



LA ELECTRO MOVILIDAD

como estrategia para
una nueva política de
transporte público:

**EL CASO DE
SANTIAGO
DE CHILE**

Año 2021

Autores:

Cristián Navas Duk
Carlos Bueno Cadena
Richard Mix Vidal

**Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo**

Navas Duk, Cristián.

La electromovilidad como estrategia para una nueva política de transporte público: el caso de Santiago de Chile / Cristián Navas Duk, Carlos Bueno Cadena, Richard Mix Vidal.

p. cm. — (Monografía del BID; 950)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Electric vehicles-Chile. 2. Buses, Electric-Chile. 3. Urban transportation policy-Chile. I. Bueno Cadena, Carlos. II. Mix Vidal, Richard. III. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Transporte. IV. Título. V. Serie.

IDB-MG-950

Palabras Clave: Electromovilidad, Transporte urbano, Políticas de transporte, descarbonización, Innovación tecnológica

Códigos JEL: L91, I14, R41

Copyright © 2021 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional. Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia. Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



CONTENIDO

▶ 1. RESUMEN EJECUTIVO	5
▶ 2. INTRODUCCIÓN: EL SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO DE SANTIAGO DE CHILE	6
2.1 El desarrollo de Transantiago: Hitos principales	6
2.2 Transantiago en números	8
▶ 3. EXPERIENCIAS PILOTO: EL CAMINO HACIA EL IMPULSO DE LA ELECTROMOVILIDAD EN SANTIAGO	12
3.1 Pilotos de buses	13
3.1.1 Mejoras interiores a buses diésel	13
3.1.2 Conversión del sistema de propulsión	14
3.1.3 Bus de dos pisos	15
3.1.4 Bus con estándar europeo	16
3.1.5 Primeros buses eléctricos y modelo de negocio inicial	17
3.2 Zona paga	20
▶ 4. IMAGEN OBJETIVO Y MODELO DE NEGOCIO ESCALADO	25
▶ 5. IMPLEMENTACIÓN DEL ESCALAMIENTO	28
5.1 Piloto de terminales	29
5.2 Piloto de capacitación	31
5.3 Piloto de regularidad	32
5.4 Piloto de bus articulado eléctrico	33
▶ 6. POLÍTICA PÚBLICA	34
▶ 7. LECCIONES APRENDIDAS	36
▶ BIBLIOGRAFÍA	40



FIGURAS

Figura 2.1: Estación Baquedano.	6
Figura 2.2: Calificación recibida por el sistema Transantiago a lo largo del tiempo.	7
Figura 2.3: Afluencia de pasajeros de Metro por línea 1990-2016.	8
Figura 2.4: Evolución del sistema de transporte público de Santiago, 2007-2016.	9
Figura 2.5: Evolución del Índice de Evasión entre 2011 y 2016.	10
Figura 2.6: Evolución del material particulado respirable fracción fina MP2.5 y principales medidas ambientales entre 1989-2017.	11
Figura 2.7: Evolución tecnológica de la flota según norma de emisión de gases contaminantes 2008-2016.	11
Figura 3.1: Ranking espontáneo de problemas del Sistema de Transporte Público Transantiago.	12
Figura 3.2: Características interiores de los buses en cabina del conductor y asientos.	14
Figura 3.3: Sistema de carga tipo pantógrafo desarrollado para la carga del bus transformado.	15
Figura 3.4: Sistema de propulsión eléctrico implementado en el piloto.	15
Figura 3.5: Bus de dos pisos circulando por la Av. Bernardo O'Higgins.	16
Figura 3.6: Especificaciones generales de los buses eléctricos rígidos.	17
Figura 3.7: Especificaciones del tren motor eléctrico.	18
Figura 3.8: Características espaciales del servicio 516.	19
Figura 3.9: Torniquetes, validadores, personal de control e información fija asociada a las rutas que atiende una zona paga.	21
Figura 3.10: Características del validador implementado en la zona paga.	22
Figura 3.11: Características de los paneles de información en tiempo real.	23
Figura 4.1: Corredor Avenida Grecia.	25
Figura 4.2: Representantes de la autoridad y las empresas involucradas en el proyecto.	26
Figura 4.3: Modelo de negocio propuesto.	27
Figura 5.1: Vista aérea del lanzamiento del primer escalamiento del proyecto.	28
Figura 5.2: Terminal Los Espinos.	29
Figura 5.3: Conductoras capacitadas en el programa de electromovilidad	31
Figura 5.4: Resultados de piloto de regularidad en la ruta 519.	32
Figura 5.5: Características externas del bus eléctrico articulado.	33
Figura 6.1: Terminal construido por el proveedor de energía ENGIE.	34
Figura 6.2: Modelo de Negocio estructurado para las próximas licitaciones del sistema RED	35

TABLAS

Tabla 1. Electroterminales operativos de la empresa Metbus S.A.	30
Tabla 2. Características de pilotos implementados en proyecto de electromovilidad.	37

ABREVIATURAS

ALC	América Latina y el Caribe
CORFO	Corporación de Fomento de la Producción de Chile
CPI	Consejo de Políticas de Infraestructura
DTPM	Directorio de Transporte Público Metropolitano
GEI	Gases de Efecto Invernadero
MTT	Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile
LFP	Litio-ferrofosfato
NMC	Níquel, manganeso y cobalto
SECTRA	Programa de Vialidad y Transporte Urbano del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile
TNE	Tarjeta Nacional del Estudiante
UITP	Unión Internacional de Transporte Público

1. RESUMEN EJECUTIVO

El transporte es uno de los sectores más representativos en la generación de contaminación ambiental asociada a emisiones de gases efecto invernadero (GEI), llegando a contribuir en América Latina y el Caribe (ALC) en cerca de 36% del total de emisiones (Martínez, 2018). En paralelo, se estima que el ruido ambiental presente en las grandes ciudades proviene hasta en un 70% de la operación de este medio de transporte (CPI, 2019). Gracias a las condiciones tecnológicas ofrecidas por la electromovilidad y a la ruptura de paradigmas asociados a su operación y costo, esta se ha convertido en los últimos años en una opción factible para reducir la contaminación ambiental en múltiples dimensiones. En este camino, países como Chile, Colombia, Paraguay y Ecuador ya han comenzado a tener experiencias importantes de incorporación de estas tecnologías, a través de la exitosa puesta en operación de buses eléctricos en algunos de sus sistemas de transporte público.

Dentro de este contexto, este documento tiene como objetivo presentar el proceso llevado a cabo en Santiago de Chile para la implementación del primer proyecto de buses eléctricos a gran escala fuera de China, haciendo especial énfasis en los paradigmas y barreras existentes al momento de la estructuración del proyecto. Este trabajo abarca aspectos relevantes desde el enfoque operacional y tecnológico, e incluye los elementos claves del modelo de negocio que hizo posible la definición de la política pública de electromovilidad de Chile. La estructura del trabajo incluye el análisis de la situación base más la descripción cronológica de sus principales hitos y actores involucrados.

Los principales análisis presentados se realizan en torno a la serie de pilotos desarrollados para testear mejoras tecnológicas en el sistema de transporte público de Santiago y cuyos resultados fueron incluidos en la definición de la imagen objetivo del proyecto seminal de electromovilidad, correspondiente al primer electrocorredor del sistema de transporte de Santiago. Finalmente, se resumen las lecciones aprendidas y las recomendaciones para los tomadores de decisiones que pretendan implementar proyectos similares en ALC.

En resumen, este documento presenta un caso de éxito sobre el cual se muestra cómo a través de experiencias puntuales, pruebas en terreno y proyectos de menor escala ha sido posible establecer un contexto favorable para la promoción y el escalamiento de la electromovilidad en ALC. Esto bajo una estrategia para una nueva política de transporte público más limpio, que ofrezca un mejor nivel de servicio para el usuario y que acelere la transformación del sector transporte hacia el camino del desarrollo sostenible.

2. INTRODUCCIÓN: EL SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO DE SANTIAGO DE CHILE

2.1 El desarrollo de Transantiago: Hitos principales



Figura 2.1: Estación Baquedano.
Fuente: www.red.cl

A finales del año 2001 se inició el proceso de rediseño del sistema de transporte público de buses de la ciudad de Santiago, el cual contemplaba la implementación de un esquema de concesiones que permitieran operar la red de rutas bajo los estándares operacionales y las regulaciones definidos por la autoridad. El objetivo principal del nuevo plan, denominado Transantiago, era producir el mejoramiento de la calidad del servicio de transporte público de la ciudad, teniendo como condición principal su sostenibilidad económica. Finalmente, en el año 2006, se inició su puesta en marcha, lo que consideró un cambio abrupto en el esquema de

rutas. Esto, sumado a ausencia de infraestructura dedicada para buses y el incumplimiento de los estándares operacionales, generó una baja percepción de los usuarios y un descontento generalizado, lo que aumentó a lo largo del tiempo. Este descontento se encontraba asociado a variables como los altos tiempos de espera, la irregularidad del servicio, el hacinamiento, el comportamiento de los conductores y el deterioro de la flota operacional. En consecuencia, el sistema ha sido testigo de muy altos niveles de evasión al pasaje de transporte público desde los inicios de su implementación hasta la actualidad, pasando de valores entre 11% y 17% en 2007

(Buneder, 2016) hasta valores superiores a 30% en 2016, situación particularmente significativa en el caso de los buses del sistema.

Uno de los hitos significativos en este proceso fue la implementación de la integración tarifaria del sistema de buses con la red de metro en 2007, lo que se convirtió en una de las grandes bondades del sistema. Esto permitió la transferencia entre rutas de buses con el pago de un solo pasaje, más la conexión entre el sistema de buses y el metro, con el pago de una pequeña diferencia para completar el valor del pasaje relacionado con el viaje en metro en horario punta y valle. Esta integración permitió reducir los gastos de los usuarios asociados al pago de doble tarifa y aumentó el uso de la red metro, convirtiéndola en eje estructurante del sistema de transporte público.

Posteriormente, con el objetivo de mejorar el esquema operacional del sistema y permitir su sostenibilidad financiera, el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT) realizó una renegociación de los contratos de concesión en 2012. Esto permitió flexibilizar el esquema tronco-alimentador de la red de rutas. Además, se incluyeron mejoras en los buses del sistema,

como la inclusión de un filtro de partículas para el aire, y se pasó a asignar gran parte de la responsabilidad del control de la evasión a los concesionarios de operación.

Luego, en 2016, se realizó la estructuración del proyecto de electromovilidad para el sistema de buses de Santiago. La **Figura 2.2** presenta la evolución de la calificación dada por los usuarios al sistema de buses entre 2014 y 2016, en una escala que va de 1.0 (menor satisfacción) a 7.0 (mayor satisfacción). Esta información proviene de encuestas realizadas tres veces al año a un conjunto cercano a 5.000 usuarios del sistema en cada período. Los resultados obtenidos reflejan los bajos niveles de satisfacción y el descontento generalizado de los usuarios previo a la implementación de cambios relacionados con electromovilidad en el sistema, con calificaciones que rondaban una nota de 4.3 en promedio. En particular, el nivel de servicio del sistema de buses contrastaba con los mejores estándares de calidad percibidos por los usuarios en el sistema de metro, al cual valoraban con una clasificación cercana a 5.0, debido a que este ofrecía rapidez y confiabilidad gracias a su infraestructura y capacidad organizacional.

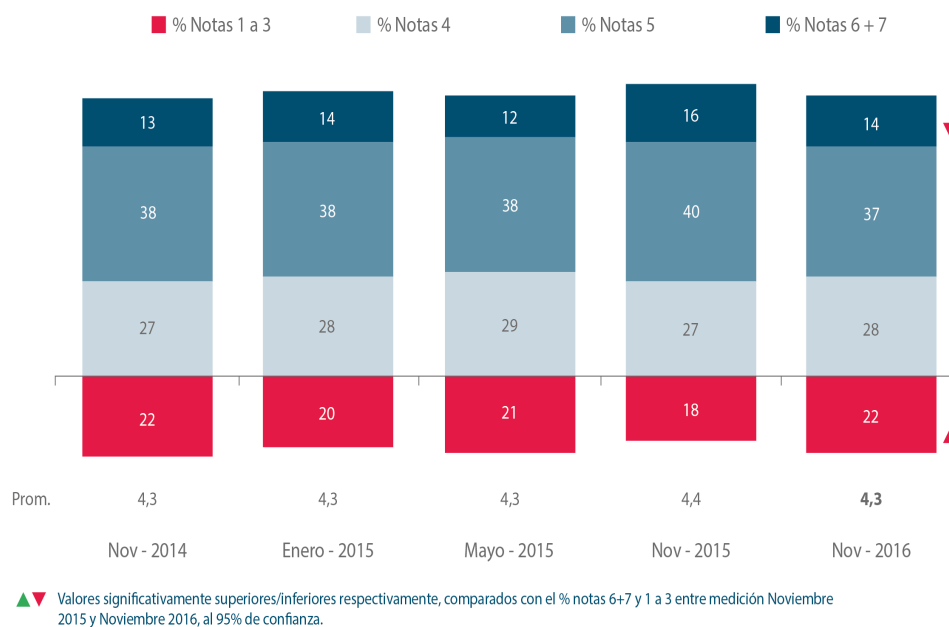


Figura 2.2: Calificación recibida por el sistema Transantiago a lo largo del tiempo.

