administración pública pueda entender y escoger entre diferentes tipos de alternativas tecnológicas.

Para realizar el estudio se determinaron los siguientes parámetros operacionales del corredor:

- Tipo de bus: articulado 18 metros con capacidad para 140 pasajeros.
- Flota mínima de 47 buses con un 10% de flota de reserva.
- Velocidad promedio en la ruta de 18 km/h.
- Kilometraje recorrido en día laboral: 250km.
- Kilometraje recorrido en día no laboral: 150km.
- Días en operación: 260.
- Kilómetros anuales por bus: 73,000 km.
- Kilómetros anuales por flota: 3'775,000 km.

Se evaluaron diversos tipos de buses como:

- Diésel- Euro IV
- Diésel-Euro VI
- Trolebús
- Buses con Oportunidad de carga- ultra rápida y al final de la ruta.
- Bus de batería eléctrica- carga rápida durante el día y carga durante la noche.

Con base en los parámetros antes mencionados se obtuvieron los siguientes parámetros para medir la rentabilidad de cada tipo de tecnología:

- Impactos ambientales (Emisiones y contaminación auditiva), en dicho parámetro se contabilizan las emisiones directas producidas por los buses a través del proceso de combustión y las emisiones indirectas definidas como el resultado de producir energía eléctrica usada para la carga de buses eléctricos o las emisiones producidas por la extracción, refinación, transporte y distribución de combustibles fósiles.
- TCO financiero es la suma de los CAPEX y el valor presente neto del OPEX descontado a una tasa del 8% anual (costo de capital para el sector transporte).

CAPEX: costos iniciales del bus, infraestructura adicional (por ejemplo, cargadores o adquisición de tierras costos) y el costo de reemplazo parcial de las baterías. (C40 Cities Finance Facility, 2018)

OPEX: energía y mantenimientos.

- TCO económico, incluye en su análisis el TCO financiero y los costos asociados a la emisión de gases de efecto invernadero, emisiones locales y contaminación auditiva.

Al final del estudio se obtuvieron los siguientes resultados:

Resultados del TCO financiero:

De todas las tecnologías de autobuses evaluadas para Eje 8 Sur, el análisis demuestra que los buses eléctricos que utilizan carga de oportunidad tienen el TCO financiero más bajo de todas las Tecnologías de buses evaluadas (0.98-0.99 USD / km), más bajas o igual que las tecnologías de autobuses diésel (0.99- 1.00 USD / km). El bus de batería eléctrica con carga rápida tienen un TCO financiero más alto que las tecnologías de buses diésel (1.12 USD / km), Trolebuses (1,32 USD / km) y tecnología de bus de batería eléctrico con carga nocturna (1.39 USD / km) tienen el TCO financiero más alto de todas las tecnologías evaluadas. (C40 Cities Finance Facility, 2018, pág. 9)

Resultados del TCO económico:

Buses eléctricos con carga de oportunidad tiene por mucho, el TCO económico más bajo de todas tecnologías de autobuses evaluadas (1.04 USD / km). Al integrar los costos del medio ambiente impactos de los gases de efecto invernadero y las emisiones locales, el TCO económico de los sistemas de carga de oportunidad es 15-20% más rentable que el diésel tradicional (1.14 USD / km para Euro VI; 1.18 USD / km para Euro IV). La tecnología de buses de batería eléctrico con carga-rápida del (1,18 USD / km) tienen un TCO económico similar o ligeramente superior a las tecnologías de buses diésel. Trolebuses (1,37 USD / km) y bus de batería eléctrico de carga nocturna (1.45 USD /km) tienen el TCO económico más alto de todas las tecnologías evaluadas. (C40 Cities Finance Facility, 2018, pág. 9)

Derivado del estudio realizado por C40 Cities Finance Facility (2018) incluye una serie de opciones financieras con el fin incentivar la implementación de buses eléctrico en el sistema de transporte público:

Inversión de la empresa eléctrica en cargadores y su cobro por la totalidad de consumidores de electricidad en la ciudad. Eso se justifica por los efectos ambientales positivos (calidad del aire y ruido) que son aprovechados de todos habitantes y no sólo de los usuarios de transporte. Acceder a financiamiento de carbono por la diferencia del TCO financiero entre buses eléctricos y de diésel. Los costos marginales de reducción de CO2 de sistemas de carga de oportunidad son negativos o muy bajos. No se podrá cubrir la totalidad de la diferencia del CAPEX, sino sólo una contribución para compensar por ejemplo por mayores riesgos.

Establecer un sistema de leasing con pago por kilometraje o una ESCO (Energy Saving Company) y combinarlo con un fondo de garantía

(performance guarantee fund) para cubrir el riesgo de un TCO financiero del bus eléctrico menor del proyectado. De esta manera se facilita que el operador tome la decisión tecnológica considerando el TCO en vez del CAPEX.” (C40 Cities Finance Facility, 2018, pág. 11)

Otro estudio elaborado en materia de electromovilidad para México fue realizado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2018), el objetivo principal de dicho estudio era identificar tecnologías de bajo carbono vehiculares, económicamente viables y con potencial de reducción de emisiones para el transporte público de pasajeros en zonas metropolitanas de ciudades como Cancún, Quintana Roo; Chihuahua, Chihuahua; Ciudad Juárez, Chihuahua; Guadalajara, Jalisco; Mexicali, Baja California; Monterrey, Nuevo León; Morelia, Michoacán; Tijuana, Baja California y Veracruz, Veracruz.

Dicho análisis se enfoca en un modelo de costos total de propiedad, emisiones contaminantes, indicadores económicos-financieros; tomando en cuenta un vehículo predominante en el transporte público de pasajeros unidades colectivas a diésel, así como su sustituto equivalente a las tecnologías de bajo carbono de unidades colectivas a base de gas natural, híbrido y eléctrico.

Uno de los resultados que arrojó el modelo TCO para la zona metropolitana de Guadalajara fue la siguiente, para las unidades colectivas tipo GNV el TCO fue 18.4% menor en comparación con la tecnología convencional; sin embargo, las emisiones de dióxido de carbono resultaron ser mayores que una tecnología convencional. En cuanto a las unidades eléctricas, se obtuvo un TCO menor en 12% comparado con las unidades convencionales, dicho resultado se puede explicar por los bajos costos de electricidad utilizados en las unidades eléctricas con respecto al combustible diésel utilizado en las tecnologías convencionales.

Tras analizar los resultados del modelo se determinaron factores que limitan la implementación de tecnologías de bajo carbono, entre ellos se encuentran: la falta

de infraestructura para tecnologías de bajo carbono, dependencia de importación en tecnologías, escasos modelos de negocios que incentiven la inversión en proyectos de tecnologías de bajo carbono. Adicionalmente, se requiere del compromiso de las autoridades que incentiven y promuevan el tránsito a adquirir unidades de bajo carbono, adecuando marcos regulatorios, ampliando la antigüedad de la concesión del vehículo con tecnologías de bajo carbono para poder seguir operando, disminuyendo los pagos de derechos y apoyando el desarrollo de infraestructura para la adecuada operación de las unidades. (INECC, 2018)

2.6 Hitos Relevantes

Durante el capítulo se mostraron ciertos estudios referentes a la implementación del modelo TCO en diversos sectores como telecomunicaciones o automotriz, demostrando los beneficios de usar dicha metodología en el análisis de costos de una empresa, permitiendo identificar cada uno de los costos indirectos asociados a la adquisición de diversos activos.

Asimismo, la metodología TCO puede ayudar al análisis de transporte público ya que basaba su estudio principalmente en los costos asociados que conlleva la compra de una unidad, esto quiere decir que la evaluación TCO cuantifica los costos de propiedad como la instalación, implementación, uso, actualización y mantenimientos de los activos.

En materia de transporte público, se pudo observar que en diversas ciudades las tecnologías limpias son competitivas en cuanto costos operacionales se refieren (ahorro por concepto de combustible y mantenimiento en comparación de unidades diésel), también se encontró una limitante en los costos de capital de las unidades eléctricas respecto a las convencionales, lo cual complica una transición paulatina a tecnologías limpias.

Los estudios revisados permitieron desarrollar el marco metodológico utilizado para la construcción del presente modelo.

CAPÍTULO 3. MODELO TCO-MB

3.1 Introducción

El presente capítulo está diseñando para evaluar la viabilidad económica de la implementación de buses con tecnologías diésel y eléctricas a través de un modelo TCO. La primera parte del capítulo se enfoca a describir las variables técnicas, macroeconómicas, financieras y operativas necesarias para la construcción del modelo TCO-MB.

Posteriormente se realizarán los cálculos pertinentes del periodo a evaluar con el fin de identificar los costos totales por concepto de CAPEX y OPEX de las tecnologías a comparar y se incluirán indicadores como costo por km, TIR, VAN y Payback con el fin de seleccionar la tecnología más viable para la renovación de la flota del sistema Metrobús.

Por último, se expondrán los resultados con el fin de realizar un análisis detallado de los mismos que puedan cuantificar los posibles ahorros operativos; la viabilidad económica del proyecto y la disminución de egresos del fideicomiso propiciando un equilibrio financiero del sistema.

3.2 Modelo TCO-MB

Para demostrar los efectos beneficios económicos de la implementación de buses eléctricos con respecto a las tecnologías convencionales en la línea 1 del sistema Metrobús se construirá un modelo llamado TCO-MB, el cual evaluará todos aquellos costos operativos y de capital asociados de las unidades durante un periodo de 10 años, así como indicadores de rentabilidad que permitan localizar la alternativa tecnológica más viable para la sustitución de unidades de la flota actual susceptibles a ser renovadas.

Se evalúan 2 posibles escenarios; el primer escenario contempla en el análisis de CAPEX los conceptos de enganche, financiamiento y costos operativos a cargo de

las empresas concesionarias. El segundo escenario solo contempla el enganche mínimo por concepto de CAPEX; tal y como se establece en los contratos de concesión del sistema Metrobús, y todos los costos operativos.

En cuanto los costos operativos, los salarios de operadores y costos administrativos tienen el mismo valor en cada tipo de tecnología a diferencia de seguros, combustible y mantenimientos; los cuales cambian dependiendo el tipo de tecnología.

Para efectos de este modelo en los buses eléctricos suponemos que la inversión de infraestructura de carga es financiada por parte del organismo Metrobús. Dado que usualmente, en el modelo de negocios actual, las obras de infraestructura corren a cargo de la Secretaría de Obras y Servicios de la Ciudad de México y son administradas por el organismo Metrobús, quién recibe a través del fideicomiso una aportación por concepto de administración, así como pagos relativos a servicios conexos (luz, seguro y limpieza de las estaciones).

Adicionalmente, no se considera el reemplazo de batería para los buses eléctricos debido a las especificaciones establecidas por el proveedor BYD en el que mencionan una vida útil de 6.000 ciclos que son equivalentes a 16,4 años de carga y la vigencia de la concesión es menor a ese lapso.

3.3 Metodología del modelo TCO-MB

El modelo TCO evalúa los costos operativos y de capital de una tecnología de bus diésel y eléctrica, los cuales se describen a continuación:

- Costos de capital:
 - Enganche: con base en los contratos de concesión se establece un enganche mínimo de 20% del valor del bus.
- Gastos financieros:
 - Estructura de financiación de los buses, considerando los parámetros de la concesión. Se define como el valor que aporta el

concesionario en la compra del vehículo y el correspondiente a la financiación.

- Financiamiento

$$\text{Compra buses} = \text{Enganche} + \text{Financiamiento}$$

- Costos operativos:

- Seguro de buses: un contrato de seguro que cubre los riesgos creados por la conducción de buses en caso de causar un accidente. Se calcula multiplicando el valor del bus en el periodo de evolución con la prima de riesgo asociada.

$$\text{Seguro} = \text{Valor del bus (año)} * \text{Prima de seguro}$$

- Combustible: el costo de combustible se calcula con variables como: kilómetros anuales recorridos, rendimiento, factor de consumo por antigüedad y precio de combustible (diésel electricidad).

$$\text{Combustible} = \frac{\text{Km recorridos}}{\text{Rendimiento}} * \text{FCA} * \text{Precio diésel}$$

El factor de consumo por antigüedad se refiere a la pérdida de rendimiento derivado del desgaste mecánico por antigüedad y uso del bus.