Fuente: MTT (2016b)

2.2 Transantiago en números

Desde su implementación, el sistema de transporte público de la ciudad de Santiago ha estado conformado por dos modos principales: metro y buses. Estos modos han actuado de forma complementaria gracias a la integración tarifaria y operacional entre sus recorridos. Debido a esto, los usuarios pueden fácilmente combinar viajes de bus y metro, muchas veces utilizando el sistema de buses como parte inicial y/o final de muchos de sus traslados, con el uso del sistema de metro en una etapa del viaje. La **Figura 2.3** muestra el aumento en el uso de la red metro, una vez se dio la integración con el sistema de buses

en el año 2007. A inicios de 2016, año en que se comenzó con el proceso de implementación de la electromovilidad, el sistema contaba con 6 líneas de metro con un alto nivel de utilización y una red de 378 rutas operadas con 6.646 buses (MTT, 2016b). En particular, de los 4.6 millones de viajes que se hacía en el sistema, el 52% utilizaban exclusivamente el modo bus y el 26% requerían combinar los modos bus y metro. De esta manera, el 78% del total de viajes en transporte público utilizaban el sistema de buses en alguna de sus etapas (SECTRA, 2015).

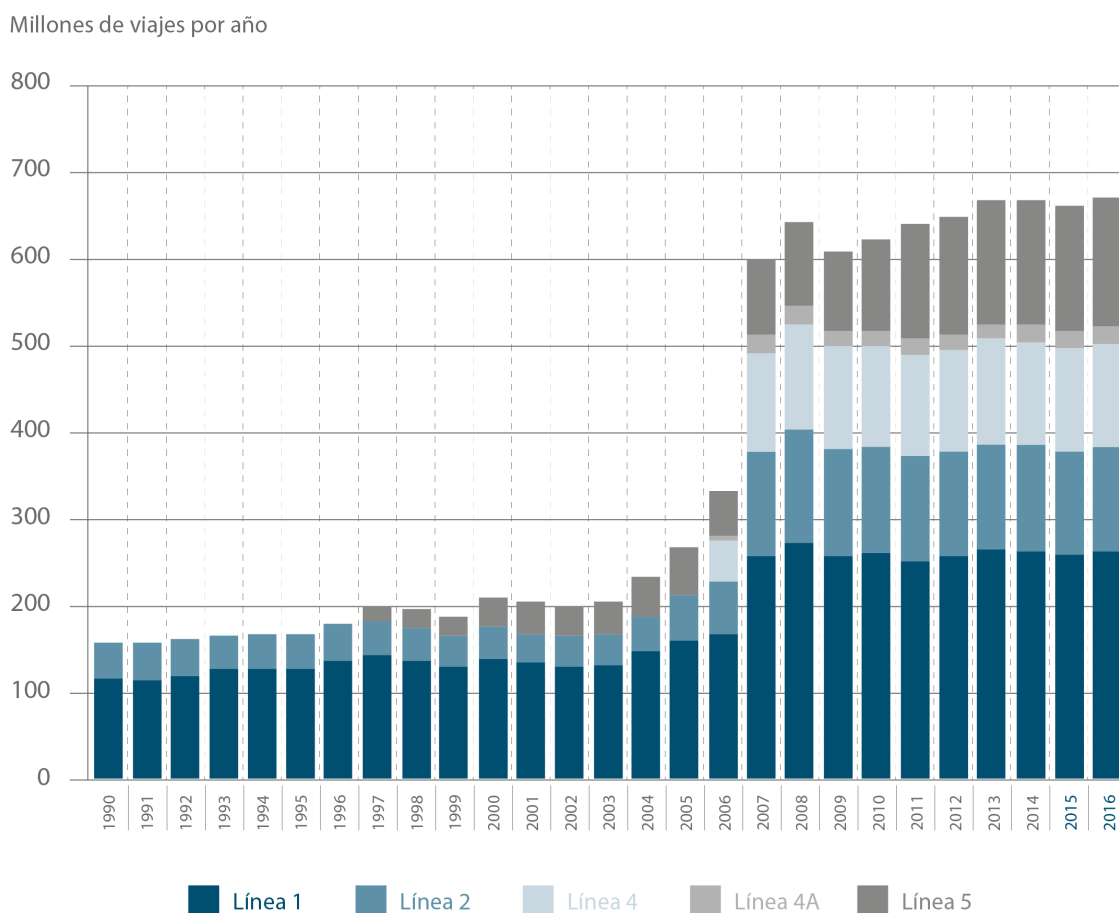


Figura 2.3: Afluencia de pasajeros de Metro por línea 1990-2016.

Fuente: MTT (2016a)

La **Figura 2.4** muestra la evolución de los diferentes indicadores del sistema (Bowen, 2017). Se observa que la implementación del sistema estuvo acompañada de una limitada oferta de transporte, la cual entre 2007 y 2016 requirió ser aumentada en 11%. Esta situación contrastaba con la disminución de las transacciones, cuyo máximo valor alcanzó los 1.207 millones anuales para el

2009, llegando a disminuir 27% para el año 2016. Adicionalmente, para este mismo año el parque automotor del sistema de buses se encontraba deteriorado y cerca del 28% del total de la flota requería ser renovada. Así mismo, la longitud de infraestructura dedicada para buses (vías segregadas y exclusivas) no había experimentado aumentos significativos desde el año 2010.

Buses	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Transacciones anuales (millones)	892	1.165	1.207	1.187	1.088	1.036	1.010	973	922	881
Promedio de transacciones en día laboral	3.173.941	3.661.139	3.824.828	3.633.556	3.312.565	3.184.289	3.327.495	3.227.563	3.061.457	2.928.639
Número de buses	5.975	6.399	6.572	6.564	6.165	6.298	6.493	6.513	6.550	6.646
Número de servicios	276	321	334	358	351	374	368	371	379	378
Plazas	nd	607.178	626.527	650.003	626.647	642.964	665.980	674.391	676.685	682.642
Kilómetros recorridos (millones)	371	481	487	512	483	469	464	460	460	459
Longitud de la red vital cubierta por buses (km)	2.100	2.545	2.683	2.692	2.732	2.766	2.770	2.790	2.817	2.821
Número de paradas	9.397	9.595	10.492	10.809	11.188	11.165	11.271	11.325	11.328	11.339
Vías segregadas (km)	11	32	45	62	62	62	68	69	70	72
Vías exclusivas (km)	8	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Pistas Solo Bus (km)	80	114	117	119	119	119	119	119	-	-
Pistas Solo Bus (km-Sentido)	-	-	-	-	-	-	-	161	180	200
Cámaras de fiscalización	-	-	-	-	110	110	234	234	266	273

Figura 2.4: Evolución del sistema de transporte público de Santiago, 2007-2016.

Fuente: Bowen (2017)

Por otra parte, debido a los problemas de implementación al inicio del proyecto, la evasión se instauró en el imaginario colectivo de los usuarios como un mecanismo para demostrar el inconformismo por el bajo nivel de servicio percibido, el alto costo del pasaje y la despersonalización del sistema al asociarlo al Estado o las grandes empresas (LIP, 2017). Esta forma de actuar de algunos usuarios, sumada a la baja disposición de pago de algunos sectores de

la población, hacían que se observaran niveles de evasión cercanos al 35% para el año 2016. Estos niveles hacían insostenible el servicio por parte de los operadores, debido a que su remuneración estaba representada en aproximadamente un 70% por las validaciones presentes en sus servicios. La **Figura 2.5** muestra el comportamiento de los niveles de evasión del sistema a lo largo del tiempo, observándose un aumento sostenido desde 2013.

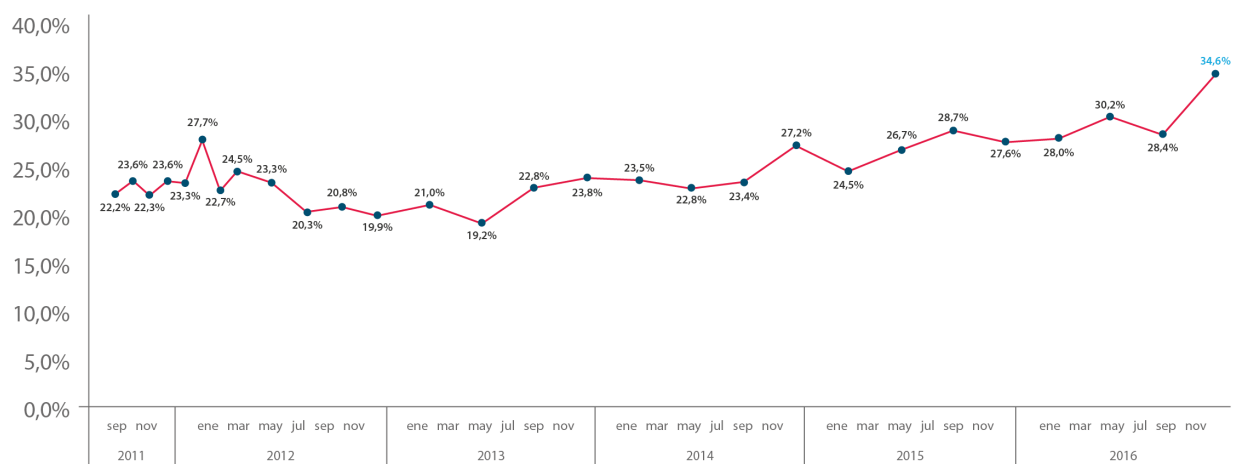


Figura 2.5: Evolución del Índice de Evasión entre 2011 y 2016.
Fuente: MTT (2016c)

Desde el punto de vista ambiental, uno de los principales problemas de Santiago es la contaminación atmosférica. Debido a esto, a partir de 1990 se inició un plan de medidas planificadas para reducir la emisión de material particulado. Como medidas adicionales de mitigación reactiva ante episodios críticos de contaminación, se implementan la restricción vehicular al transporte privado y la preferencia de uso de vías principales para el transporte público (ejes ambientales). En el año 2017, el nuevo plan de prevención y

descontaminación atmosférica incluye como requisito para las próximas licitaciones del sistema de transporte público el uso de tecnología EURO VI para la nueva flota de buses. La **Figura 2.6** y la **Figura 2.7** muestran las medidas ambientales tomadas a través del tiempo y la composición tecnológica de la flota de buses, respectivamente. Nótese que para el año 2016 casi el 80% de la flota correspondía a tecnología que cumplía con la norma EURO III.

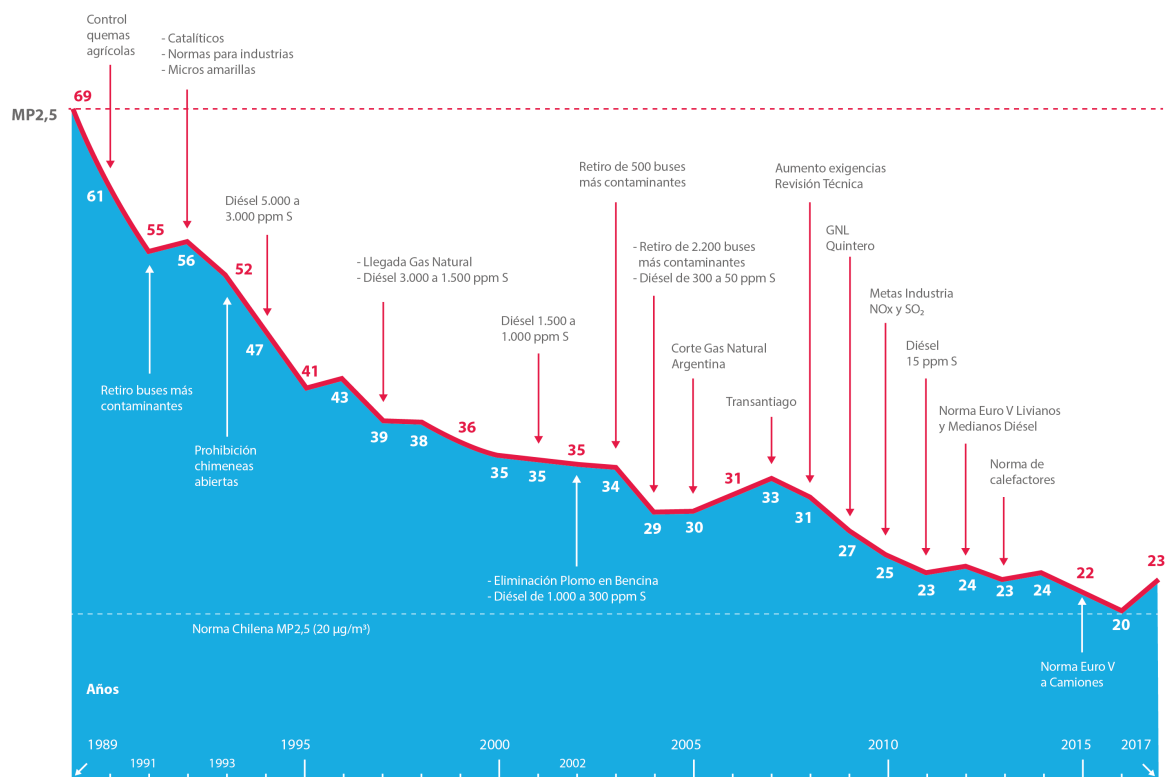


Figura 2.6: Evolución del material particulado respirable fracción fina MP2.5 y principales medidas ambientales entre 1989-2017.

Fuente: www.airesantiago.gob.cl

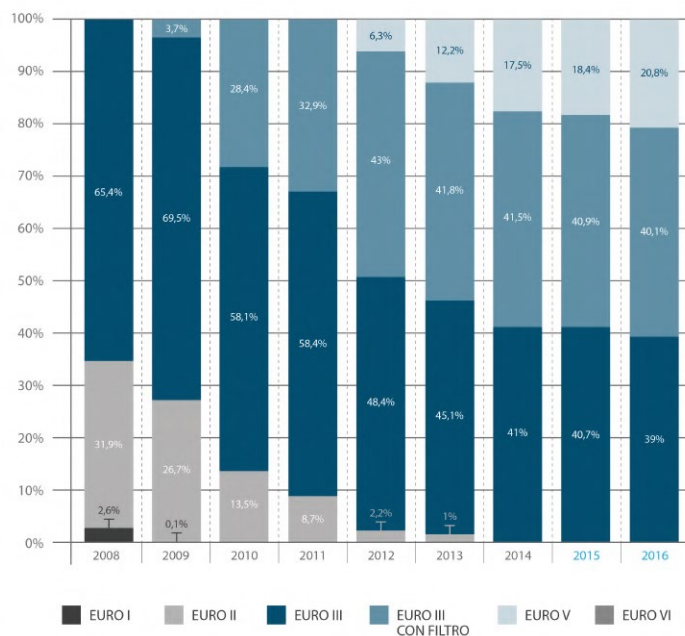


Figura 2.7: Evolución tecnológica de la flota según norma de emisión de gases contaminantes 2008-2016.

Fuente: MTT (2016a)

3. EXPERIENCIAS PILOTO: EL CAMINO HACIA EL IMPULSO DE LA ELECTROMOVILIDAD EN SANTIAGO

En 2016, el operador Metbus en conjunto con el Directorio de Transporte Público Metropolitano (DTPM), diseñó un plan estratégico tomando como punto de inicio la encuesta de percepción del servicio realizada por la autoridad de transporte. Este instrumento de medición permitió conocer las variables de servicio más valoradas por los usuarios. La **Figura 3.1** muestra cada una de las variables medidas en la encuesta, observándose que en los tres primeros lugares se encuentran

las variables de frecuencia y regularidad, evasión y falta de mantenimiento de los buses. La primera variable está asociada a la falta de regulación del servicio y la ausencia de infraestructura dedicada para buses, la segunda se relaciona con la falta de mecanismos de control de acceso a los buses, percepción del servicio y conducta por parte de los usuarios, mientras que la tercera se vincula al deterioro del parque automotor.

¿Cuál cree usted que es el principal problema del sistema de transporte público? ¿algún otro?
(8:800, Total muestra)

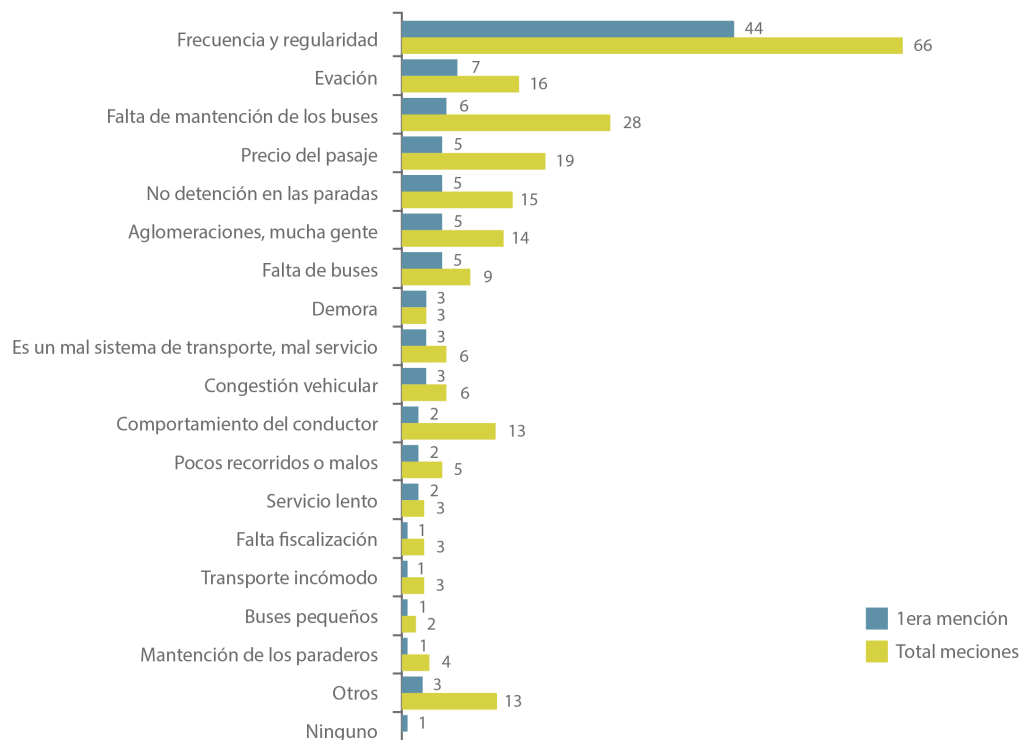


Figura 3.1: Ranking espontáneo de problemas del Sistema de Transporte Público Transantiago.
Fuente: DTPM (2016)

De estas variables, el concesionario seleccionó aquellas sobre las que podría realizar una gestión directa, sin recurrir a cambios estructurales en los contratos de concesión o a la implementación de subsidios adicionales a la operación. Basándose en esta selección, el operador inició la construcción de una estrategia que abordaría la problemática enfocándose en la implementación de nueva tecnología e infraestructura, capacitación y mejoras operacionales.

Para cada una de las áreas, se diseñaron un conjunto de pilotos que pretendían evaluar el comportamiento de nuevas tecnologías y generar las herramientas para construir metodologías que permitieran su adecuada inserción en los procesos

operacionales de la empresa. Este enfoque de trabajo basado en pilotos pasó entonces a ser la base del aprendizaje necesario para la expansión de las medidas que progresivamente fueron dando mayor espacio a la implementación de la electromovilidad en el sistema de transporte público de Santiago. De esta forma, la experiencia adquirida en cada uno de estos pilotos fue clave para el desarrollo de una visión integral, que permitió alcanzar el objetivo de mejorar el nivel de servicio experimentado por los usuarios del sistema.

A continuación, se presentan las características de cada uno de los pilotos ejecutados durante la fase de estructuración del proyecto.

3.1 Pilotos de buses

Este tipo de pilotos tuvieron como **principal objetivo mejorar el confort experimentado por los usuarios y conductores de la empresa**. Dentro de este contexto, se realizaron cuatro pilotos entre los años 2016 y 2018, en los cuales se probaron de forma progresiva nuevas tecnologías y ajustes al diseño interior de los buses.

3.1.1 Mejoras interiores a buses diésel

En noviembre de 2016 se inició el primer piloto, el cual aprovechó la necesidad de vincular 38 buses nuevos para cubrir dos nuevos servicios asignados a la empresa por el DTPM. Se utilizaron buses rígidos de la marca Mercedes Benz equipados con dos nuevas características asociadas a la seguridad y el confort de conductores y usuarios. La cabina de los conductores fue acondicionada para generar un habitáculo que les brindara protección ante posibles agresiones por parte de los usuarios, lo que históricamente ha sido un foco de riesgo para los conductores. Adicionalmente, se incorporó aire acondicionado a estas cabinas, con el fin de mejorar las condiciones de los empleados, quienes pasaban la mayor parte de su jornada laboral al interior de los buses experimentando condiciones ambientales adversas, especialmente durante la época de verano.

De otra parte, una de las quejas recurrentes de los usuarios era los tipos de asientos presentes en los buses, los cuales producían que los usuarios se deslizaran hacia adelante, por efecto de la inercia y el bajo coeficiente de roce del material de los asientos con la ropa de las personas, cada vez que el vehículo frenaba. Para solucionar este requerimiento, se incorporaron asientos acolchados y antideslizantes que mejoraban la comodidad de los usuarios. Finalmente, el bus fue equipado con un sistema de cámaras para un registro audiovisual de lo que ocurría al interior de los buses en operación, lo que brindaba más seguridad a usuarios y conductores.

Uno de los puntos importantes de esta experiencia piloto fue que permitió probar la tecnología de aire acondicionado y analizar su impacto sobre los esquemas de mantenimiento y de consumo de combustible en la operación real de la empresa. Los resultados permitieron romper paradigmas sobre los costos asociados a su uso y concluir que existía la factibilidad de su implementación no sólo en las cabinas de conducción, sino adicionalmente en el habitáculo de pasajeros. En términos generales, el costo operacional del uso de aire acondicionado por cada recorrido realizado ascendió a un valor cercano a la tarifa cobrada para un pasajero en el sistema, es decir, del orden de \$700 pesos chilenos.

En 2020 estos buses aún se encuentran operativos en el sistema y el uso las características definidas para la cabina del conductor y para los asientos se han mantenido como el estándar mínimo para los nuevos vehículos de la empresa.



Figura 3.2: Características interiores de los buses en cabina del conductor y asientos.
Fuente: <http://www.mtt.cl>

3.1.2 Conversión del sistema de propulsión

En el año 2016, los precios de los buses eléctricos eran significativamente altos, llegando a ser cercanos al doble de un bus diésel. En este contexto, se estructuró un piloto de conversión de un bus diésel a eléctrico para el análisis de este tratamiento como una opción factible para la introducción de la electromovilidad en el transporte público. Esta iniciativa fue un esfuerzo conjunto entre las empresas Metbus, operadora de Transantiago, ENEL, distribuidora de energía eléctrica, y Reborn Electric, proveedor tecnológico. El objetivo del piloto era evaluar la reducción de los costos de adquisición del material rodante eléctrico que se obtendría al reemplazar el tren motor de un bus diésel que ya había cumplido su vida útil. La transformación del tren motor estuvo a cargo de Reborn Electric con cofinanciación de ENEL y la renovación (overhaul) de la carrocería a cargo y costo de Metbus.

Para la transformación fue seleccionado al interior de la empresa uno de los buses diésel con más kilómetros recorridos y mayor desgaste de la carrocería, el cual era un bus rígido, de marca Mercedes Benz, fabricado en el año 2008 y con

capacidad cercana a los 90 pasajeros, entre pasajeros sentados y de pie. Además de la transformación del tren motor y el potenciamiento de la carrocería, fue necesario el desarrollo de un sistema de carga de energía tipo pantógrafo. El tren motor a combustión fue reemplazado por un motor de 250 kW de potencia alimentado por un grupo de baterías de níquel, manganeso y cobalto (NMC) de 100 kWh de capacidad. En 2018, el bus completó su transformación y pruebas de desempeño, siendo posteriormente certificado por el Centro de Control y Certificación vehicular 3CV del MTT, paso fundamental en la autorización de un vehículo para la circulación en las calles de Chile. La **Figura 3.3** y la **Figura 3.4** muestran el sistema de propulsión y el sistema de carga del bus, respectivamente.

Pese a los buenos resultados obtenidos con los buses convertidos, el desarrollo tecnológico y la mejor oferta de buses eléctricos que se fue dando en el tiempo hizo que bajara el interés por escalar la conversión de buses. La reducción de costos de los vehículos nuevos con tecnologías eléctricas hizo que no fuera atractivo hacer la inversión y tomar el riesgo de realizar la conversión de los vehículos antiguos a nivel local de forma masiva.