- Salario del operador: remuneración de conductores anual, considera la remuneración mensual de conductores por el factor de prestaciones por meses de operación (12).

$$\text{Salario operador} = \text{Remuneración mensual} * \text{Factor de prestaciones} * 12$$

- Mantenimientos: corresponde a la mantención preventiva y correctiva de la carrocería, sistemas eléctricos y mecánicos de los buses con el fin de tener un correcto funcionamiento de los buses. Se cuantifica a través del precio de mantenimientos (preventivos y correctivos) por kilómetro.

$$\text{Mantenimiento} = \text{Pesos} * \text{kilómetro}$$

- Reemplazo de llantas: cambio de llantas 2 veces al año.

$$\text{Reemplazo llantas} = \text{Periodicidad} * \# \text{ llantas} * \text{Precio por llanta}$$

- Gastos administrativos: valor de la plantilla y servicios administrativos.

Plantilla administrativa: remuneración de la plantilla considerando un factor de prestaciones del 35%.

Esquema de plantilla administrativa para una flota de 57 unidades (próximas a ser renovadas en la línea 1):

- 1- Director.
- 4- Gerentes de operaciones.
- 8- Supervisores.
- 20- Administrativos.
- 60- Auxiliares operativos.
- 28- Personal de limpieza.
- 14- Vigilancia.

Las remuneraciones totales de la plantilla se dividen entre el parque vehicular.

$$Personal = \frac{Remuneracion * plantilla * (1 + factor de prestaciones) * 12}{Tamaño de flota}$$

Servicios administrativos: costos asociados al arrendamiento de oficinas, servicios públicos, mantenimiento instalaciones y papelería.

- Ingresos empresas concesionarias:
 - Ingresos operativos de la empresa concesionaria que están determinados por el pago por kilómetro de servicio en el corredor Av. Insurgentes línea 1.

$$Remuneraciones = Pago por km * kilómetros recorridos$$

Se utilizará el pago por kilómetro de las concesionarias CISA y RECSA; debido a que cuentan con la mayor cantidad de buses a ser renovados. No se toma en cuenta la concesionaria RTP ya que no es un modelo privado y se emplea más como una concesionaria de apoyo al sistema.

- Indicadores para determinar la rentabilidad de cada tecnología:
 - Tasa Interna de Retorno (TIR); es la tasa de descuento que iguala el valor presente de los ingresos del proyecto con el valor presente de los egresos. Es la tasa de interés que, utilizada en el cálculo del valor actual neto, hace que este sea igual a 0 (Mete, 2014).
Los criterios de aceptación del proyecto con base en este indicador son los siguientes y donde k = tasa de descuento:
 - Si $TIR > k$, el proyecto será aceptado ya que los ingresos cubrirían los egresos y generan beneficios adicionales.
 - Si $TIR=k$; es indiferente realizar el proyecto o escoger alternativas, ya que generarían un beneficio idéntico.
 - Si $TIR < k$; el proyecto debería rechazarse ya que no alcanzaría la rentabilidad mínima requerida en la inversión.
 - Valor Actual Neto (VAN): se define como el valor actual de los flujos de efectivo netos (ingresos – egresos) de un proyecto, para realizar el cálculo se requiere determinar una tasa de descuento, número de periodos de vida útil del proyecto, inversión inicial y flujo de efectivo neto del periodo.
Los criterios para aceptar el proyecto son los siguientes:
 - $VAN > 0$: el valor actual de los flujos, a la tasa de descuento generará beneficios.
 - $VAN = 0$: El proyecto no generaría beneficios ni pérdidas, por lo que su ejecución sería indiferente.
 - $VAN < 0$: el proyecto generaría pérdidas y debería ser rechazado por el inversionista.
 - Payback: es el plazo de recuperación de la inversión inicial.

- Costo por kilómetro: nos indica el costo por kilómetro en un periodo definido y se obtiene dividiendo los costos totales entre el kilometraje recorrido en el periodo de evaluación.

Buses a evaluar

Para determinar las unidades BRT a evaluar en el modelo se realizó un estudio de mercado en el cual se compararon diversas marcas y modelos BRT 18 metros, de las tecnologías convencionales y eléctricas, en el estudio de mercado se escogió la unidad más representativa de cada tecnología con base en los criterios de selección como: experiencia en el mercado de buses BRT, características de unidades e información disponible.

A continuación, se presenta un listado de los buses evaluados por tipo de tecnología.

Tabla 9. Estudio de mercado buses eléctricos

Marca	Tipo de tecnología	Energía	Longitud (m)	Tipo de entrada
VOLVO	Carga de oportunidad	Pantógrafo carga rápida	12	Piso bajo
	Baterías	Batería carga lenta (600 kWh)	12	Piso bajo
YUTONG	Bus de Baterías ZK6118HGA	Baterías carga nocturna (324 kWh)	12	Entrada baja
SUNWIN	Bus de Baterías	Baterías carga lenta (320 kWh)	12	Piso bajo
	Bus de Baterías	Baterías carga lenta (320 kWh)	12	Entrada baja
	Bus de Baterías	Baterías carga lenta (320 kWh)	18	Piso bajo

BYD	Bus de Baterías K9F	Baterías carga nocturna (324 kWh)	12	Entrada baja
	Bus de Baterías K11A	Baterías carga nocturna (438 kWh)	18	Piso alto
MERCEDES BENZ	Bus de Baterías	Baterías carga nocturna (243 kWh)	12	Piso bajo

Fuente: BYD, Volvo, Yutong, Sunwin, Mercedes Benz

Con base en el estudio de mercado de buses eléctricos se determinó elegir el bus de la marca BYD, modelo K11A con tecnología de baterías, para sustentar dicha elección se evaluaron los siguientes parámetros:

- Inversión en infraestructura: se eligió la tecnología de baterías con carga nocturna, debido a que no requieren altas inversiones en infraestructura en comparación con la tecnología de carga de oportunidad o trolebús. Este tipo de tecnología es conveniente para el modelo de negocios del sistema Metrobús ya que cada concesionaria cuenta con un patio de encierro en el cual podría montarse la infraestructura de carga.
Adicionalmente, la carga nocturna proporciona un mayor margen de operación al permitir realizaría la recarga en horarios nocturnos en los cuales no se encuentran en operación las unidades.
- Experiencia en el mercado de buses eléctricos: BYD es el mayor productor de vehículos eléctricos en el mundo. Cuenta con unidades alrededor del mundo, su flota más significativa se encuentra en Shenzhen, China; en la cual tienen una flota superior a 10 mil unidades. En Latinoamérica, el gobierno chileno hizo la adquisición se 100 buses BYD K9 convirtiéndolo en la flota de buses eléctricos más grande de Latinoamérica. Otros países como Colombia y Ecuador también han adquirido buses eléctricos de la marca BYD en los últimos años.

- Características de los buses: El modelo K11A cuenta con características similares a los modelos BRT a ser sustituidos (longitud y capacidad de pasajeros). Véase tabla 9.
- Información disponible: derivado de la experiencia en sistemas de transporte público como Transmilenio, se cuenta con estudios realizados en campo y bajo condiciones reales de operación con los cuales se puede extraer información necesaria para la evaluación.

Estudio de mercado buses convencionales

Tabla 10. Estudio de mercado buses convencionales

Marca	Tipo de tecnología	Tecnología	Longitud (m)	Tipo de entrada
VOLVO	VOLVO BRT 7300 BIART	EURO V	28	Piso alto
	VOLVO BRT 7300	EURO V	18	Piso alto
	VOLVO ACCES	EURO V	12	Piso bajo
SCANIA	SCANIA MEGA	EURO V	18	Piso alto
	SCANIA NEO MEGA BRT	EURO V	28	Piso alto
DINA	BRIGHTER	EURO V	18	Piso alto
MERCEDES BENZ	GRAN VIALE	EURO V	18	Piso alto
ALEXANDER DENNIS	ENVIRO 500	Baterías carga lenta (320 kWh)	12	Doble piso

Fuente: Fichas técnicas (Volvo, DINA, SCANIA, Mercedes Benz, Alexander Dennis)

Con base en el estudio de mercado de buses de tecnologías convencionales se determinó elegir el bus de la marca Volvo, modelo VOLVO BRT 7300, para sustentar dicha elección se evaluaron los siguientes parámetros:

- Experiencia en el mercado de buses eléctricos: Volvo cuenta con una amplia experiencia en el mercado de BRTs alrededor del mundo. Actualmente, más de la mitad de la flota del sistema Metrobús son de la marca Volvo por lo que se decidió escoger dicha marca debido a la experiencia adquirida durante el tiempo de operación del sistema Metrobús.
- Características de los buses: la unidad seleccionada cuenta con las mismas características de las unidades renovar.
- Información disponible: derivado de la experiencia en sistemas Metrobús y Transmilenio, Colombia, se cuenta con mayor información operativa de las unidades.

Comparativo bus a evaluar convencional y eléctrico.

A continuación, se describirán las características técnicas de cada unidad seleccionada por tipo de tecnología:

Tabla 11. Características técnicas buses por tipo de tecnología

Tecnología	Convencional	Eléctrica
Marca	Volvo	BYD
Modelo	BRT 7300	K11A
Diseño		
Características		
Largo (mm)	18,000	18,000
Ancho (mm)	2,550	2,550
Alto (mm)	3,810	3,260
Pasajeros	160/240	33/>160
Motor	Volvo DH12E EEV	AC Motor de Magneto Permanente (Sin Escobillas)

Potencia máxima	340	492 hp
Torque	1,800	3,000
Llantas	295/80 R 22.5"	295/80 R 22.5"
Combustible	Diésel	Eléctrico
Capacidad de tanques	2 tanques 300 l cada uno	
AdBlue (l)	40	
Tipo de Batería		Hierro fosfato BYD
Capacidad energética		400 kWh / 550 V
Potencia energética		200 KW
Tiempo de carga		2.5 a 3 h
Autonomía		>350 km
Rendimiento (km/l)⁸	1.66	
Rendimiento (kWh/km)⁹		1.44
Fuente: Fichas técnicas Volvo y BYD		

⁸ Fuente: Ficha técnica Volvo, Licitación Transmilenio 2018.

⁹ Fuente: Pruebas realizadas por Transmilenio y Universidad Nacional; Bogotá, Colombia.

Supuestos del modelo

La estructura del modelo TCO-MB requiere de diversas premisas macroeconómicas, de operación, técnicas y de financiamiento. Adicionalmente, se requieren la información de diversos parámetros de entrada para realizar los cálculos correspondientes de costos de capital y operativos.

A continuación, se muestran cada uno de los supuestos utilizados para el cálculo del TCO.

Supuestos operacionales.

Premisas de operación		
Parámetros de Operación	Hora de Inicio	5:00
	Hora de Cierre	23:00
	Horas en Operación	18
Longitud de Ruta (km)	Ida	30
	Vuelta	30
Tiempo fuera de circulación	(min/ día)	80
Velocidad promedio	(km/h)	18
Tiempo de ciclo	(min)	200
Número de vueltas		5
Días a la semana de operación		6
km recorridos al día		300

Supuestos técnicos

Premisas técnicas		
Depreciación técnica	(% anual)	10 %
Factor de consumo por antigüedad	(Máximo)	25 %
Periodo de evaluación	(años)	10
Criterio de renovación de flota	(años)	10

Premisas macroeconómicas

Premisas Macroeconómicas de Evaluación Generales			Fuente
Tasa Impositivas	ISR	30%	SAT

	IVA	16%	SAT
Tipo de cambio USD/MXN	Promedio primer semestre 2019	\$19.16	Banxico
Depreciación Fiscal	% Anual	20%	Metrobús
	Años	5	
Inflación		3.78%	INEGI

Ingresos de la empresa concesionaria

Pago por km Articulado Línea 1		
Concesionaria	Pago por km	Fuente
CISA	\$47.67	Metrobús
RECSA	\$38.96	Metrobús

Costo de financiamiento

Premisas de Financiamiento			Fuente
Inversión	Enganche	20%	Concesión Metrobús
	Crédito	80%	
Parámetros de Crédito	Comisión por Apertura	1%	Tasa promedio ponderada por saldo de créditos otorgados por un plazo mayor a 48 meses para el segmento Personal y Microcréditos industriales publicado por el Banco de México.
	Tasa a Aplicar	25%	
	Plazo de financiamiento	60 meses	
Costo de capital	Proyectos transporte	9.98%	UNFCCC
WACC		16%	Cálculos propios

Supuestos de evolución de costos

Evolución de costos			Fuente
Inflación	TCCA	4%	Cálculo estimado con datos históricos de INEGI
Precio kWh	Periodo 2026	197.2	Bloomberg New Energy

Batería (USD/kWh)			Finance (BNEF)
Precio electricidad	Periodo 2012-2027 TCCA	0%	SENER
Precio diésel	TCCA	2.5%	C40 Cities Finance Facility
Pago por kilómetro	TCCA	5%	Cálculos propios con datos de Metrobús

Datos de entrada para el cálculo de costos de capital y operativos.