Figura 3.3: Sistema de carga tipo pantógrafo desarrollado para la carga del bus transformado.
Fuente: www.rebornelectric.cl

3.1.3 Bus de dos pisos

Posteriormente, en marzo de 2017 se realizó un tercer piloto, el cual permitió operar un bus de dos pisos con estándar de emisiones Euro VI del fabricante Alexander Dennis sobre parte del corredor principal de transporte público de la ciudad. Este piloto tenía como objetivo evaluar dos elementos valorados por los usuarios en viajes de larga distancia: aire acondicionado y mayor número de asientos. En esta ocasión, también se incluyeron facilidades tecnológicas, como puertos USB para suministro eléctrico y wifi gratuito.

Por las dimensiones presentadas por el vehículo (ver **Figura 3.5**) dentro de la logística del piloto fue necesario definir un recorrido que permitiera operar al bus bajo condiciones seguras y controladas. Por tal razón, el bus no fue incluido en un servicio comercial del sistema de transporte, sino que se



Figura 3.4: Sistema de propulsión eléctrico implementado en el piloto.
Fuente: www.rebornelectric.cl

definió un recorrido especial que operó sobre la principal vía de la ciudad. Además, para la puesta en marcha del piloto fue necesario revisar gálibos máximos permitidos en pasos a desnivel, podar arborización e incluir una persona de apoyo al conductor, la cual tenía la misión de monitorear y controlar situaciones inseguras que se presentaran en el segundo piso del vehículo.

Luego de concluidas las cinco semanas de duración este proceso, los usuarios calificaron la operación con nota de 6,7/7,0 en la encuesta de satisfacción realizada. Esta calificación se convirtió en hito importante en el proyecto, ya que permitió cuantificar el impacto que las mejoras operacionales podrían tener sobre la percepción de nivel de servicio de los usuarios. De esta forma, se rompió el paradigma asociado a la creencia que el sentimiento de rechazo de los usuarios hacia el sistema no podría ser cambiado.



Figura 3.5: Bus de dos pisos circulando por la Av. Bernardo O'Higgins.

Fuente: Metbus S.A

3.1.4 Bus con estándar europeo

Dado que gran parte de la flota que operaba la empresa estaba conformada por buses de un solo cuerpo y con capacidad entre 80 y 90 pasajeros, en julio de 2017 se decidió realizar una evaluación de desempeño que incluyera un bus con características similares y cuyo recorrido se diera en condiciones operacionales mixtas atendiendo sectores céntricos y periféricos de la ciudad.

Este piloto incorporó un bus Citaro del fabricante Mercedes Benz, el cual contaba con características enfocadas en el mercado europeo, y las cuales permitían evaluar mejoras en las condiciones de diseño interior, entre las que se encontraban:

- **Asientos acolchados**
- **Asideros con agarre ergonómico**
- **Climatización automática**
- **Interior silencioso**

Así mismo, el piloto pretendía evaluar el desempeño de la tecnología Euro VI en buses rígidos y observar si esta tenía algún impacto sobre los procesos operacionales de la empresa. De este piloto se logró corroborar la importancia de la distribución y de los acabados internos del bus, y se reafirmó la importancia del aire acondicionado para mejorar el confort de los usuarios. Las evaluaciones operacionales reportaron para el bus testeado mejor eficiencia asociada al consumo de combustible que la observada en la operación regular de la flota de la empresa. Así mismo, se concluyó que la implementación de la tecnología Euro VI no generaba ningún impacto significativo sobre los procesos operacionales y de mantenimiento de la empresa, por lo que no se generarían problemas ante su adopción masiva en el sistema.

3.1.5 Primeros buses eléctricos y modelo de negocio inicial

Analizando las lecciones aprendidas con la implementación de los pilotos realizados hasta ese momento, el concesionario decidió explorar el uso de nuevas tecnologías que permitieran mejorar aún más la experiencia de viaje de usuarios y conductores, las cuales adicionalmente redujeran de forma sustancial la huella de carbono presente en la operación de transporte. De esta manera, en noviembre de 2017 se concretó la introducción de la electromovilidad en el sistema de transporte público de Santiago, mediante la puesta en marcha de dos buses eléctricos de la marca BYD, de 12

metros de longitud y capacidad para 81 pasajeros. La configuración de estos buses recogía todas las lecciones aprendidas en los pilotos anteriores, es decir, los buses estaban provistos con aire acondicionado, cargadores USB, wifi gratuito y la presencia de más asientos. El piloto tenía como objetivos principales explorar sinergias entre actores, poner a prueba la tecnología de buses eléctricos ante condiciones operacionales extremas y cuantificar la reducción de costos operacionales que se prometía traería el uso de este tipo de tecnologías. La **Figura 3.6** presenta las características generales del vehículo y la **Figura 3.7** las especificaciones del tren motor eléctrico.

BUS ELÉCTRICO K9FE

ASPECTOS GENERALES

El **BYD K9FE** es un bus 100% eléctrico de entrada baja diseñado especialmente para el sistema de transporte público de la ciudad de Santiago.

Este bus no genera emisiones contaminantes y tiene muy bajos niveles de ruido. Nueva tecnología y alto estándar para Transantiago.

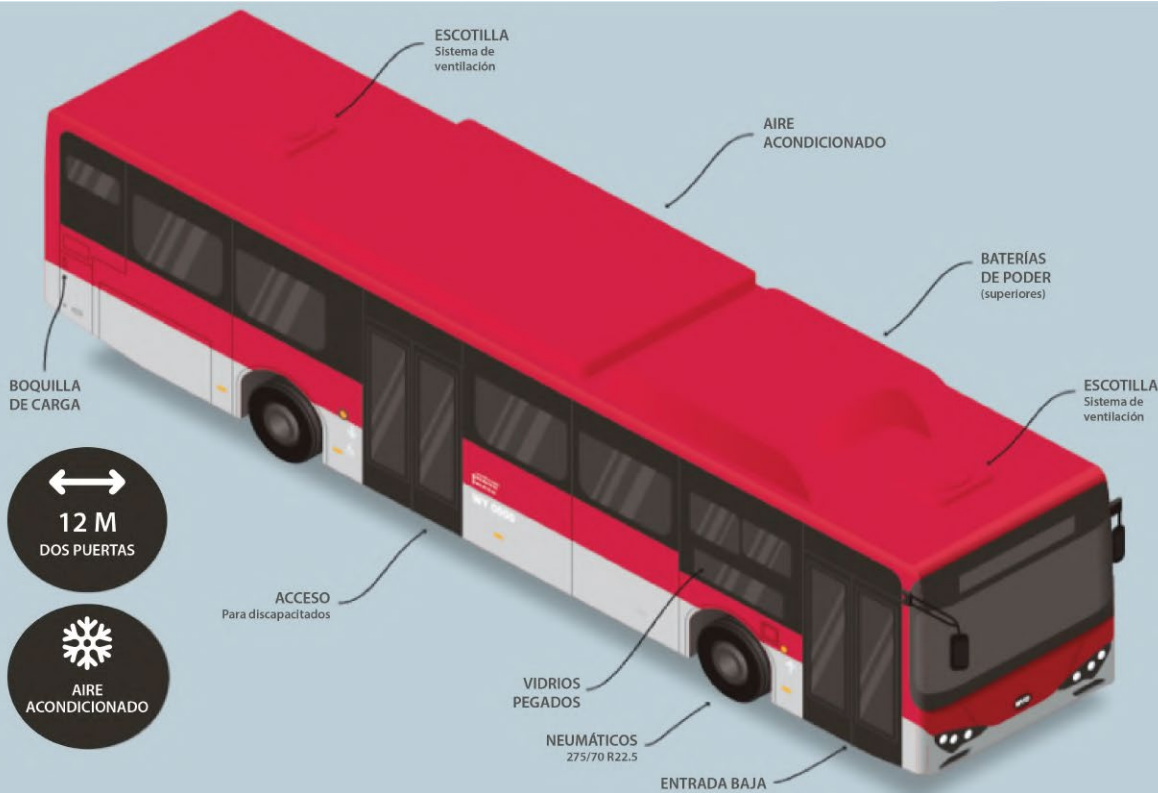


Figura 3.6: Especificaciones generales de los buses eléctricos rígidos.

Fuente: BYD Chile SPA

PROPULSIÓN

La tecnología BYD trabaja con un inversor de voltaje interno que se encarga de invertir la corriente alterna continua de modo de almacenarla en las baterías de poder. Este mismo inversor vuelve a transformar la corriente continua en alterna para llevarla a los motores eléctricos.

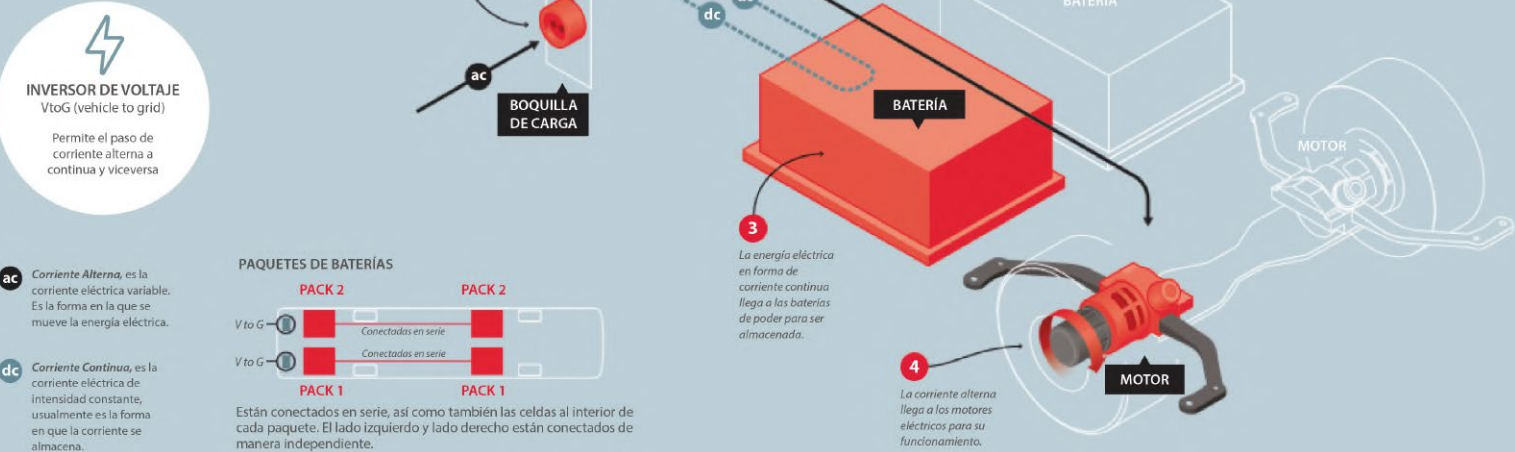


Figura 3.7: Especificaciones del tren motor eléctrico
Fuente: BYD Chile SPA

Desde el punto de vista de sinergias, se exploraron las alianzas estratégicas entre el proveedor de energía, el fabricante de buses y el operador de transporte. Para este piloto de dos buses eléctricos el proveedor de energía compró los vehículos al fabricante y los puso a disposición del operador mediante una cuota de arrendamiento mensual. De otra parte, el fabricante de buses accedió a realizar el mantenimiento del tren motor eléctrico con una remuneración mensual pagada por el operador de transporte. Estas alianzas iniciales entre los actores interesados en el piloto, como veremos en el siguiente capítulo, se convirtieron en uno de los puntos clave para la estructuración del modelo de negocio definitivo que permitió la masificación de la electromovilidad en el sistema de transporte de Santiago.

Desde el punto de vista de las pruebas en ruta de los buses eléctricos, el piloto tuvo como enfoque principal romper con los paradigmas operacionales asociados a esta tecnología. Para cumplir este objetivo, se seleccionó la ruta 516 para implementar el piloto, debido a que este recorrido era uno de los que presentaban las condiciones más exigentes de la empresa. El servicio movilizaba alrededor de 8.6 millones de pasajeros al año cruzando

completamente la ciudad de forma transversal. La **Figura 3.8** muestra el recorrido utilizado para pruebas, el cual tiene una longitud aproximada de 60 kilómetros en su circuito de ida y vuelta y en el tramo crítico alcanza una pendiente cercana al 14%. Para la operación de la ruta se seleccionaron un conjunto de conductores especialmente calificados, los cuales operaron de forma exclusiva los buses eléctricos.

Otro de los paradigmas con que contaban los buses eléctricos era su costo de adquisición, el cual podía llegar a ser hasta un 50% mayor que el de un bus diésel. Frente a esta situación, el piloto tenía como objetivo corroborar que los ahorros reales en los costos operacionales eran lo suficientemente altos para solventar el costo adicional de inversión del bus eléctrico. Los resultados obtenidos permitieron determinar que la operación de buses eléctricos presentaba rendimientos energéticos cercanos a 1kwh/km, con lo cual se lograban ahorros en el costo de combustible cercanos al USD 0.3/km, correspondientes a una disminución de alrededor del 75% de los costos de combustible observados en los buses diésel. Adicionalmente, se observaron reducciones cercanas al 37% en los costos totales de mantenimiento, ascendiendo estos a los USD 0.1/km.

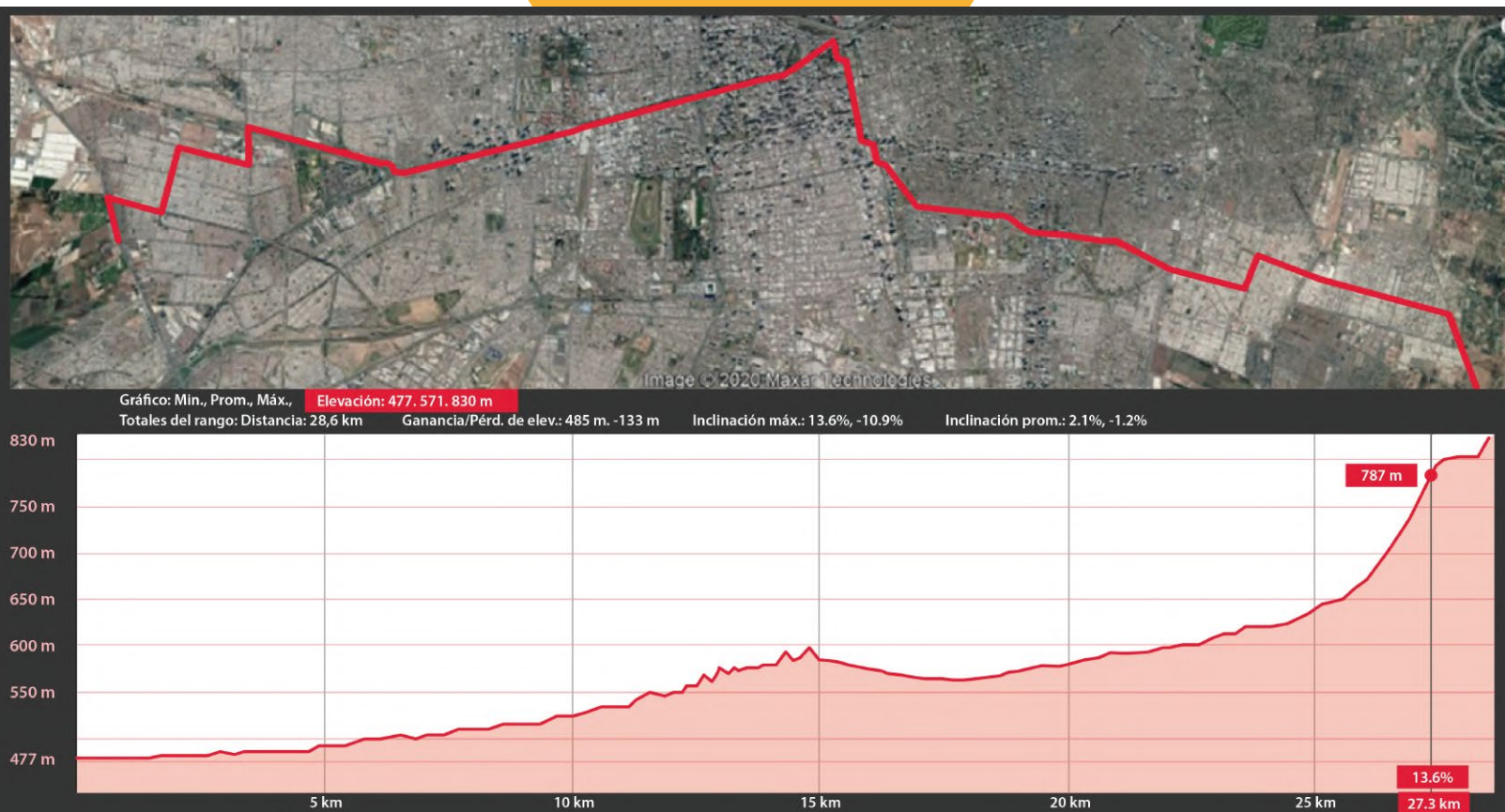


Figura 3.8: Características espaciales del servicio 516

Fuente: Elaboración propia basada en información de Google Earth

Los resultados obtenidos con el piloto fueron reveladores, observándose que los buses podían operar sin problemas a carga máxima por vías con altas pendientes. Así mismo, se observó alta aceptación de la tecnología por parte de conductores. Estos manifestaron comodidad en el manejo y una reducción importante del ruido experimentado al interior de los vehículos. Desde el punto de vista del comportamiento de los usuarios, se observó que en los buses eléctricos se generó una actitud de autocuidado interior y exterior del vehículo por parte de los pasajeros, a diferencia de lo observado en los demás buses de la empresa, los que presentaban altas tasas de vandalismo asociadas a la destrucción de asientos y el rayado de grafitis con pintura y ácido.

Dado el prolongado período de ejecución del piloto y la premisa establecida por la empresa de incluir de forma completa los buses eléctricos en el plan operacional, la actitud de los usuarios frente a estas mejoras se pudo evaluar de forma extendida. Ante los buenos resultados, se pudo reforzar la hipótesis de que los usuarios son altamente sensibles a mejoras en el nivel de servicio del sistema, incluso siendo posible observar respuestas encaminadas a la apropiación del sistema por parte de las personas, algo que no había sido observado anteriormente en el sistema desde la implementación del plan Transantiago. En consecuencia, luego de cumplido el periodo establecido para el piloto y contrario a las expectativas establecidas, se definió la factibilidad de implementar buses eléctricos a gran escala dentro de la operación de la empresa Metbus y en el resto de los operadores del sistema.

3.2 Zona paga

En 2012 se realizó una renegociación de los contratos de concesión del Sistema Transantiago, la cual determinó que los ingresos de los concesionarios de transporte provendrían en gran parte de la cantidad de usuarios que realizaran el pago del pasaje en los servicios del concesionario (~70%). Esto porque la importancia del pago de los usuarios y el alto nivel de evasión de los usuarios en el sistema requerían la implementación de un mecanismo de control del pago del pasaje. En paralelo, uno de los resultados obtenidos en la encuesta de percepción de nivel de servicio, fue la constante queja de los usuarios asociada al tiempo extra experimentado por ellos en los paraderos cuando estos están esperando el bus y éste no realiza la detención requerida, por lo que este nuevo mecanismo pasaría a ser un mayor incentivo a los conductores para que efectivamente cumplieran con tomar pasajeros en las paradas.

Dentro de este contexto, se diseñó un piloto para testear el uso de zonas pagas, instalaciones especiales en paraderos para una división física entre la vía pública y el espacio donde abordan y descienden del bus los pasajeros. En principio, estas soluciones serían capaces de influir en una disminución de la evasión y en una reducción de la incertidumbre de los usuarios relacionada con sus tiempos de espera en los paraderos. Adicionalmente, su uso contribuiría con aumentar la velocidad operacional de la ruta, reduciendo los tiempos de ascenso y descenso de pasajeros, mediante la eliminación del pago al ingresar al vehículo, más el uso de todas las puertas del vehículo. Luego, con la masificación de este tipo de infraestructuras a lo largo de una ruta, el aumento de la velocidad operacional permitiría reducir los tiempos de viaje de los usuarios y la flota requerida para operar el servicio. Así mismo, el uso de todas las puertas del vehículo permitiría de forma complementaria mejorar la distribución de los pasajeros al interior del vehículo, aumentando su capacidad efectiva.

En esta ocasión, el proyecto fue financiado de forma conjunta con recursos provenientes del

concesionario, el integrador tecnológico del sistema SONDA y el proveedor de energía ENEL. Adicionalmente, la Corporación de Fomento de la Producción de Chile (CORFO), mediante un proceso de selección de propuestas, asignó a la iniciativa un rubro de cofinanciación enmarcado dentro de la política de desarrollo e innovación de la entidad gubernamental. La Figura 3.9, la Figura 3.10 y la Figura 3.11 muestran las características del proyecto inaugurado en noviembre de 2018, el cual en 2020 se encontraba aún operativo.

A continuación, se describen las principales mejoras tecnológicas implementadas en el paradero:

• Cierre permanente:

Esta actividad contempló la instalación de una infraestructura de confinamiento ubicada a lo largo del perímetro del paradero, torniquetes de acceso y un cobertizo de protección de los usuarios. Solamente el costado de la zona paga que daba hacia la calzada se encontraba abierto, permitiendo el ascenso y descenso de pasajeros hacia y desde los buses. De esta forma, el personal en terreno podía supervisar exitosamente que todo pasajero que entrara a la zona paga y posteriormente a los buses validara su pasaje. El confinamiento tuvo como premisa en su diseño la facilidad de instalación, la reducción de costos y una disposición visualmente agradable para el usuario, la cual permitiera ubicar publicidad e información interna y externa de forma modular. Esta publicidad podía ser en formato impreso o digital, utilizando pantallas LED con protección contra ataques vandálicos. El cobertizo brindaba a los usuarios protección permanente a las condiciones climáticas y mejoraba la seguridad mediante el uso de iluminación LED en las horas nocturnas de operación. Para acceder al paradero se instalaron torniquetes de acceso, los cuales solo se activarían mediante la validación correcta del medio de pago.



Figura 3.9: Torniquetes, validadores, personal de control e información fija asociada a las rutas que atiende una zona paga.
Fuente: Elaboración propia.

• Validadores antivandálicos y con conexión 4G:

Para evitar la destrucción del equipo electrónico por efecto de ataques vandálicos similares a los sufridos en los buses del sistema, se diseñaron y construyeron validadores con material resistentes al impacto, a la corrosión de ácido y que disminúan la adherencia de los aerosoles utilizados para pintar grafitis. Por otra parte, una de las quejas de los usuarios que realizaban recarga del medio de pago vía internet, era la imposibilidad de activar su carga en los validadores ubicados en paraderos

y buses del sistema. Para realizar esta activación los usuarios debían dirigirse a estaciones de metro o establecimientos comerciales, lo cual en muchos de los casos era una razón adicional para justificar la evasión al ingreso de los buses. Dentro de este contexto, los validadores implementados en las zonas pagas contaron con tecnología 4G, permitiendo la activación de cargas remotas gracias a su comunicación inalámbrica constante con la red central de recarga.



Figura 3.10: Características del validador implementado en la zona paga.
Fuente: www.innovacion.cl

• Sistema de reconocimiento facial:

Además de la evasión asociada al no pago del pasaje, durante la operación del sistema se había detectado el uso inadecuado de los subsidios brindados por el gobierno para la reducción de la tarifa de los estudiantes, los cuales reciben una reducción en el precio al pasaje normal a través de la Tarjeta Nacional del Estudiante (TNE). Se observó que la TNE era usada regularmente por

familiares o conocidos, quienes pasaban de forma desapercibida como evasores encubiertos. En respuesta a esta problemática, se implementó un sistema de reconocimiento facial a través de una cámara colocada estratégicamente para registrar y reconocer la persona que utilizaba la TNE en el validador.



Figura 3.11: Características de los paneles de información en tiempo real.

Fuente: <http://www.diarioestrategia.cl/>

• Paneles de información en tiempo real:

Los paneles de información tenían como objetivo informar sobre el tiempo restante de llegada de los buses, y de esta manera reducir la incertidumbre en los tiempos de espera en el paradero. Los paneles utilizaron tecnología LED, conexión 4G a los sistemas centrales de transmisión de GPS del sistema y un predictor que estimaba en tiempo real la hora de arribo de los buses. Además de la hora de arribo, el panel despliega para cada ruta información de la patente del vehículo y la distancia a la que se encuentra del paradero.

- Cámaras de seguridad y persona de vigilancia:

Uno de los elementos que se buscó ofrecer a los usuarios fue una mayor percepción de seguridad y una atención efectiva. De esta manera, además de la iluminación LED en horas nocturnas, se implementó un sistema de cámaras de seguridad IP con visión de 360° conectadas al centro de control de la empresa. La implementación de este sistema, sumado a la presencia permanente de personal de control, convirtió al paradero en un punto seguro en el sector y con posibilidad de atención expedita por parte de las autoridades de seguridad de la ciudad. Adicionalmente, el uso de estos componentes permitió reforzar el control de la evasión alcanzado con la construcción del cierre y la instalación de los torniquetes de acceso.

- Sistema de control de parada:

Como estrategia para atacar la no realización de la parada solicitada por algunos de los usuarios ubicados en el corredor, se implementó un sistema de reconocimiento de placas patentes de los buses. Este sistema estaba compuesto por un sensor ubicado frente al paradero y bajo el pavimento, el cual estaba complementado con un conjunto de cámaras ubicadas antes y después del paradero. Este sistema permitía determinar si un bus había realizado la parada solicitada, la patente y el tiempo de detención del vehículo. Este sistema serviría como sistema de fiscalización en tiempo real o como mecanismo offline de corroboración de quejas por parte de los usuarios.