Tecnología	Diésel	Eléctrico	Fuente
Datos CAPEX			
Precio de la unidad sin IVA (MXN)	\$7,363,000		Licitación RTP (RTP/IRF/B/001/2019)
Precio de la unidad sin IVA (MXN)		\$12,645,600	Cotización sistema Transmilenio: \$660 mil dólares a un tipo de cambio de \$19.16
Datos costos variables			
Precio de diésel	\$ 21.40		Promedio primer semestre 2019, CRE
Precio kWh		\$ 1.1983	CFE; Zona centro, alta demanda. Promedio semestral 2019
Costo de Mantenimiento por km (Incluye preventivo y correctivo)	\$ 7.00	\$ 3.00	Revista empresarial (Colombia)
Precio promedio de llantas	\$ 7,000.00		Costo promedio en mercado de llantas 295/80 R22.5"
Datos costos fijos			
Seguro de unidades	1.20%		Cálculo realizado con base en las unidades de línea 7 Metrobús
Salario de operadores	\$ 15,000.00		Estudio de mercado
Gasto administrativo	\$52,427.19		Costo administrativo mensual por unidad. Cálculos realizados con base en estudios de mercado en páginas Michael page, OCC.

Funcionamiento del modelo

El modelo está compuesto por 4 pestañas desarrolladas en un archivo Excel, en el cual cada pestaña se encuentra vinculada una con otra para realizar los cálculos necesarios a través de inputs y premisas establecidos.

Pestaña Inputs

En esta pestaña se incluyen todas las premisas e inputs necesarios para realizar los cálculos, cada concepto fue descrito con anterioridad en el mismo apartado. En la pestaña, se establecen los parámetros de operación, estructuración financiera, premisas macroeconómicas y técnicas de evaluación; inputs relacionados con el OPEX y CAPEX; e inputs relacionados con ingresos.

Figura 14. Pestaña "Inputs" del Modelo TCO-MB

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									
33									
34									
35									
36									
37									
38									
39									

Operación		
Periodo de Evaluación (años)		10
Km Recorridos diarios		300
Años Modelo		10

Estructuración Financiera Generales		
Inversión	Enganche	20.00%
	Crédito	80.0%
Parámetros de Crédito	Comisión por Apertura	1.00%
	Tasa a Aplicar	25.0%
	Plazo (años)	5
Tasa de descuento		16.0%

Macroeconómicas de Evaluación Generales		
Tasa Impositivas	ISR	30%
	IVA	16%
Depreciación Fiscal	% Anual	20%
	Años	5
TCAA Inflación	%	4.00%
Precio Diésel	\$	\$21.40
TCCA Diésel	%	2.50%
Precio Electricidad	\$	\$1.198
TCCA Precio electricidad	%	0.00%
Tipo de Cambio	\$	\$19.16

Técnicas de Evaluación Generales		
Depreciación Técnica del Vehículo	% Anual	10%
	Años	10
	% Máximo	25%
	% Anual	2.5%
Días Operación	Semanas	52
	Días a la semana	6

Opex		
Costo de mantenimiento		
Eléctrico		\$3.00
Désel	\$/km	\$7.00
Rendimiento		
Diesel	km/l	1.66
Eléctrico	km/kwh	0.69
Reemplazo de llantas		
Número de llantas		10
Precio de llantas		\$7,000
Periodicidad de reemplazo		2
Costo fijo		
Gasto Administrativo		
Prima de seguro de unidades		1.20%
Salario operadores	\$/mes	15,000
Número de operadores		2
Gasto Administrativo	\$/mes	52,427.19

Premisas Ingresos		
Concesionaria	CISA	47.67
Pago por kilómetro	CISA	\$47.67
Pago por kilómetro	RECSA	\$38.96
TCCA Pago por kilómetro		5.00%

Capex		
Precio Bus diésel	MXN	\$7,363,000
Precio Bus eléctrico	USD	\$12,645,600
Concepto	Diésel	Eléctrico
Precio bus con IVA	8,541,080	14,668,896
Enganche	1,708,216	2,933,779
Financiamiento	6,832,864	11,735,117
Comisiones	68,329	117,351
Total a Amortizar	6,901,193	11,852,468

Fuente: Modelo TCO-MB archivo Excel.

Pestaña Vectores

Esta pestaña tiene la función de simplificar las tasas de crecimiento de los precios de diésel, electricidad, pago por kilómetro e inflación para cada periodo inmerso en la evaluación. Adicionalmente, muestra el porcentaje de depreciación técnica y fiscal para cada año del modelo, así como el factor de rendimientos decrecientes de los buses durante el periodo de evaluación.

Cada vector se encuentra conectado con la pestaña inputs por lo que cualquier modificación realizada en dicha pestaña traerá consigo un cambio en el vector. La pestaña funciona como complemento para realizar los cálculos necesarios de TCO. Por ejemplo, para obtener el valor del combustible se utiliza la formula descrita en el apartado anterior en la cual contempla un factor de rendimientos decrecientes y un precio de diésel que se encuentra en función del vector de crecimiento anual. Dicho vectores se interrelacionan para realizar los cálculos correspondientes de cada año.

Figura 15. Pestaña "Vectores" del Modelo TCO-MB

Vector		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Depreciación (técnica)	%Anual	100%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
	Factor Valor Final	100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	
Depreciación (Fiscal)	Periodo	1	2	3	4	5	0	0	0	0	0	
	Factor	20%	20%	20%	20%	20%	0%	0%	0%	0%	0%	
Factor de Decrecimiento	%Anual	3%	5%	8%	10%	13%	15%	18%	20%	23%	25%	
	Factor Aplicar Comb.	100%	95%	93%	90%	88%	85%	83%	80%	78%	75%	
Factor de Indexación	Factor Aplicar	1.0000	1.0400	1.0800	1.1200	1.1600	1.2000	1.2400	1.2800	1.3200	1.3600	
Amortización	Años	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
TCCA Diésel		1.0000	1.0250	1.0500	1.0750	1.1000	1.1250	1.1500	1.1750	1.2000	1.2250	
TCCA Electricidad		1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
TCCA Pago por kilómetro		1.0000	1.0500	1.0500	1.0500	1.0500	1.0500	1.0500	1.0500	1.0500	1.0500	

Fuente: Modelo TCO-MB archivo Excel.

Pestaña TCO

En la pestaña TCO se llevan a cabo todos los cálculos referentes a los costos totales de propiedad de cada tipo de bus durante los 10 años de vigencia de la concesión, en dicha pestaña se realizan las operaciones correspondientes para cada concepto, utilizando datos de la pestaña Inputs y Vectores.

La principal función de la pestaña es obtener un desglose de los costos operativos y de capital para cada unidad evaluada.

Los principales indicadores que se pueden obtener son los costos totales de la propiedad durante el periodo de evaluación o en un año específico, costo por kilómetro en cierto punto de la vigencia de la concesión y los kilómetros recorridos anualmente o durante todo el periodo de evaluación.

Figura 16. Pestaña "TCO" del Modelo TCO-MB

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1															
2															
3															
4		Modelo-TCO				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5		Km Recorridos	936,000		93,600	93,600	93,600	93,600	93,600	93,600	93,600	93,600	93,600	93,600	93,600
6		BUS DIÉSEL ESCENARIO 2													
8		Enganche	1,708,216	3.3%	1,708,216	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9		Saldo Inicial	6,901,193		6,901,193	6,060,305	5,009,195	3,695,308	2,052,949	-	-	-	-	-	-
10		Pago Total Crédito	2,566,186		2,566,186	2,566,186	2,566,186	2,566,186	2,566,186	-	-	-	-	-	-
11		Interés	5,929,737	11.4%	1,725,298	1,515,076	1,252,299	923,827	513,237	-	-	-	-	-	-
12		Amortización	6,901,193	13.3%	840,888	1,051,110	1,313,887	1,642,359	2,052,949	-	-	-	-	-	-
13		Saldo Final	8,609,409		6,060,305	5,009,195	3,695,308	2,052,949	-	-	-	-	-	-	-
15		Seguro	469,759	0.9%	85,411	76,870	68,329	59,788	51,246	42,705	34,164	25,623	17,082	8,541	
16		Combustible	15,727,012	30.4%	1,206,651	1,301,912	1,369,711	1,441,277	1,516,932	1,597,038	1,681,998	1,772,268	1,868,362	1,970,863	
17		Conductor	4,248,000	8.2%	360,000	374,400	388,800	403,200	417,600	432,000	446,400	460,800	475,200	489,600	
18		Mantenimiento	7,731,360	14.9%	655,200	681,408	707,616	733,824	760,032	786,240	812,448	838,656	864,864	891,072	
19		Reemplazo de llantas	1,652,000	3.2%	140,000	145,600	151,200	156,800	162,400	168,000	173,600	179,200	184,800	190,400	
20		Gastos Administrativos	7,423,690	14.3%	629,126	654,291	679,456	704,621	729,786	754,952	780,117	805,282	830,447	855,612	
22		Total TCO	51,790,968	100%	7,350,790	5,800,668	5,931,298	6,065,696	6,204,183	3,780,934	3,928,727	4,081,829	4,240,755	4,406,087	
24		Costo por km			78.53	61.97	63.37	64.80	66.28	40.39	41.97	43.61	45.31	47.07	
26		BUS ELÉCTRICO ESCENARIO 1													
28		Enganche	2,933,779	6.6%	2,933,779	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29		Saldo Inicial	11,852,468		11,852,468	10,408,283	8,603,053	6,346,514	3,525,841	-	-	-	-	-	-
30		Pago Total Crédito	4,407,302		4,407,302	4,407,302	4,407,302	4,407,302	4,407,302	-	-	-	-	-	-
31		Interés	10,184,040	23.0%	2,963,117	2,602,071	2,150,763	1,586,629	881,460	-	-	-	-	-	-
32		Amortización	11,852,468	26.8%	1,444,185	1,805,231	2,256,538	2,820,673	3,525,841	-	-	-	-	-	-
33		Saldo Final	14,786,247		10,408,283	8,603,053	6,346,514	3,525,841	-	-	-	-	-	-	-
35		Seguro	806,789	1.8%	146,689	132,020	117,351	102,682	88,013	73,344	58,676	44,007	29,338	14,669	
36		Combustible	1,893,719	4.3%	162,552	171,107	175,732	180,613	185,774	191,238	197,033	203,190	209,745	216,736	
37		Conductor	4,248,000	9.6%	360,000	374,400	388,800	403,200	417,600	432,000	446,400	460,800	475,200	489,600	
38		Mantenimiento	3,313,440	7.5%	280,800	292,032	303,264	314,496	325,728	336,960	348,192	359,424	370,656	381,888	
39		Reemplazo de llantas	1,652,000	3.7%	140,000	145,600	151,200	156,800	162,400	168,000	173,600	179,200	184,800	190,400	
40		Gastos Administrativos	7,423,690	16.8%	629,126	654,291	679,456	704,621	729,786	754,952	780,117	805,282	830,447	855,612	
42		Total TCO	44,307,926	100%	9,060,248	6,176,752	6,223,105	6,269,715	6,316,603	1,956,494	2,004,017	2,051,902	2,100,185	2,148,905	
43		Costo por km			96.80	65.99	66.49	66.98	67.49	20.90	21.41	21.92	22.44	22.96	
44		Inputs / Vectores / TCO / R&E / Resultados / Resumen de escenario													

Fuente: Modelo TCO-MB archivo Excel.