- Sistema de monitoreo:

Como forma complementaria a la tecnología instalada, se realizó la instalación de una estación de monitoreo del paradero en el centro de control de la empresa. Esta estación permitió llevar el control de la seguridad y la operación de los buses apoyado por las cámaras, validadores, sistema de detención de parada y la información aportada por el personal de regulación ubicado en la zona paga.

Como resultado del piloto, los actores involucrados y el DTPM concluyeron que su implementación podría realizarse a gran escala a lo largo de la ciudad, enfocándose en los puntos de mayor demanda del sistema. Como requerimientos mínimos de la solución se determinó la implementación del cierre, validadores, torniquetes, iluminación LED, sistema de información al usuario y personal de control. La implementación de tecnologías asociadas a cámaras y sistema de detención de parada debían obedecer al presupuesto disponible y a las complejidades logísticas de cada una de las paradas de las rutas. Finalmente, se observó que la viabilidad de aplicación del sistema de reconocimiento facial requería realizar una toma de datos biométricos especializada durante el empadronamiento de la TNE y legislar entorno al uso de estos datos por parte de los concesionarios del sistema de transporte público, desafíos con un mayor nivel de alcance y más complejos de implementar en el corto plazo.

4. IMAGEN OBJETIVO Y MODELO DE NEGOCIO ESCALADO



Figura 4.1: Corredor Avenida Grecia
Fuente: Metbus S.A.

Con el análisis realizado acerca de la situación del sistema y las lecciones aprendidas en los pilotos de flota e infraestructura, el operador Metbus estructuró un proyecto posterior con un enfoque integral para dar solución a las necesidades de los usuarios. El proyecto pretendía atacar los problemas estructurales del sistema mediante la operación del primer corredor eléctrico de la ciudad, por el cual circularían más de 100 buses con condiciones de confort mejoradas y con tecnología capaz de reducir de forma significativa las emisiones sonoras y atmosféricas. Adicionalmente, con el objetivo de mejorar las condiciones de espera de los usuarios

y reducir la evasión, cada uno de los paraderos del corredor serían reemplazados por zonas prepagos definitivas con torniquetes de acceso, iluminación led, servicio de carga de celulares, wifi gratuito y personal de control.

El corredor seleccionado por el concesionario para el proyecto fue Avenida Grecia, el cual se encuentra ubicado en el sector oriente de la ciudad y atiende a un importante número de usuarios del sistema de transporte público. Su infraestructura vial fue construida antes de la implementación

del sistema Transantiago y considera un carril exclusivo por sentido, los que están dedicados para el uso de buses y los que incluyen carriles de adelantamiento en las zonas de parada. Los paraderos contaban con una infraestructura sencilla compuesta por cobertizos para protección de la lluvia y el sol. Estas características sumadas a una operación casi exclusiva del operador sobre el corredor favorecían alcanzar los objetivos del proyecto en el corto plazo. Es decir, el corredor seleccionado no requería negociaciones complejas con otros operadores ni tiempos prolongados de construcción, debido a que ya contaba con la infraestructura más compleja de implementar.

Una vez superada la etapa de definición de la imagen objetivo del proyecto, fue necesario establecer los mecanismos contractuales y financieros que permitieran romper las barreras de su implementación. La primera labor que se estableció para la ejecución del proyecto fue el escalamiento del piloto de dos buses eléctricos a una flota operacional de 100 buses adicionales. Para lograr este objetivo, se requería conseguir el financiamiento necesario para la adquisición de la flota. De forma similar a cómo lo había hecho en pasadas ocasiones, el operador acudió a la banca tradicional para buscar financiamiento para la adquisición de la flota. Sin embargo, el proyecto tenía dos barreras principales que hacían que la obtención de este financiamiento no fuera posible

a través del esquema anteriormente usado. La primera barrera tenía relación con el riesgo de implementación con el que contaba la nueva tecnología de buses eléctricos, debido a que en el momento de estructuración del proyecto no se contaba con operaciones de buses eléctricos a gran escala fuera de China. La segunda barrera correspondía al tiempo restante de la concesión del operador, el cual era menor a la vida útil de los nuevos buses eléctricos.

Como antecedente, durante la fase previa de ejecución de pilotos, el concesionario puso a prueba dos buses eléctricos en una de las rutas más exigentes del sistema. Su puesta en marcha fue posible gracias al trabajo conjunto entre el Directorio de Transporte Metropolitano (DTPM), el operador, el fabricante de buses y el proveedor de energía de la ciudad. Este último compró los buses al fabricante de flota mediante un contrato de suministro y los puso a disposición del operador. El operador debía pagar una cuota mensual de arrendamiento según las condiciones establecidas en un contrato de leasing firmado con el proveedor de energía. Luego, dada la imposibilidad que tenía el concesionario de conseguir financiamiento para su flota, el operador y el proveedor de energía exploraron la posibilidad de replicar este esquema de financiamiento para el primer escalamiento propuesto para el proyecto.



De izquierda a derecha:

Simone Tripepi (Director Enel X Sur América), Héctor Moya (Director Metbus), Eliseo Salazar (Instructor BYD), Orlando Meneses (Técnico ENEL), Juan Pinto (Gerente Metbus), Gloria Hutt (Ministra de Transporte y Telecomunicaciones de Chile), Karla Zapata (Gerente Enel X Chile), Carolina Leitao (Alcaldesa comuna de Peñalolén), Fernando Saka (Director DTPM)

Figura 4.2: Representantes de la autoridad y las empresas involucradas en el proyecto.

Fuente: www.red.cl

El nuevo esquema de financiamiento continuaba teniendo el riesgo asociado al corto tiempo remanente del contrato de concesión del operador. Como estrategia para eliminar este riesgo, se hizo uso de un mecanismo dispuesto por el DTPM en los contratos de concesión, denominado contrato de provisión. Este contrato permitía que, previa aprobación del DTPM, un tercero comprara flota y la pusiera a disposición de un operador del sistema para que este hiciera uso de ella dentro de las rutas asignadas en su contrato de concesión. De esta forma, el proveedor de energía se convirtió en el proveedor de flota del proyecto, colocando los buses a disposición del operador mediante

un contrato de leasing, cuya duración estaría sujeta a la finalización del contrato de concesión de este último. Una vez el operador terminará su contrato de concesión, el DTPM le garantizaba al proveedor de energía que el nuevo operador que se seleccionará tomaría la flota para su operación asumiendo el contrato de leasing. Adicionalmente, gracias a la sinergia existente entre proveedor de energía y el operador, este último pudo acceder a una tarifa de energía preferencial, la cual permitió solventar de forma importante la inversión requerida para la compra del material rodante haciendo viable financieramente el proyecto.

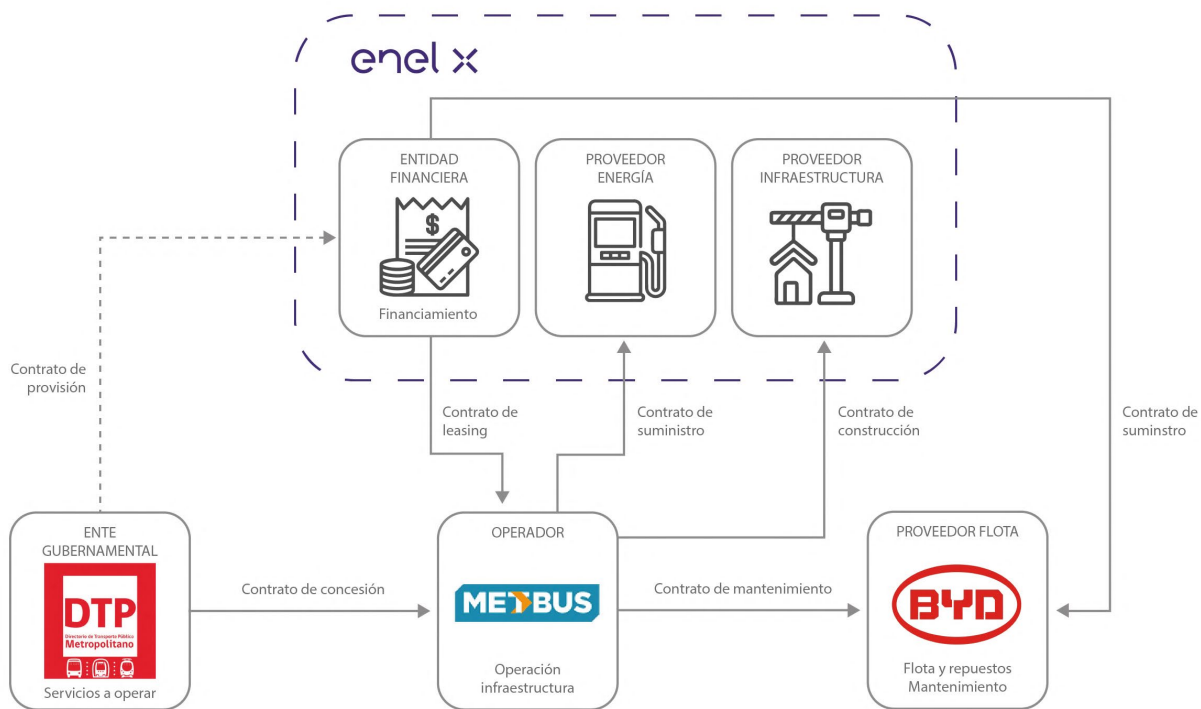


Figura 4.3: Modelo de negocio propuesto.

Fuente: www.red.cl

En complemento y como mecanismo de mitigación para el riesgo tecnológico, el fabricante de flota se convirtió en un actor más del proyecto, proveyendo garantías sobre las baterías de los buses y realizando el proceso de mantenimiento del tren motor del bus mediante un pago recibido por parte del operador por cada kilómetro que los buses recorrieran en el sistema. De esta forma, se solventaron las barreras impuestas por la nueva tecnología y las condiciones contractuales permitiendo realizar el escalamiento del proyecto.

Finalmente, el último elemento que se requería para dar vida al proyecto era la construcción de infraestructura, compuesta por los electroterminales y los nuevos paraderos a lo largo del corredor de la Avenida Grecia. Se definió que esta labor debía ser adelantada por el proveedor de energía, dada su experiencia el campo de construcción de infraestructura eléctrica, permitiendo cumplir de forma adecuada las especificaciones técnicas y los tiempos requeridos para el proyecto. El proveedor de energía celebró un contrato de construcción con el operador, quien pagó un valor global por las adecuaciones requeridas.

5. IMPLEMENTACIÓN DEL ESCALAMIENTO



Figura 5.1: Vista aérea del lanzamiento del primer escalamiento del proyecto.
Fuente: Enel Chile S.A.

El primer escalamiento del proyecto fue realizado en diciembre de 2018, llegando a una flota total de 102 buses eléctricos. Estos buses entraron a operar de forma comercial con el objetivo de atender un conjunto de rutas que anteriormente utilizaban buses a combustión para su operación. Este escalamiento estuvo acompañado por el relanzamiento de la nueva marca del sistema, pasando de llamarse Transantiago a Sistema RED. Esta nueva marca basaba su concepto en el nuevo estándar del servicio presente en la nueva flota, la cual contaba con tecnología amigable con el medio ambiente y equipamiento de aire acondicionado, wifi y cargadores de celulares.

Posteriormente, a inicio de 2019 se incluyó un bus marca King Long a la flota de la empresa, y en octubre 2019 se integraron 183 unidades más de la marca BYD, completando la visión objetivo de un corredor de buses operado íntegramente con 286 buses con este tipo de tecnología. Finalmente, en junio de 2020, se realizó un escalamiento adicional de 150 buses eléctricos marca BYD, los cuales se integraron a la flota de la empresa para completar un total de 436 buses eléctricos y para atender servicios sobre el principal corredor de transporte de la ciudad.

Debido al éxito alcanzado por el proyecto, el modelo de negocio recibió reconocimiento mundial por hacer posible el inicio de la masificación de la electromovilidad en el transporte público de la región. El reconocimiento fue otorgado en julio de 2019, por la Unión Internacional de Transporte Público (UITP) en la categoría de Smart Funding. Durante esta misma ceremonia, el DTPM recibió el reconocimiento especial en Mejores Prácticas por efecto del lanzamiento de la marca RED.