Pestaña "R&E"

Su principal función es recopilar los resultados obtenidos provenientes de la pestaña TCO, y realizar el cálculo de los ingresos provenientes del pago por kilómetro considerando el factor de incremento anual. Posteriormente, se realiza la evaluación de flujos de ingresos contra egresos con el objetivo de obtener indicadores que permitan comparar la rentabilidad de cada una de las tecnologías evaluadas.

Los principales indicadores obtenidos en esta pestaña son TIR, VNA y Payback.

Figura 17. Pestaña "R&E" del Modelo TCO-MB

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2																
3							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4			Ingresos													
5			Km Recorridos	936,000			93,600	93,600	93,600	93,600	93,600	93,600	93,600	93,600	93,600	93,600
6			Pago por kilómetro	47.67			47.67	50.05	52.56	55.18	57.94	60.84	63.88	67.08	70.43	73.95
7			Ingreso	56,121,450			4,461,912	4,685,008	4,919,258	5,165,221	5,423,482	5,694,656	5,979,389	6,278,358	6,592,276	6,921,890
8																
9																
10			Gastos Diesel													
11			Operación				3,076,388	3,234,482	3,365,113	3,499,510	3,637,997	3,780,934	3,928,727	4,081,829	4,240,755	4,406,087
12			Financiamiento				2,566,186	2,566,186	2,566,186	2,566,186	2,566,186	-	-	-	-	-
13			Capital inicial	1,708,216			1,708,216									
14			Gastos totales	1,708,216	5,642,574	5,800,668	5,931,298	6,065,696	6,204,183	6,378,934	6,528,727	6,681,829	6,838,755	6,998,584	7,161,510	7,329,087
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																
26																
27																
28																
29																
30																
31																
32																
33																
34																
35																
36																
37																
38																
39																
40																
41																
42																
43																
44																

Fuente: Modelo TCO-MB archivo Excel

3.4 Resultados modelo TCO-MB Escenario 1

Los resultados en el primer escenario en el cual el financiamiento es adquirido por las empresas concesionarias se obtuvieron costos totales de propiedad de \$44.3 mdp en los buses eléctricos y de \$51.7 mdp para los buses diésel. Para realizar la comparación del TCO, se contemplaron las variables de costos como financiamiento, combustible y mantenimiento; y se excluyen gastos administrativos y operadores debido a que no existe diferencia en ese tipo de costos para cada tecnología.

Los principales resultados arrojados fueron:

- Disminución en los costos totales de buses eléctricos respecto a diésel de 14.45%.
- Combustible para buses eléctricos implicó una reducción del 90% respecto a los buses diésel durante el periodo de evaluación.
- Los costos de mantenimiento para unidades diésel fueron de \$4'417,920 pesos más que los buses eléctricos cuyo costo fue de \$3'313,440 pesos.
- En cuanto los costos de capital y financiamientos, los buses eléctricos resultaron ser más costosos principalmente por el valor de adquisición del bus, el cual fue \$6'127,816 pesos más caro en comparación con un bus convencional, dicha diferencia representa el 72% del valor de una unidad diésel.

Para el escenario 2 se realizó la evaluación de costos totales de la propiedad con base en el modelo de negocios que actualmente opera en el sistema Metrobús y se establece en las concesiones otorgadas, dicho modelo de negocio no contempla el pago de financiamiento a cargo de los concesionarios, sino que es amortizado por el fideicomiso; por lo que este escenario solo contempla dentro del esquema de costos del concesionario el monto del enganche y los costos operacionales.

Los costos totales de propiedad obtenidos en el escenario 2 para buses eléctricos fueron de \$22.2 mdp y para buses diésel \$38.9 mdp, dicha disminución en los costos se debe principalmente a la omisión de los costos de financiamiento, en este escenario los costos operativos se comportaron igual al escenario 1, la única diferencia fue una disminución en los costos de capital, al solo contabilizar el monto de enganche.

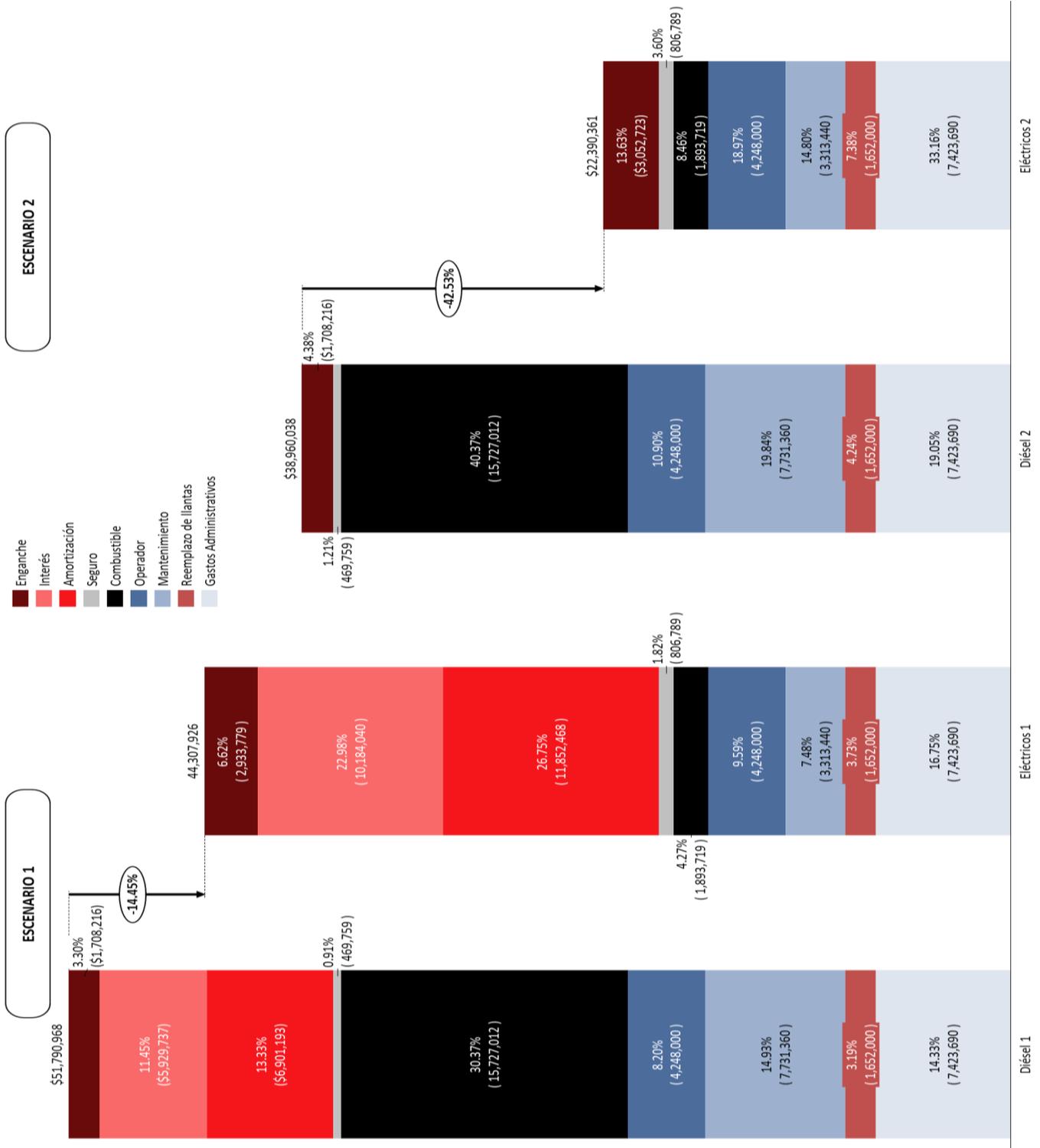
Los resultados del modelo indican que los buses eléctricos necesitan inversiones de capital más altas respecto a los buses diésel y con ello mayores montos de financiamiento, a pesar de dicho factor durante el periodo de vida útil de la unidad se compensa con la disminución de costos operacionales; uno de los principales factores que provoca la disminución de costos operacionales son los bajos precios de la energía eléctrica en comparación con el precio de diésel.

Asimismo, según proyecciones el precio de la electricidad se comportaría constante durante el periodo de evaluación en comparación con el precio del diésel el cual en los escenarios optimistas proyectan tasas de crecimiento del 2.5%, misma que es utilizada en el modelo TCO-MB para calcular el costo de combustible.

En cuanto a los costos de mantenimiento, el ahorro por parte de los buses eléctricos se debe principalmente a la disminución de insumos requeridos para la aplicación de cada tipo de mantenimiento correctivo y preventivo; en un bus eléctrico no se requieren grandes cantidades de aceites o filtros para el mantenimiento del motor ya que en comparación de los motores diésel este se encuentra completamente sellado.

Para visualizar los costos más detallados véase Anexo 2, 3, 4 y 5.

Figura 18. Resultados TCO escenario 1 y 2



Fuente: Elaboración propia con resultados del modelo TCO-MB

3.4.1 Análisis comparativo del costo e ingreso por km durante la vida útil

El costo por km para el bus eléctrico en el escenario 1 tiende a ser más alto durante los 5 primeros años que el costo por km de los buses diésel, esto se debe principalmente al pago anual por concepto de financiamiento.

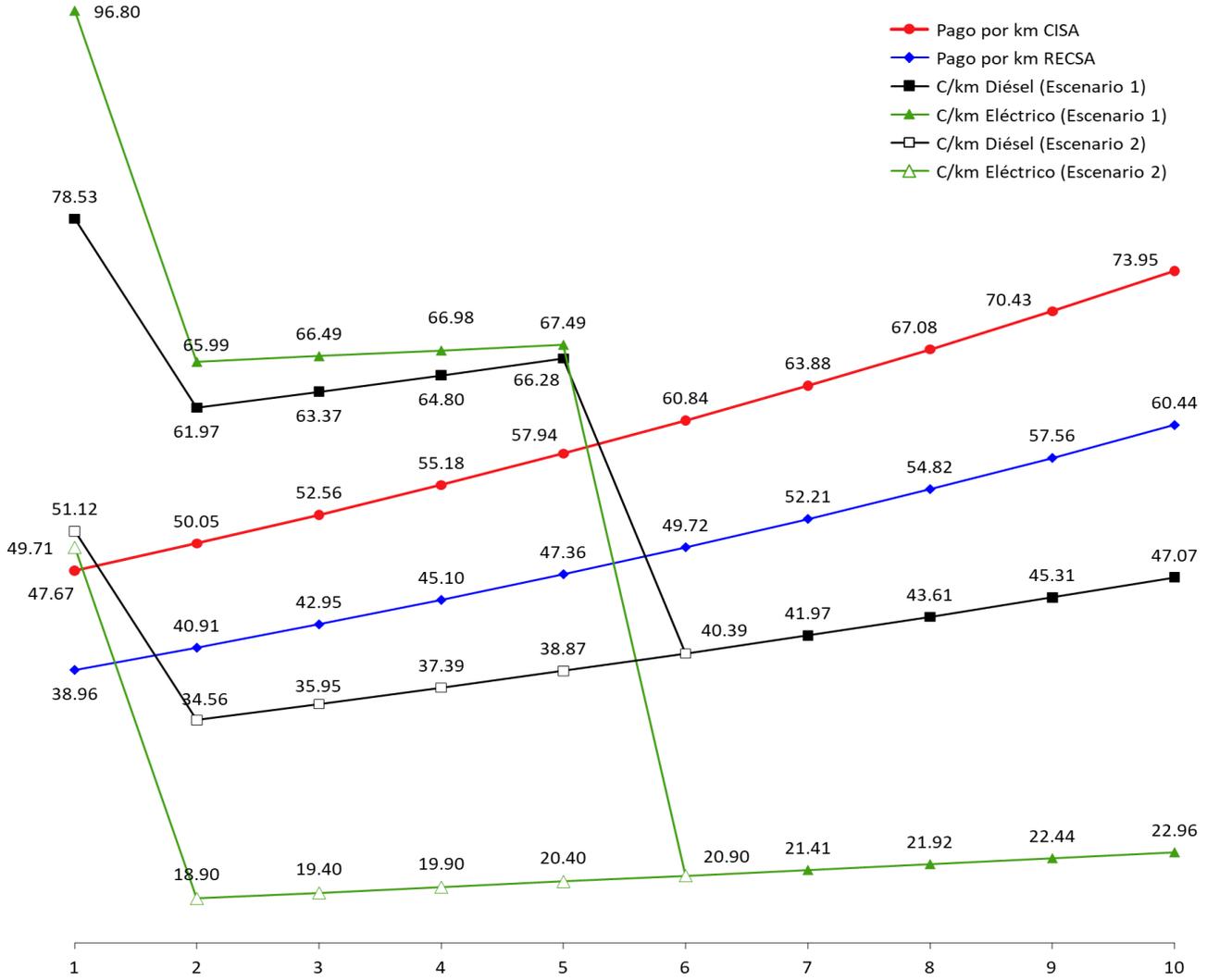
A partir del año 6 en el cual el financiamiento es amortizado por completo, el costo por kilómetro de los buses eléctricos disminuyó 70% al ubicarse en \$20.90 comparado con los \$67.49 del año 5. En el caso de los buses diésel, el costo por kilómetro obtenido para el año 6 fue de \$40.39 lo que represento una reducción de 39% equivalente a \$25.89 respecto al año 5 donde el costo por kilómetro ascendía a \$66.28.

Se ha demostrado que los buses eléctricos durante los primeros 5 años el costo por kilómetro es más elevado que un bus diésel; para compensar los costos elevados en los inicios del proyecto, a partir del año 6 el costo por kilómetro disminuye en grandes proporciones debido a que solo contempla costos operativos, esta situación provoca que sea competitivo a largo plazo. Adicionalmente, durante el periodo de evaluación los costos por kilómetro disminuyeron a una tasa promedio anual del 16% para los buses eléctricos y 5.7% para los buses diésel.

En cuanto al escenario 2 en el cual solo se incluye el enganche, en ambos casos para buses eléctricos y diésel, el costo por kilómetro es mayor al pago por kilómetro tan solo en el primer año, posteriormente los costos por kilómetro son menores al pago por kilómetro durante los nueve años restantes del periodo de evaluación, que en otras palabras dicha brecha significaría la utilidad de operación de las empresas concesionarias.

En la Figura 15, se muestra el comportamiento del costo por kilómetro de cada tecnología por escenario y el pago por kilómetro de las concesionarias CISA y RECSA con un factor de crecimiento del 5%. Asimismo, se puede apreciar que a partir del año 6 en las dos tecnologías el costo por kilómetro del escenario 1 y 2 converge y se comporta similar hasta el año 10.

Figura 19. Costo e ingreso por km escenario 1y 2



Fuente: Elaboración propia con resultados del Modelo TCO-MB

3.4.2 Indicadores de rentabilidad de los escenarios 1 y 2

Los principales indicadores de rentabilidad a evaluar para cada escenario y tecnología fueron TIR, VAN y Payback. Dicha evaluación considero principalmente los ingresos provenientes del pago por kilómetro de las concesionarias CISA y RECSA para realizar una comparación de la rentabilidad de cada concesionaria en los diversos escenarios planteados. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Escenario 1

Pago por kilómetro CISA.

- Con los ingresos provenientes del pago por kilómetro de la concesionaria CISA; en el escenario 1, no se obtuvieron alternativas rentables, ambas tecnologías tuvieron un TIR menor a la tasa de descuento; la TIR para tecnología eléctrica fue de 13.8%, para la los buses diésel se obtuvo una TIR de 9%.
- Asimismo, se obtuvieron VNA negativos en ambas tecnologías y una recuperación de la inversión para buses diésel y eléctricos de 8 y 7 años respectivamente; con base en los indicadores de rentabilidad del proyecto en el primer escenario se deduce que no es viable para las empresas concesionarias este esquema de negocios.

Pago por kilómetro RECSA.

- En ambas tecnologías los resultados arrojaron un proyecto inviable, para la tecnología eléctrica se obtuvo una TIR de 1.8% y un VNA negativo, aunado a eso el periodo de recuperación de la inversión fue de 9 años.
- La tecnología diésel requiere 11 años para recuperar la inversión inicial lo cual es un indicador negativo para el proyecto ya que las concesiones tienen una vigencia de 10 años, adicionalmente obtuvieron una TIR negativa de 13% y un valor presente neto de -\$5.49 mdp.

Escenario 2

Pago por kilómetro CISA.

- En el escenario 2, los indicadores de rentabilidad para ambos tipos de tecnología fueron positivas, la recuperación de la inversión inicial fue en 2 años.
- La tecnología eléctrica resulto ser más rentable con una TIR de 98.6% en comparación con el 85.6% de la tecnología diésel; aunado a eso, otro

indicador como el VAN resulto ser más alto por \$6 mdp para los buses eléctricos en comparación con los buses convencionales.

Pago por kilómetro RECSA

- Los resultados arrojados por el pago por kilómetro de la concesionaria RECSA son similares a la concesionaria CISA, en ambas tecnologías se obtuvieron rentabilidades positivas pero a diferencia de la otra concesionaria los indicadores resultaron ser menos rentables.
- Por ejemplo, la TIR de los buses eléctricos fue de 72%, un 26.6% menos que la concesionaria CISA; para los buses diésel la tasa interna de retorno fue de 39.6%, tasa menor al 85.6% obtenido en los buses diésel de a concesionaria CISA.
- Adicionalmente, el Payback se comportó similar que la concesionaria CISA en los buses eléctricos con 2 años de retorno de la inversión inicial; en los buses diésel el Payback incrementó un año respecto a la concesionaria CISA.

Como resultado de los indicadores de rentabilidad se pudo observar que en el escenario 1, solo es rentable la adquisición con financiamiento y operación de buses eléctricos para la concesionaria CISA. Para la empresa RECSA ninguna tecnología es rentable bajo este esquema, dicha rentabilidad se debe en gran parte por el diferencial de pago por kilómetro entre las concesionarias lo que repercute directamente en cada uno de los ingresos de la empresa.

Tabla 10. Indicadores de rentabilidad Escenarios 1 y 2

	Escenario 1		Escenario 2	
Indicador	Diésel	Eléctrico	Diésel	Eléctrico
Pago por km CISA				
TIR	9%	13.8%	67.9%	99.7%
VAN	\$ (1,467,981)	\$(736,770)	\$4,846,242	\$11,703,575
Payback	8	7	2	2
Pago por km RECSA				

TIR	-13%	1.8%	32.6%	72.1%
VAN	\$(5,497,980)	\$(4,766,769)	\$1,364,659	\$7,673,576
Payback	11	9	3	2

Fuente: Elaboración propia con datos del Modelo TCO-MB.

3.4.3 Análisis sensibilidad de actualización de pago por kilómetro

Para realizar el análisis de los posibles ahorros por concepto de actualización de pago por kilómetro de la flota a sustituir se utilizó el escenario 2 debido a que es el modelo de negocios actual utilizado en el sistema Metrobús.

Los resultados obtenidos para la concesionaria CISA demostraron que es rentable el proyecto de sustitución de buses eléctricos con reducciones de hasta 30% en el pago por kilómetro, mientras que los buses diésel resultaron ser rentables solo hasta una reducción de 20%.

El periodo de recuperación de la inversión inicial para la tecnología eléctrica fue de 2 años para todas las posibles reducciones en el pago por kilómetro; mientras que en los buses diésel el Payback para el escenario base y reducción de 10% fue de 2 años, con una reducción de 20% el retorno de la inversión se incrementó 4 años respecto a los escenarios anteriores y con un pago por kilómetro reducido 30%, la recuperación de la inversión inicial fue de 9 periodos, una TIR de 5.32% y un VNA negativo.

Para la concesionaria RECSA, en los 4 escenarios evaluados para buses eléctricos, la actualización del pago por kilómetro resultó rentable para la empresa, si bien se disminuyó la TIR por cada reducción de pago por kilómetro siempre se comportó por encima de la tasa de descuento utilizada para el proyecto; adicionalmente, el VNA obtenido fue positivo, lo cual indica un proyecto rentable en cualquiera de los escenarios de pago por kilómetro.

El indicador Payback, se comportó de manera creciente conforme se iba reduciendo el pago por kilómetro, para un escenario base y una disminución

del 10% la recuperación de la inversión resultante fue de 2 años, para el escenario con una reducción de 20% y 30% fue de 3 y 4 años respectivamente.

En cuanto a los buses convencionales solo fue rentable en los dos primeros escenarios alcanzando una TIR de 39.6% para el escenario base y 17.03% para el escenario con una disminución de 10% al pago por km; el Payback evaluado fue de 3 y 6 años respectivamente.

Los escenarios de disminución de 20% y 30%, resultaron no ser rentables para la concesionaria RECSA debido a que obtuvieron resultados negativos en los indicadores de VNA y TIR; adicionalmente el periodo de recuperación de la inversión inicial sobre pasa la vigencia de la concesión.

Con base en los resultados obtenidos se puede observar que los buses eléctricos son competitivos en los 4 escenarios de pago por kilómetro con las dos empresas concesionarias, esto puede significar ahorros significativos para el sistema Metrobús, para calcular el posible ahorro de la implementación de unidades eléctricas en cada concesionaria durante los 10 años de vigencia de la concesión se suma el ahorro por unidad de cada escenario a evaluar comparado con el escenario base, dando como resultado los siguientes posibles ahorros.

En el primer escenario en el cual contempla una reducción de 10%.

- La flota que renovar (28) de la concesionaria CISA se obtuvieron ahorros de aproximadamente \$157mdp con respecto al escenario base.
- Para el caso de RECSA, contempla una renovación de 21 unidades y un ahorro de \$96 mdp durante los 10 años de concesión.

En el segundo escenario con una reducción de 20% en el pago por kilómetro.

- Reducción de costos de \$314.1 mdp en la concesionaria CISA.
- En la concesionaria RECSA se estima un ahorro de \$192.6 mdp.

En el escenario más optimista respecto a la reducción del pago por kilómetro en el cual se evalúa la reducción del 30% se obtuvieron los siguientes ahorros:

- Concesionaria CISA \$460.5 mdp y RECSA \$289 mdp.

Dichos ahorros permitirían reestructurar el presupuesto público del organismo Metrobús, reduciendo las erogaciones por concepto de Subrogaciones permitiendo la redistribución de dicha partida presupuestal a inversiones en infraestructura que permitan una transición a tecnologías sustentables más eficaz.

Para una mayor descripción visual de la comparativa entre evolución del pago por kilómetro con los diversos escenarios de reducciones y los costos por kilómetro, véase Anexos 6 y 7.

Tabla 11. Análisis de sensibilidad del pago por kilómetro

Escenario pago por km	CISA		RECSA	
	Diésel	Eléctrico	Diésel	Eléctrico
Base	\$47.67		\$38.96	
TIR	87%	99.7%	39%	72.00%
VPN	\$5,775,507	\$11,703,574	\$1,745,508	\$7,673,575
Payback	2	2	3	2
Ingresos totales	\$56,121,450		\$45,867,247	
Reducción 10%	\$42.90		\$35.06	
TIR	61%	84%	15%	60%
VPN	\$3,568,493	\$9,496,560	\$58,968	\$5,869,098
Payback	2	2	6	2
Ingresos totales	\$50,505,773		\$41,275,813	
Reducción 20%	\$38.14		\$31.17	
TIR	34%	69%	-26%	47%
VPN	\$1,366,105	\$7,294,172	-\$1,858,118	\$4,069,248
Payback	4	2	11	3
Ingresos totales	\$44,901,869		\$36,693,798	
Reducción 30%	\$33.37		\$27.27	
TIR	5%	55%	(-)	34%
VPN	-\$688,222	\$5,239,845	-\$3,663,295	\$2,264,771
Payback	9	2	(-)	4
Ingresos totales	\$39,674,698		\$32,107,073	

Fuente: Elaboración propia con resultados del modelo TCO-MB

3.6 Conclusiones

Con base en los resultados del modelo TCO-MB se puede argumentar la viabilidad económica de los buses eléctricos como alternativa de renovación de flota en el corredor Av. Insurgentes del sistema Metrobús.