Paralelo al traslado de los buses desde la fábrica en China hasta Santiago, se inició la adecuación de 40 paraderos ubicados sobre el corredor, a los cuales se les incluyó el estándar básico definido en el piloto de la zona paga complementado con la instalación de cargadores USB. Adicionalmente, se surtieron cuatro procesos complementarios relacionados con la transformación a electroterminales de dos terminales de la empresa que atendían buses diésel previamente, el diseño e implementación de un programa de capacitación de conductores y personal de control, el mejoramiento de los indicadores de regularidad de las rutas y el testeo de buses eléctricos de mayor tamaño. Estos cuatro procesos adicionales que han servido de piloto para las fases posteriores de la implementación de la electromovilidad en la empresa se presentan a continuación:

5.1 Piloto de terminales

La implementación de buses eléctricos exigió la adecuación de los terminales de buses existentes para permitir la operación de la nueva infraestructura de carga de los vehículos. Dentro de este contexto, durante la puesta en marcha de la flota del corredor Avda. Grecia fue necesaria la adecuación de los terminales de Los Espinos y el Descanso ubicados en los extremos oriental y occidental de la ciudad, respectivamente. Aunque para cada uno de los buses fue instalado un cargador, cada uno de estos terminales fue diseñado inicialmente con una potencia de carga capaz de ofrecer carga simultánea a la mitad de la flota en terminal, lo cual permitió pilotear la logística relacionada con infraestructura de carga limitada. Así mismo, se diseñaron sistemas de respaldo capaces de atender el 50% de la potencia instalada en caso de no contar con provisión eléctrica. En una primera etapa, este sistema se sostuvo en generadores diésel. Luego, en una segunda etapa, se consideraron baterías de respaldo para almacenar energía. Las pruebas reales en la operación permitieron determinar que la potencia instalada se ajustaba a las condiciones operacionales de la empresa, y que en algunos de los casos la oferta energética en cada uno de los terminales podría tener holguras si se realizaba una adecuada programación de carga de la flota. De esta manera, el piloto permitió definir los estándares de diseño aplicables a las demás infraestructuras de carga de la empresa.



Figura 5.2: Terminal Los Espinos
Fuente: Metbus S.A.

La **Figura 5.2** muestra el Terminal Los Espinos, el cual fue el primer terminal adecuado por el proveedor de energía, transformándolo de una infraestructura que operaba con buses diésel a una que atendería únicamente flota eléctrica. En 2020, este electroterminal destaca como el más grande de América Latina, contando con infraestructura de carga suficiente para atender a una flota de 135 buses eléctricos. Adicionalmente, cuenta con un sistema de paneles solares ubicados en los

cobertizos de los estacionamientos de los buses, los cuales proveen energía a las instalaciones administrativas y de despacho del terminal. Este terminal recibió el sello verde por parte de ENEL, el cual certifica que toda la energía que utiliza proviene de fuentes renovables. A continuación, se presentan el número de cargadores y la fecha de inauguración de cada uno de los electroterminales de Metbus, los cuales contemplaron el estándar definido en el piloto de infraestructura de carga:

Tabla 1.

Electroterminales operativos de la empresa Metbus S.A.

Fuente: Metbus S.A.

Id	Nombre del terminal	Comuna	Inauguración	Nº de cargadores
1	Las Palmas	Pudahuel	14/10/2019	45
2	Los Espinos	Peñalolén	15/12/2018	63
3	Los Acacios	Maipú	12/10/2019	37
4	El Descanso/Santa Ana	Maipú	15/11/2017	36
5	Los Pinos	Maipú	10/10/2019	10
6	Los Lingues	Pudahuel	27/06/2020	30
7	Los Abedules	Las Condes	27/06/2020	9

5.2 Piloto de capacitación

Dados los retos identificados en el proyecto, se determinó que uno de los elementos claves para lograr el éxito del proyecto era la adecuada transición de los procesos operacionales llevados a cabo al interior de la empresa. Dentro de este contexto, se diseñó un programa capacitación que tenía como objetivo introducir al personal de la empresa en el uso de la nueva tecnología y mejorar el nivel de servicio ofertado a los usuarios. El programa tenía dos directrices principales para su diseño, las cuales estaban asociadas a generar contenidos de alta calidad y a permitir la certificación del personal por parte de una institución educativa reconocida. Estos elementos permitían que no solo se redujera el riesgo de implementación, sino que adicionalmente se lograra un crecimiento profesional del personal al interior de la empresa.

El plan de capacitación fue construido e implementado de forma conjunta entre el personal de la empresa, la Universidad de Chile y el fabricante de flota BYD y la empresa Mutual de Seguridad como administradora de riegos de la empresa. Los contenidos incluyeron cursos prácticos y teóricos en electromovilidad, mantenimiento y atención al usuario. Este plan contempló un enfoque de equidad de género, permitiendo que el 23% del personal capacitado estuviera compuesto por mujeres conductoras, las cuales posteriormente pasaron a formar parte de la planta de personal enfocada en la operación de buses eléctricos. Este porcentaje contrastaba con el 4.8% de mujeres conductoras existentes en la operación regular del sistema de transporte público en aquel entonces (Ramos, 2019).



Figura 5.3: Conductoras capacitadas en el programa de electromovilidad
Fuente: Metbus S.A

El programa diseñado fue impartido a 300 personas y contempló una duración de 28 horas, distribuidas en 24 horas teóricas y 4 horas prácticas. Se estructuraron 7 módulos de 4 horas cada uno. Todas las clases se dividieron en dos partes correspondientes a una clase impartida por parte de los profesores y a talleres de trabajo grupal para discutir problemáticas relacionadas con la clase. Una vez terminado el proceso, el plan fue integrado a la malla curricular impartida por la empresa para el ingreso de conductores nuevos y para la actualización de los conductores existentes. Los módulos incluidos en el programa de formación fueron los siguientes:

Módulos teóricos

- Inicios y desarrollo de la tecnología de buses eléctricos.
- Principales componentes de un motor eléctrico y su funcionamiento.
- Conducción eficiente.
- Seguridad vial.
- Atención al usuario y calidad de servicio.

Módulos prácticos

- Clases de prácticas de conducción eficiente y defensiva.
- Revisión in-situ de los principales componentes de un bus eléctrico.
- Peligros inherentes a la nueva tecnología.

5.3 Piloto de regularidad

Finalmente, el operador diseñó un programa enfocado en el mejoramiento de la regularidad y la frecuencia del servicio. Estas dos variables se encontraban liderando el ranking de los elementos más valorados por los usuarios. Este programa pretendía disminuir el apelonamiento de los buses con el objetivo de disminuir los tiempos de espera y regular la ocupación de los buses. Para tal fin, se diseñó un piloto de regularidad para la ruta 519, dado que era una de las más valoradas por los usuarios de la empresa. El piloto incluyó capacitación adicional a conductores, despachadores y reguladores. En la fase de implementación se contó con un equipo de personas en campo cercano a las 40 personas repartidas en dos turnos para implementar, mantener y permear en los conductores la nueva filosofía operacional de nivel de servicio. Los resultados obtenidos permitieron aumentar de forma dramática el Indicador de Cumplimiento de Regularidad (ICR), indicador basado en el coeficiente de variación de la operación de los buses. Este efecto se pudo observar particularmente entre noviembre de 2018 y enero de 2019, donde el ICR tuvo un aumento de aproximadamente 10%, llegando a valores inéditos en el sistema cercanos a 95% en este indicador. Luego, una vez consolidado el piloto, se procedió a expandirlo progresivamente a nuevas rutas de la unidad de negocio.

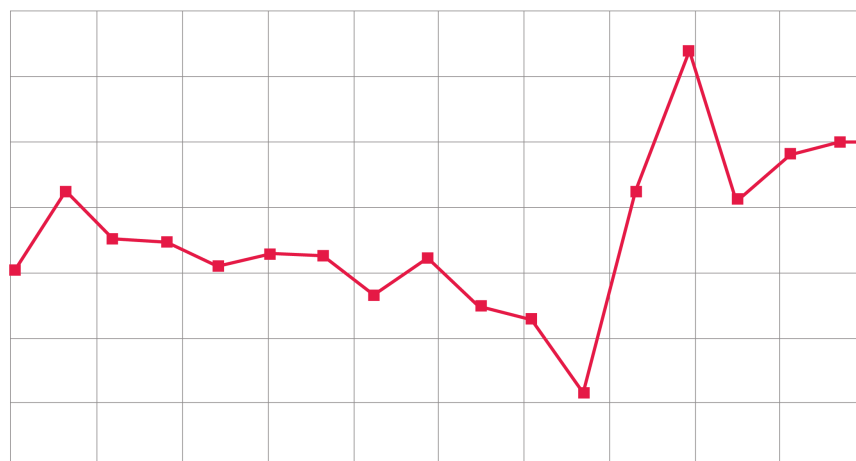


Figura 5.4: Resultados de piloto de regularidad en la ruta 519

Fuente: Elaboración propia basada en información de DTPM.

5.4 Piloto de regularidad

Dado que una gran parte de la flota de Metbus estaba compuesta por buses articulados diésel, se estructuró un piloto de un bus de este tipo propulsado por energía eléctrica. El piloto inició en mayo de 2019, y contempló la puesta en funcionamiento durante dos meses de un bus de 18,5 metros de longitud, el cuál había estado operando en la ciudad de San Francisco, Estados Unidos. La ruta seleccionada fue la misma en la cual se había realizado el primer piloto de buses eléctricos de la de la empresa.

El bus era de la marca BYD y tenía capacidad para transportar 104 pasajeros (47 sentados y 57 de pie). Cumpliendo con el nuevo estándar de la flota, el bus contó con asientos acolchados, diseño interno espacioso y cómodo, aire acondicionado, conexión wifi gratuita y puertos USB de carga

eléctrica. La tecnología de la batería de Litio-ferrofosfato (LFP) contaba con una autonomía por carga completa de 320 kilómetros. La **Figura 5.5** muestra las características generales del vehículo

Los resultados obtenidos permitieron determinar la factibilidad de operación del vehículo en condiciones reales y exigentes. Se concluyó que los rendimientos obtenidos y el precio lo hacían una inversión inviable para ese momento. Este vehículo utilizado en piloto ya llevaba unos años operando en California y era de los primeros vehículos de este tipo probados en el continente. No obstante, los vehículos de este tipo disponibles en el mercado en años posteriores se volvieron más eficientes y más competitivos, lo que presentó una oportunidad para considerar una posible implementación de estos en algunos recorridos presentes en Santiago.

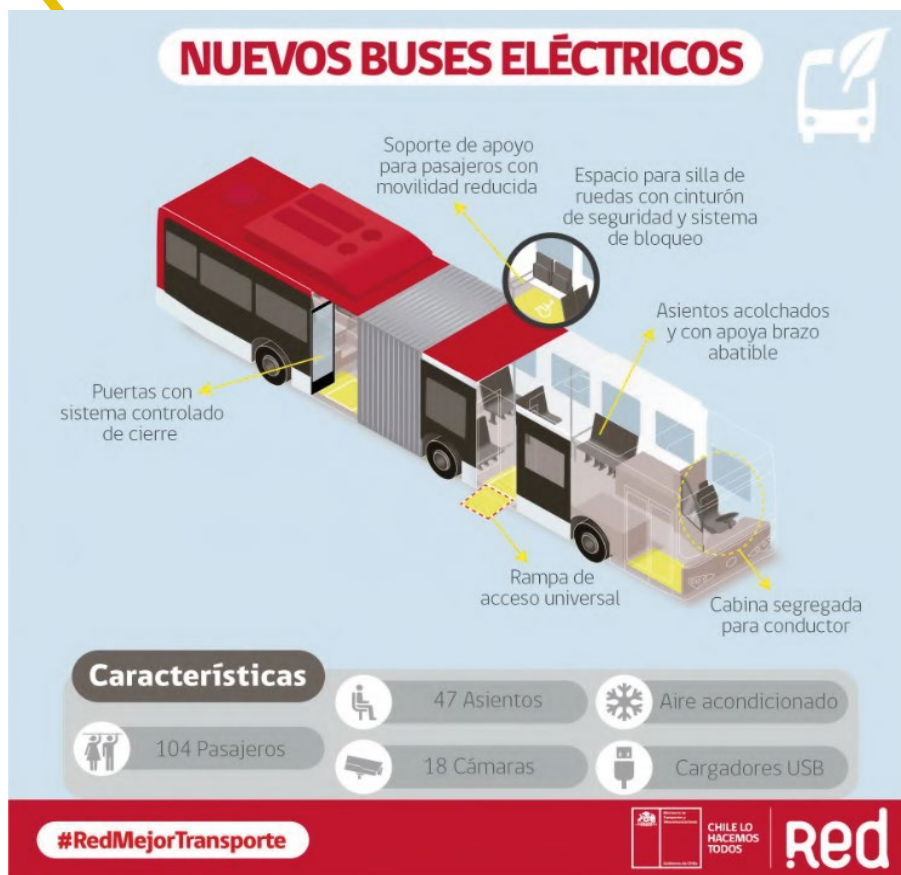


Figura 5.5: Características externas del bus eléctrico articulado

Fuente: www.mtt.gob.cl

6. POLÍTICA PÚBLICA



Figura 6.1: Terminal construido por el proveedor de energía ENGIE

Fuente: www.red.cl

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos con la operación de los buses eléctricos, otros operadores del sistema de transporte público empezaron a incorporar la electromovilidad a sus rutas. De esta manera, operadores como Vule, STP y RedBus, proveedores de energía como ENGIE y

fabricantes de flota como Yutong y King Long, se sumaron al proyecto e implementaron alrededor de 200 buses eléctricos adicionales, utilizando el mismo modelo de negocio diseñado para el proyecto Avda. Grecia.