En la evaluación de costos totales de propiedad en los dos escenarios planteados, los buses eléctricos resultaron ser más competitivos comparados con los buses diésel; aunque la principal barrera de los buses eléctricos fueron los altos costos de capital en comparación con los buses diésel; estos se vieron compensados en gran medida por la reducción de los costos operativos por concepto de combustible y mantenimientos.

Se demostró que en 3 de 4 posibles escenarios era rentable la incorporación de buses eléctricos, el único escenario en el cual no resultó ser viable fue en el escenario 1 de la concesionaria RECSA, esto es un indicador del futuro potencial de la incorporación de tecnologías sustentables en el sistema de transporte público.

Otro indicador relevante en la justificación de la incorporación de unidades eléctricas es el análisis de sensibilidad de la actualización del pago por kilómetro en el cual se consideró el escenario 2 y se evaluaron 4 diferentes pagos por kilómetro para cada concesionaria de los cuales en los 8 posibles pago por kilómetros el 100% fueron rentables en comparación con las unidades diésel donde el proyecto se consideraba rentable en 5 de 8.

Los resultados obtenidos se asemejan a los estudios revisados previamente, en donde los buses eléctricos resultaron ser la alternativa más viable, ejemplo de ello es el estudio de Sierra Club cuyos resultados demostraron que los buses eléctricos cero emisiones tienen un TCO 15% más bajo comparada con los buses eléctricos; por otro lado, en el estudio realizado por Sheth & Saka para el transporte público de la india encontraron las mismas limitantes que el modelo TCO-MB, las cuales principalmente fueron los altos gasto de capital (dos o tres

veces mayor que los autobuses diésel). Excluyendo dicha limitante, de igual manera concluyen que los buses eléctricos tienen costos recurrentes mucho más bajos y tienden a ser factibles a largo plazo.

Derivado de lo anterior, se demostró un posible ahorro para las finanzas del fideicomiso a través de una disminución de los montos a pagar a cada concesionaria por su flota en operación en los próximos 10 años por concepto de pago por kilómetro.

Adicionalmente, se puede establecer una nueva metodología para la actualización del pago por kilómetro de los buses eléctricos en el cual considere la variación anual de los precios de la energía eléctrica en sustitución de los precios de diésel, esta nueva metodología permitiría reducir costos consecuencia de la baja volatilidad de los precios de energía. Además de reducir una carga en los egresos del fideicomiso y que se traduciría a una disminución de los egresos presupuestales provenientes de la partida Subrogaciones destinada al pago por kilómetro.

Cabe señalar que se los resultados obtenidos son estimaciones con base en un análisis técnico operacional de las unidades en diversos sistemas de transporte público a lo largo del mundo por lo que se recomendaría realizar pruebas en condiciones reales de operación de las unidades a evaluadas para obtener fuentes de información más certeras que contribuyan a realizar un análisis económico más eficiente y exacto.

4. CONCLUSIONES GENERALES

El sistema de transporte público Metrobús es de suma importancia para la zona Metropolitana del Valle de México, la renovación constante de la flota tiene un papel fundamental para conservar y es su caso mejorar la dinámica de la movilidad. Este trabajo tuvo como objetivo analizar técnica y económicamente la transición a un sistema con unidades eléctricas a través de la reducción de los costos totales de la propiedad y los beneficios económicos para el sistema Metrobús. Se buscó probar que la sustitución de los buses convencionales próximos a renovar por buses eléctricos generaría una reducción en costos de combustible y mantenimiento; una actualización en el pago por kilómetro; y ahorros en el sistema Metrobús y finanzas públicas.

Para poder lograr los objetivos se desarrolló un modelo TCO que permitiera la evaluación de diversas tecnologías en el transporte público. Los resultados obtenidos posibilitaron la elección de la alternativa más viable para la renovación del parque vehicular bajo diversos escenarios. Se comprobó la hipótesis planteada en el inicio de este trabajo, en la cual los buses eléctricos resultaron ser más rentables bajo un escenario de modelo de negocios actuales y uno alterno.

Adicionalmente, los costos operativos por concepto de combustible y manteniendo obtenidos en la evaluación a 10 años resultaron ser más bajos en comparación con los buses convencionales.

Se demostró que tras la implementación de unidades eléctricas se podría actualizar el pago por kilómetro conservando los niveles de rentabilidad esperados para un proyecto de transporte público. Asimismo, se planteó una reestructuración de la metodología establecida para el cálculo de la actualización del pago por kilómetro en la cual a diferencia de la anterior se consideraría el costo de la energía eléctrica en lugar del precio de diésel; este cambio podría propiciar beneficios a largo plazo que en comparación con el diésel ya que los precios de la

energía eléctrica son menos volátiles propiciando aumentos mínimos en el pago por kilómetro.

Por lo anterior, es posible demostrar los posibles beneficios económicos en el sistema a través de la actualización del pago por kilómetro para buses eléctricos lo cual permitiría disminuir los montos del fideicomiso destinados al pago por kilómetro, ayudando a una reducción del déficit en el que actualmente se encuentra inmerso el fideicomiso del sistema Metrobús. La posible disminución de la brecha entre ingreso y egresos, permitiría reestructurar el presupuesto público del organismo Metrobús a través de una actualización en los montos asignados a la partida Subrogaciones cuyo objetivo principal es absorber gran parte del pago por kilómetro del sistema.

Si bien es cierto que los resultados del modelo crearon un panorama positivo para la transición a buses eléctricos, es necesario considerar y cuantificar los posibles riesgos derivados de la implementación de nuevas tecnologías.

Adicionalmente, se deben de identificar cada uno de los factores que impiden la transición a buses eléctricos; uno de ellos, los altos costos de capital es uno de ellos, este factor puede erradicarse a través de la obtención de fondos gubernamentales como el FONADIN por medio del programa PROTRAM o fondos de organizaciones internacionales como el Banco Interamericano de Desarrollo, Global Environment Facility, el Banco de Desarrollo de América Latina, Banco Mundial, entre otros; con el objetivo de financiar una parte del valor de las unidades.

La infraestructura de carga requerida, es otro factor determinante que puede ser financiada por el organismo público Metrobús como parte de un incentivo a la transición a un sistema de electromovilidad; si no es posible su financiamiento a través del organismo; otra alternativa sería el otorgamiento de permisos o concesiones a empresas enfocadas en proyectos de energía para que realicen la inversión inicial de la infraestructura carga, a cambio de un pago por parte de los

concesionarios por concepto de servicio de recarga eléctrica tal y como se maneja en el sistema chileno de transporte público.

Otro factor clave que genera una serie de riesgos en la operación de buses eléctricos son las baterías eléctricas las cuales al ser una tecnología de reciente desarrollo, aún existen riesgos técnicos que pudieran alterar la operación; para hacer frente a posibles riesgos ligados a la pérdida de eficiencia o disminución de tiempo de vida de las baterías, se propone celebrar contratos de leasing que permitan asegurar el abastecimiento de baterías en cualquier situación requerida. Así como, extender la vigencia de las concesiones que permita incentivar la incorporación de nuevas tecnologías.

El modelo realizado permitiría sentar las bases para la evaluación de las siguientes renovaciones de flotas pudiendo ajustarse a cualquier línea del sistema Metrobús o en su caso diversos sistemas de transporte público con el objetivo de sentar las bases técnicas y económicas que permitan una mejor toma de decisiones a largo plazo para el sistema de transporte público.

La transición a la electromovilidad del transporte público se ha convertido en el mundo en un plan estratégico para mitigar los efectos del cambio climático, en el sistema de transporte público de la Ciudad de México se necesita la colaboración de cada uno de los actores de los sistemas de movilidad para proponer cambios regulatorios e institucionales que permitan una transición más acelerada a tecnologías que permitan una reducción de costos y a su vez se obtengan externalidades positivas como mejoras en la calidad de aire y en la salud de la población.

BIBLIOGRAFÍA

1. Argonne National Laboratory. (Octubre de 2013). Obtenido de AFLEET Tool 2013: https://greet.es.anl.gov/afleet_tool
2. Argonne National Laboratory. (2018). *User Guide for AFLEET*. Obtenido de https://greet.es.anl.gov/afleet_tool
3. Bloomberg New Energy Finance. (2018). *Electric Buses in Cities*.
4. BRT DATA. (1 de Julio de 2019). *GLOBAL BRT DATA*. Obtenido de <https://brtdata.org>
5. C40 Cities Finance Facility. (2018). *Análisis de buses eléctricos para el corredor cero emisiones Eje 8 Sur*.
6. C40 Cities Finance Facility. (2018). *Electrifying Bus Routes: Insights From Mexico City's Eje 8 Sur Technology Assessment*.
7. Centro de Estudios de las Finanzas Públicas. (2017). *Evolución de los Precios de las Gasolinas en México, 2016-2017*. México: Cámara de Diputados.
8. Clerck, Q., Lier, T., Lebeau, P., Messagie, M., Vanhaverbeke, L., Macharis, C., & Mierlo, J. (2016). How total is a total Cost of Ownership? *World Electric Vehicle Journal*, 1-12.
9. CTS EMBARQ México & WRI México. (2017). *Informe de la evaluación externa al sistema de transporte público remunerado de pasajeros de la provincia de Santiago y de las comunas de San Bernardo y Puente Alto*. . México.
10. Diario Oficial de la Federación. (28 de 12 de 2018). Acuerdo por el que se da a conocer la metodología para determinar el estímulo fiscal en materia del impuesto especial sobre producción y servicios aplicable a los combustibles que se indican. México, México. Recuperado el 14 de 05 de 2019, de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5547403&fecha=28/12/2018
11. Ellram, L. M. (1995). Total cost of ownership: an analysis approach for purchasing. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 25, 4-23.

12. Gaceta Oficial del Distrito Federal. (24 de Septiembre de 2004). Obtenido de http://www.df.gob.mx/wb/gdf/gaceta_oficial
13. Gobierno del Distrito Federal. (2005). *Gaceta Oficial del Distrito Federal*.
14. Gobierno del Distrito Federal. (2005). *Gaceta Oficial del Distrito Federal*. México.
15. Grütter Consulting. (2014). *Rendimiento Real de Buses Híbridos y Eléctricos*.
16. INECC. (2018). *Análisis de implementación de tecnologías potenciales de bajo carbono para el transporte público de pasajeros en ciudades y municipios seleccionados*. México.
17. INEGI. (2018). *Encuesta Origen- Destino en Hogares de la Zona Metropolitana del Valle de México 2017 EOD*. Ciudad de México.
18. Lebeau, K., Lebeau, P., Macharis, C., & Van Mierlo, J. (2013). How expensive are electric vehicles? A total cost of ownership analysis. *World Electric Vehicle Journal*, Vol. 6, 0996-1007.
19. Mete, M. R. (2014). VALOR ACTUAL NETO Y TASA DE RETORNO: SU UTILIDAD COMO HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN. *Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 67-85.
20. Metrobús. (2019). *Primera sesión ordinaria consejo directivo de Metrobús*. México.
21. Mitropoulos, L. K., Prevedouros, P. D., & Kopelias, P. (2017). Total cost of ownership and externalities of conventional, hybrid and electric vehicle. *Transportation Research Procedia*, 267–274.
22. MOKHTAR, F. (24 de Octubre de 2018). *Today Singapore*. Obtenido de <https://www.todayonline.com/singapore/60-electric-buses-worth-s50m-hit-road-2020>
23. Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México. (Septiembre, 2018). *Inventario de Emisiones de la Ciudad de México 2016*. Ciudad de México: Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire, Dirección de Programas de Calidad del Aire e Inventario de Emisiones.
24. SENER. (2013). *Prospectiva del Sector Eléctrico 2013-2027*. México.
25. SENER. (2018). *Prontuario Estadístico de Petrolíferos*. México.

26. Sheth, A., & Sakar, D. (2019). Life Cycle Cost Analysis for Electric vs Diesel Bus Transit in a Indian Scenario. *International Journal of Technology*, 105-115.
27. Sierra Club. (26 de Octubre de 2017). *Sierra Club*. Obtenido de Massachusetts Bay Transportation Authority (MBTA) Bus Cost Analysis: <https://www.sierraclub.org/massachusetts/transportation/electricbuses>
28. Topal, O., & Nakir, I. (2018). Total Cost of Ownership Based Economic Analysis of Diesel, CNG and Electric Bus Concepts for the Public Transport in Istanbul City. *Energies*, 1-17.
29. TransMilenio. (2005). *Sistema TransMilenio Modelo Conceptual*. Bogotá.
30. World Resources Institute. (2019). *Barriers To Adopting Electric Buses*.
31. Wright, L., & Hook, W. (2007). *Bus Rapid Transit Planning Guide*. USA. New York: Institute for Transportation and Development Policy.
32. Zamora-Colín, U. &.-A.-M. (2013). Bus Rapid Transit (BRT) en ciudades de América Latina, los casos de Bogotá (Colombia) y Curitiba (Brasil). *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 101-118.

Anexo 1. Pago por kilómetro histórico sistema Metrobús

Empresa	Tarifa \$/Km	Vigencia		Periodo (meses)	Incremento %
		de	a		
CISA					
CISA articulados	\$24.90	6/19/2005	3/30/2008	33	
	\$29.50	3/31/2008	11/18/2009	20	18.5%
	\$31.23	11/19/2009	1/31/2012	26	5.9%
	\$32.96	2/1/2012	9/30/2012	8	5.6%
	\$34.96	10/1/2012	4/2/2013	6	6.1%
	\$36.96	4/3/2013	4/2/2014	12	5.7%
	\$39.00	4/3/2014	4/2/2015	12	5.5%
	\$41.30	4/3/2015	4/2/2017	24	5.9%
	\$45.40	4/3/2017	4/2/2018	12	9.9%
	\$47.67	4/3/2018	vigente	3	5.0%
CISA biarticulados	\$35.89	8/1/2010	4/2/2014	44	
	\$41.05	4/3/2014	4/2/2015	12	14%
	\$43.43	4/3/2015	4/2/2017	24	6%
	\$47.77	4/3/2017	5/20/2018	2	10%
	\$57.66	11/27/2017	4/2/2018	10	21%
	\$60.54	4/3/2018	vigente	3	5%
RECSA					
RECSA articulados	\$22.66	3/13/2008	3/28/2010	25	
	\$24.46	3/29/2010	1/31/2012	22	7.9%
	\$25.93	2/1/2012	9/2/2012	7	6.0%
	\$27.96	9/3/2012	4/2/2013	7	7.8%
	\$29.95	4/3/2013	4/2/2014	12	7.1%
	\$31.74	4/3/2014	4/2/2015	12	6.0%
	\$33.73	4/3/2015	4/2/2017	24	6.3%
	\$37.10	4/3/2017	4/2/2018	12	10.0%
	\$38.96	4/3/2018	vigente	3	5.0%
RECSA biarticulados	\$36.35	9/3/2012	4/2/2013	7	
	\$38.94	4/3/2013	4/2/2014	12	7%
	\$41.05	4/3/2014	4/2/2015	12	5%
	\$43.43	4/3/2015	4/2/2017	24	6%
	\$47.77	4/3/2017	4/2/2018	12	10%
	\$50.16	4/3/2018	vigente	3	5%
V y C					
Articulados	\$27.96	6/18/2012	4/2/2013	10	
	\$29.95	4/3/2013	4/2/2014	12	7%

	\$31.74	4/3/2014	4/2/2015	12	6%
	\$33.73	4/3/2015	4/2/2017	24	6%
	\$37.10	4/3/2017	4/2/2018	12	10%
	\$38.96	4/3/2018	vigente	3	5%
Biarticulados	\$36.35	6/18/2012	4/2/2013	10	
	\$38.94	4/3/2013	4/2/2014	12	7%
	\$41.05	4/3/2014	4/2/2015	12	5%
	\$43.43	4/3/2015	4/2/2017	24	6%
	\$47.77	4/3/2017	4/2/2018	12	10%
	\$50.16	4/3/2018	vigente	3	5%
RTP					
Articulados	\$24.90	6/19/2005	4/2/2014	105	
Insurgentes Norte	\$26.52	4/3/2014	4/2/2015	12	7%
	\$28.32	4/3/2015	4/2/2017	24	7%
	\$31.15	4/3/2017	4/2/2018	12	10%
	\$32.71	4/3/2018	vigente	3	5%
Articulados	\$16.00	3/13/2008	3/15/2008	0	
Insurgentes Sur	\$20.00	3/16/2008	4/30/2012	49	25%
Eje 3 Oriente	\$24.90	5/1/2012	4/2/2014	23	25%
	\$26.52	4/3/2014	4/2/2015	12	7%
	\$28.32	4/3/2015	4/2/2017	24	7%
	\$31.15	4/3/2017	4/2/2018	12	10%
	\$32.71	4/3/2018	vigente	3	5%
Articulados	\$20.00	12/16/2008	12/31/2010	25	
Eje 4 Sur	\$21.42	1/1/2011	4/30/2012	16	7%
	\$24.90	5/1/2012	4/2/2014	23	16%
	\$26.52	4/3/2014	4/2/2015	12	7%
	\$28.32	4/3/2015	4/2/2017	24	7%
	\$31.15	4/3/2017	4/2/2018	12	10%
	\$32.71	4/3/2018	vigente	3	5%
Biarticulados	\$27.00	10/18/2008	4/30/2012	42	
	\$29.68	5/1/2012	4/2/2014	23	10%
	\$31.46	4/3/2014	4/2/2015	12	6%
	\$33.46	4/3/2015	4/2/2017	24	6%
	\$36.80	4/3/2017	4/2/2018	12	10%
	\$38.65	4/3/2018	vigente	3	5%
LÍNEA 2 - Eje 4 Sur - CE4-17M, CTTSA, COPSA, TSAJJ					
Articulados	\$22.10	12/16/2008	9/30/2010	21	
	\$24.27	10/1/2010	9/30/2011	12	10%
	\$25.50	10/1/2011	8/1/2012	10	5%

	\$26.62	8/1/2012	9/12/2012	1	4%
	\$27.50	9/13/2012	4/2/2013	7	3%
	\$28.34	4/3/2013	4/2/2014	12	3%
	\$30.08	4/3/2014	4/2/2015	12	6%
	\$32.02	4/3/2015	4/2/2017	24	6%
	\$35.22	4/3/2017	4/2/2018	12	10%
	\$36.98	4/3/2018	vigente	3	5%
Biarticulados	\$43.43	11/1/2015	4/2/2017	17	
	\$47.77	4/3/2017	4/2/2018	12	10%
	\$50.16	4/3/2018	vigente	3	5%
LÍNEA 3 - Eje 1 poniente - MIVSA					
Articulados	\$24.90	2/8/2011	9/30/2012	20	
	\$27.00	10/1/2012	4/2/2013	6	8%
	\$28.00	4/3/2013	4/2/2014	12	4%
	\$29.72	4/3/2014	4/2/2015	12	6%
	\$31.65	4/3/2015	4/2/2017	24	6%
	\$34.81	4/3/2017	4/2/2018	12	10%
	\$36.56	4/3/2018	vigente	3	5%
LÍNEA 4 - Buenavista-San Lázaro-Aeropuerto Terminales 1 y 2- CCA					
Piso bajo	\$16.80	4/1/2012	9/30/2012	6	
	\$19.62	10/1/2012	4/2/2013	6	17%
	\$22.47	4/3/2013	4/2/2014	12	15%
	\$23.78	4/3/2014	4/2/2015	12	6%
	\$25.47	4/3/2015	4/2/2017	24	7%
	\$28.01	4/3/2017	4/2/2018	12	10%
	\$39.00	4/3/2018	vigente	3	39%
Línea 5 – Eje 3 Oriente, Av. Ing. Eduardo Molina - CITEMSA					
Articulados	\$29.50	5-Nov-13	1/31/2014		
	\$30.00	2/1/2014	4/2/2015	14	2%
	\$31.94	4/3/2015	4/2/2017	24	6%
	\$35.13	4/3/2017	4/2/2018	12	10%
	\$36.89	4/3/2018	vigente	3	5%
Línea 6 – Eje 5 Norte, Av. Montevideo - CURVIX, CARSA					
Articulados	\$32.02	1/21/2016	4/2/2017	14	
	\$35.22	4/3/2017	4/2/2018	12	10%
	\$36.98	4/3/2018	vigente	3	5%
Línea 7 – Av. Paseo de la Reforma - SKY BUS, OP L7					
Doble Piso	\$24.00	3/5/2018	7/22/2018	4	
	\$36.00	7/23/2018	vigente	14	50%

Fuente: Plataforma Nacional de Transparencia, solicitud de información 031700057019.

Anexo 2. Resultados Modelo TCO-MB Escenario 1: Bus eléctrico

BUS ELÉCTRICO ESCENARIO 1												
Enganche	2,933,779	6.6%	2,933,779	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Saldo Inicial			11,852,468	10,408,283	8,603,053	6,346,514	3,525,841	-	-	-	-	-
Pago Total Crédito			4,407,302	4,407,302	4,407,302	4,407,302	4,407,302	-	-	-	-	-
Interés	10,184,040	23.0%	2,963,117	2,602,071	2,150,763	1,586,629	881,460	-	-	-	-	-
Amortización	11,852,468	26.8%	1,444,185	1,805,231	2,256,538	2,820,673	3,525,841	-	-	-	-	-
Saldo Final	14,786,247		10,408,283	8,603,053	6,346,514	3,525,841	-	-	-	-	-	-
Seguro	806,789	1.8%	146,689	132,020	117,351	102,682	88,013	73,344	58,676	44,007	29,338	14,669
Combustible	1,893,719	4.3%	162,552	171,107	175,732	180,613	185,774	191,238	197,033	203,190	209,745	216,736
Conductor	4,248,000	9.6%	360,000	374,400	388,800	403,200	417,600	432,000	446,400	460,800	475,200	489,600
Mantenimiento	3,313,440	7.5%	280,800	292,032	303,264	314,496	325,728	336,960	348,192	359,424	370,656	381,888
Reemplazo de llantas	1,652,000	3.7%	140,000	145,600	151,200	156,800	162,400	168,000	173,600	179,200	184,800	190,400
Gastos Administrativos	7,423,690	16.8%	629,126	654,291	679,456	704,621	729,786	754,952	780,117	805,282	830,447	855,612
Total TCO	44,307,926	100%	9,060,248	6,176,752	6,223,105	6,269,715	6,316,603	1,956,494	2,004,017	2,051,902	2,100,185	2,148,905
Costo por km			96.80	65.99	66.49	66.98	67.49	20.90	21.41	21.92	22.44	22.96

Fuente: Elaboración propia con resultados del modelo TCO-MB

Anexo 3. Resultados Modelo TCO-MB Escenario 1: Bus Convencional

BUS DIÉSEL ESCENARIO 1												
Enganche	1,708,216	3.3%	1,708,216	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Saldo Inicial			6,901,193	6,060,305	5,009,195	3,695,308	2,052,949	-	-	-	-	-
Pago Total Crédito			2,566,186	2,566,186	2,566,186	2,566,186	2,566,186	-	-	-	-	-
Interés	5,929,737	11.4%	1,725,298	1,515,076	1,252,299	923,827	513,237	-	-	-	-	-
Amortización	6,901,193	13.3%	840,888	1,051,110	1,313,887	1,642,359	2,052,949	-	-	-	-	-
Saldo Final	8,609,409		6,060,305	5,009,195	3,695,308	2,052,949	-	-	-	-	-	-
Seguro	469,759	0.9%	85,411	76,870	68,329	59,788	51,246	42,705	34,164	25,623	17,082	8,541
Combustible	15,727,012	30.4%	1,206,651	1,301,912	1,369,711	1,441,277	1,516,932	1,597,038	1,681,998	1,772,268	1,868,362	1,970,863
Conductor	4,248,000	8.2%	360,000	374,400	388,800	403,200	417,600	432,000	446,400	460,800	475,200	489,600
Mantenimiento	7,731,360	14.9%	655,200	681,408	707,616	733,824	760,032	786,240	812,448	838,656	864,864	891,072
Reemplazo de llantas	1,652,000	3.2%	140,000	145,600	151,200	156,800	162,400	168,000	173,600	179,200	184,800	190,400
Gastos Administrativos	7,423,690	14.3%	629,126	654,291	679,456	704,621	729,786	754,952	780,117	805,282	830,447	855,612
Total TCO	51,790,968	100%	7,350,790	5,800,668	5,931,298	6,065,696	6,204,183	3,780,934	3,928,727	4,081,829	4,240,755	4,406,087
Costo por km			78.53	61.97	63.37	64.80	66.28	40.39	41.97	43.61	45.31	47.07

Fuente: Elaboración propia con resultados del modelo TCO-MB

Anexo 4. Resultados Modelo TCO-MB Escenario 2: Bus eléctrico

BUS ELÉCTRICO ESCENARIO 2

Enganche	2,933,779	13.2%	2,933,779	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Seguro	806,789	3.6%	146,689	132,020	117,351	102,682	88,013	73,344	58,676	44,007	29,338	14,669
Combustible	1,893,719	8.5%	162,552	171,107	175,732	180,613	185,774	191,238	197,033	203,190	209,745	216,736
Conductor	4,248,000	19.1%	360,000	374,400	388,800	403,200	417,600	432,000	446,400	460,800	475,200	489,600
Mantenimiento	3,313,440	14.9%	280,800	292,032	303,264	314,496	325,728	336,960	348,192	359,424	370,656	381,888
Reemplazo de llantas	1,652,000	7.4%	140,000	145,600	151,200	156,800	162,400	168,000	173,600	179,200	184,800	190,400
Gastos Administrativos	7,423,690	33.3%	629,126	654,291	679,456	704,621	729,786	754,952	780,117	805,282	830,447	855,612
Total TCO	22,271,418	100%	4,652,946	1,769,451	1,815,803	1,862,413	1,909,302	1,956,494	2,004,017	2,051,902	2,100,185	2,148,905
Costo por km			49.71	18.90	19.40	19.90	20.40	20.90	21.41	21.92	22.44	22.96

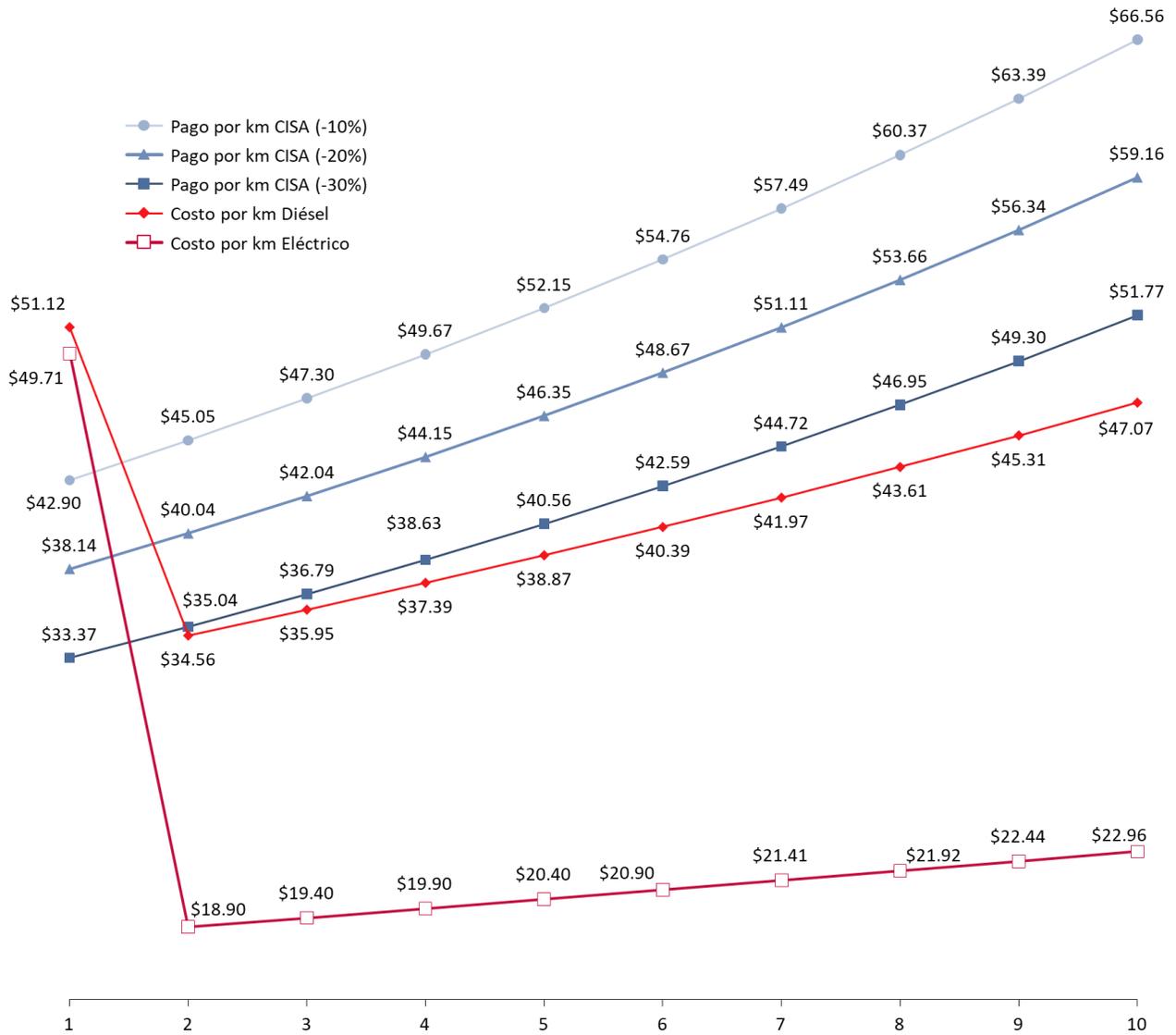
Fuente: Elaboración propia con resultados del modelo TCO-MB

Anexo 5. Resultados Modelo TCO-MB Escenario 2: Bus Convencional

BUS DIÉSEL ESCENARIO 2												
Enganche	1,708,216	7.7%	1,708,216	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Seguro	469,759	2.1%	85,411	76,870	68,329	59,788	51,246	42,705	34,164	25,623	17,082	8,541
Combustible	15,727,012	70.6%	1,206,651	1,301,912	1,369,711	1,441,277	1,516,932	1,597,038	1,681,998	1,772,268	1,868,362	1,970,863
Conductor	4,248,000	19.1%	360,000	374,400	388,800	403,200	417,600	432,000	446,400	460,800	475,200	489,600
Mantenimiento	7,731,360	34.7%	655,200	681,408	707,616	733,824	760,032	786,240	812,448	838,656	864,864	891,072
Reemplazo de llantas	1,652,000	7.4%	140,000	145,600	151,200	156,800	162,400	168,000	173,600	179,200	184,800	190,400
Gastos Administrativos	7,423,690	33.3%	629,126	654,291	679,456	704,621	729,786	754,952	780,117	805,282	830,447	855,612
Total TCO	38,960,038	175%	4,784,604	3,234,482	3,365,113	3,499,510	3,637,997	3,780,934	3,928,727	4,081,829	4,240,755	4,406,087
Costo por km			51.12	34.56	35.95	37.39	38.87	40.39	41.97	43.61	45.31	47.07

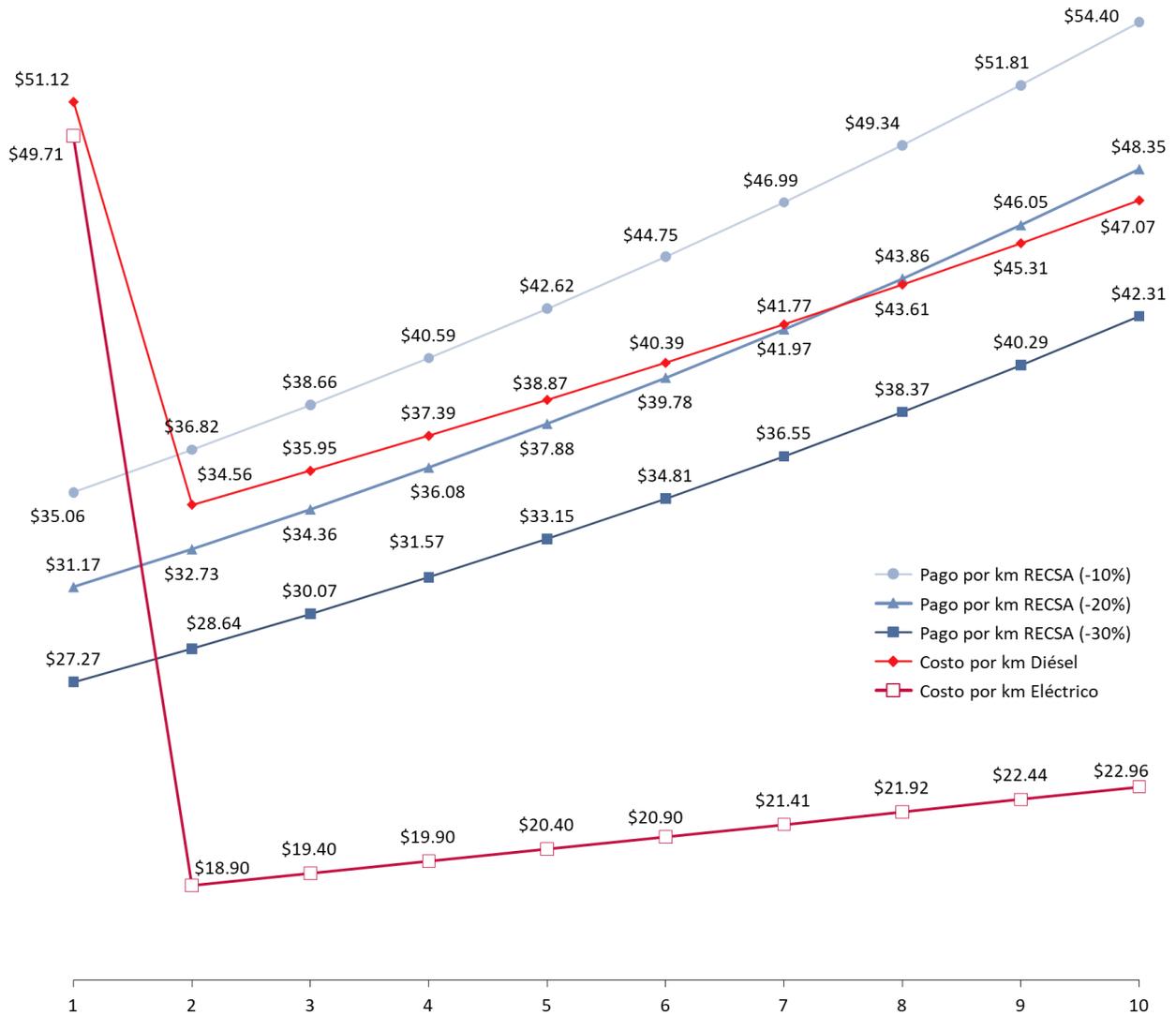
Fuente: Elaboración propia con resultados del modelo TCO-MB

Anexo 6. Análisis comparativo de sensibilidad en pago por km y costo por km CISA



Fuente: Elaboración propia con resultados del modelo TCO-MB

Anexo 7. Análisis comparativo de sensibilidad en pago por km y costo por km RECSA



Fuente: Elaboración propia con resultados del modelo TCO-MB