En cuanto al operador Metbus, luego de incluir el bus de prueba King Long y los 150 buses BYD adicionales para la operación sobre el corredor principal de la ciudad de Santiago a partir de junio de 2020, se mantuvo como el principal operador de buses eléctricos en la ciudad. De hecho, con

esta última incorporación de flota, el operador llegó a una flota total de 436 buses eléctricos atendidos por 7 electroterminales, convirtiéndose de esta forma en uno de los operadores de flota eléctrica más grandes fuera de China.

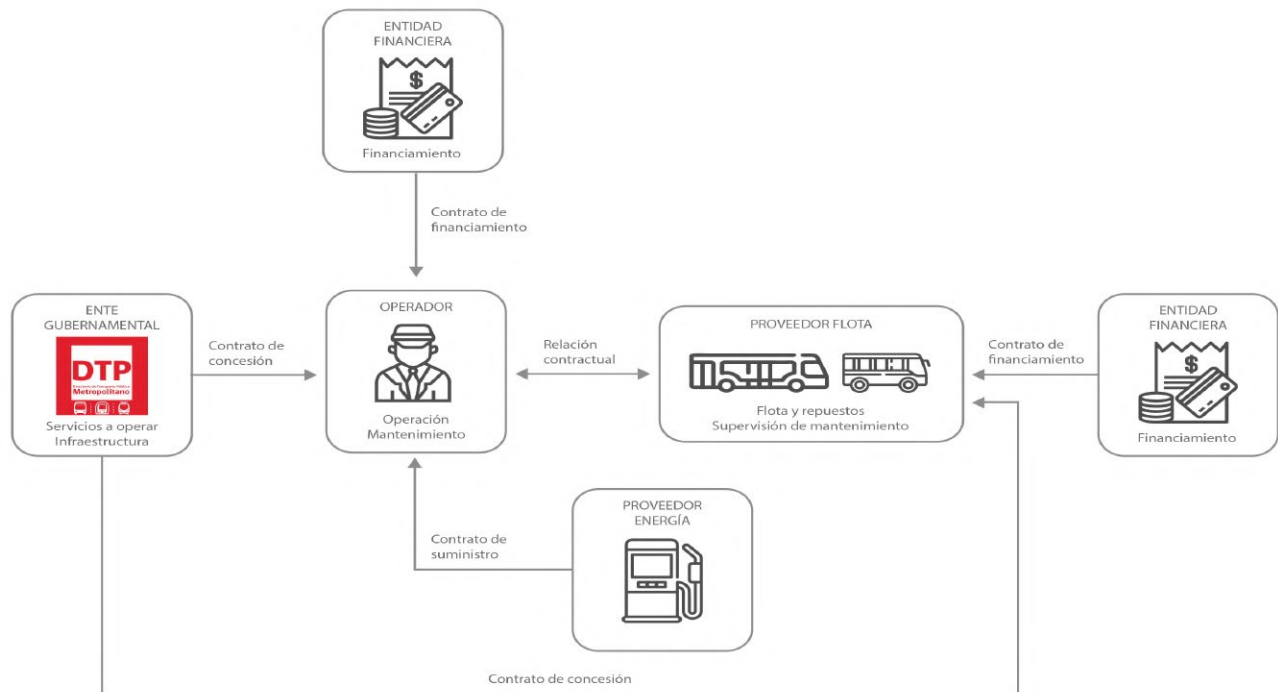


Figura 6.2: Modelo de Negocio estructurado para las próximas licitaciones del sistema RED
Fuente: www.red.cl

Por otra parte, el DTPM, basándose en las lecciones aprendidas con el modelo de negocio estructurado para la implementación de los buses eléctricos, diseñó un nuevo modelo de negocios para ser utilizado en las futuras licitaciones del sistema. Este modelo contemplaba la incorporación de un nuevo concesionario encargado de proveer la flota al sistema, la cual sería utilizada por los concesionarios de operación de transporte. Pese al éxito de la experiencia con el proveedor de energía como suministrador de flota, esta no es un área de negocios contemplada normalmente en este tipo de empresas y se estableció una apertura a nuevos actores que permitiría la llegada

de ofertas más especializadas en este rol. Este nuevo concesionario recibiría una remuneración mensual por cada bus que pusiera a disposición del sistema. Sus obligaciones se encontrarían acotadas a un número determinado de buses a proveer y a la realización de la supervisión del proceso de mantenimiento de la flota, el cual debía ser ejecutado por el concesionario de operación de transporte. Además, el proceso de selección de los proveedores de flota contemplaría la inclusión de tecnologías de buses de bajas emisiones en el sistema de transporte público RED (eléctrico, gas, diésel EURO VI).

Por otra parte, este nuevo modelo de negocio permitiría la participación de más oferentes en las licitaciones, al bajar las barreras de entrada asociadas a la capacidad tanto de suministrar como de operar la flota de transporte para grandes zonas de la ciudad, algo solamente posible para empresas de gran tamaño en el modelo de negocio anterior. Además, frente a posibles modificaciones en los contratos con los distintos actores, esta nueva estructura permitiría mayor flexibilidad. Por

ejemplo, en caso de cambiar un suministrador de flota o un operador de flota de bajo desempeño por un actor nuevo más adelante en los años de validez de la licitación.

Este modelo de negocio finalmente fue oficializado en la licitación oficializada a mediados de 2020, la que contempló la adjudicación de una flota máxima de 2.030 buses a ser incorporados a finales de 2020.

7. LECCIONES APRENDIDAS

El proceso de implementación de la electromovilidad en el sistema de transporte público de Santiago inició operaciones en el año 2018, luego de un proceso de planificación y pruebas que tomó más de dos años. Luego, en función de los resultados observados a lo largo de este proceso, es posible

definir una serie de reflexiones en torno a la planificación de transporte, implementación de tecnología e interacción de actores, las cuales se pueden resumir en las siguientes lecciones aprendidas:

Identificación de problemas y definición de estrategias de solución:

Los pilotos implementados durante este proceso permitieron analizar el impacto de cambios tecnológicos a costos razonables y romper paradigmas operacionales adoptados por las entidades públicas y privadas. Así mismo, estos pilotos se convirtieron en un laboratorio social para entender las reacciones y preferencias de los usuarios, permitiendo encausar los esfuerzos operacionales y económicos hacia los elementos más valorados por ellos. Estos resultados fueron posibles gracias a la identificación de las necesidades del sistema y al diseño adecuado de las estrategias para suplirlas. A continuación, se muestra a manera de resumen las principales características de los pilotos implementados, con el objetivo de dimensionar los elementos para tener en cuenta en procesos similares:

Replicabilidad:

Gracias al diseño del modelo de negocio, durante los años 2018 y 2019 diversos concesionarios iniciaron sus propios pilotos de electromovilidad, implementado alianzas con otras empresas de energía y explorando diversas marcas de buses eléctricos bajo sus condiciones particulares de operación. De esta manera, se observa que la replicabilidad de este tipo de estrategias es posible en otros entornos, como los sistemas de transporte presentes en las demás regiones de Chile. Sin embargo, es necesario analizar las barreras específicas que pueden presentar los actores y la necesidad de realizar inicialmente una transformación empresarial y tecnológica que permita la adopción de tecnologías como la electromovilidad. Es necesario identificar para cada uno de los ecosistemas las barreras y diseñar mecanismos de regulación y mitigación que hagan posible atraer interesados en el proyecto.

Tabla 2.

Características de pilotos implementados en proyecto de electromovilidad.

Fuente: Elaboración propia.

Piloto	Tipo	Año	Duración	Necesidades para solucionar	Estrategias de solución	Un.	Actores	Principales resultados
Mejora condiciones interiores de los buses diésel	Buses	2016	Permanente	Mejorar las condiciones de seguridad y confort a conductores y usuarios.	Implementación de AC en cabina de conductor, asientos acolchados y antideslizantes, sistema de cámaras de seguridad	38	Metbus DTPM	Implementación de los elementos implementados a toda la nueva flota que se adquiriera.
Conversión sistema de propulsión	Buses	2016	2 años	Reducción de costos en el CAPEX para facilitar la implementación de la electromovilidad en el transporte público.	Cambio del sistema de propulsión de motor de combustión Diesel a eléctrico cero emisiones. Overhaul completo de carrocería.	1	Metbus ENEL Reborn Electric	Bus operativo y avalado por el 3CV del MTT.
Bus de dos pisos	Buses	2017	5 semanas	Mejorar las condiciones de seguridad y confort a conductores y usuarios.	Aire acondicionado. Wifi gratuito. Mayor cantidad de asientos.	1	Metbus Alexander Dennis	Calificación de los usuarios de 6,7/7 permitiendo observar su sensibilidad a la mejora del nivel de servicio.
Bus con estándar europeo	Buses	2017	2 meses	Mejorar las condiciones de diseño interior mediante la evaluación de un bus en operación.	Tecnología de emisiones Euro VI. Aire acondicionado estándares europeos de diseño interior.	1	Metbus Mercedes Benz	Determinación de los parámetros relevantes para ser incluidos en el diseño del nuevo material rodante a incluir en la empresa.
Buses eléctricos y modelo de negocio inicial	Buses	2017	1 año	Evaluar el desempeño de buses que utilizan sistemas de propulsión eléctrico. Evaluar nuevos modelos de negocio para la masificación de buses eléctricos.	Tren motor eléctrico. Aire acondicionado. Wifi gratuito. Modelo de negocio incluyendo sinergia entre actores.	2	Metbus ENEL BYD	Desempeño satisfactorio del tren motor eléctrico ante condiciones exigentes de topografía y demanda. Reducción alrededor de un 70% de los costos observados en los buses Diesel asociados al mantenimiento y al consumo de combustible.
Terminales	Infraestructura	2018	Permanente	Reducir costos asociados a la potencia instalada.	Optimizar la logística operacional relacionada con el plan de carga.	2	Metbus	Definición de potencia de carga máxima del 50% como estándar de diseño de toda la infraestructura de carga.

Piloto	Tipo	Año	Duración	Necesidades para solucionar	Estrategias de solución	Un.	Actores	Principales resultados
Zona paga	Infraestructura	2018	Permanente	Atacar la evasión. Reducir a incertidumbre en los tiempos de espera. Aumentar velocidad comercial. Cumplimiento de detención de buses.	Cerramiento permanente. Torniquetes. Validadores antivandálicos y con tecnología 4G. Cámaras de seguridad. Sistema de información del servicio en tiempo real. Sistema de control de detención. Iluminación LED. Personal de control.	1	Metbus CORFO SONDA ENEL	Reducción de la evasión a niveles menores al 5%. Reducción de los costos asociados a la estructura de cerramiento cercanos al 80%. Cumplimiento cercano al 100% de las detenciones solicitadas por el usuario.
Capacitación	Personal	2019	Permanente	Reducir el riesgo de implementación de la tecnología asociada al desempeño en ruta.	Diseñar un plan de capacitación integral incluyendo temas asociados a la electromovilidad y a la calidad de servicio.	300	Metbus Universidad de Chile	Personal capacitado para operar buses eléctricos con alto estándar de prestación del servicio.
Plan Regularidad	Personal y control operacional	2019	Permanente	Bajo nivel de servicio asociado a altos tiempos de espera de los usuarios y alta ocupación en los buses	Plan de capacitación complementario, ajustes operacionales y plan de regulación en terreno.	1	Metbus	Índice de regularidad entorno al 95%.
Bus articulado eléctrico	Buses	2019	2 meses	Incertidumbre asociada a la operación de buses eléctricos de gran tamaño en rutas con alto nivel de exigencia.	Puesta en operación de un bus eléctrico articulado en la ruta más exigente de la empresa.	1	Metbus BYD	Desempeño satisfactorio en altas pendientes y ocupación de pasajeros.

Objetivo integral:

Es necesario concebir proyectos que no solo incluyan la implementación de nueva tecnología que permita cambiar flotas de buses diésel a buses eléctricos, sino que adicionalmente es necesaria la construcción de un objetivo estructurante enfocado en los problemas particulares de cada sistema de transporte público. Para el caso de Santiago, la metodología utilizada tomó como punto de partida la encuesta de percepción ciudadana del sistema de transporte y basándose en ella se definieron metas claras y alcanzables en el corto y mediano plazo, las cuales estuvieron acompañadas de resultados cuantificables permitiendo establecer un enfoque claro de proyecto y alinear los procesos y actores involucrados.

Al final del proceso, el proyecto logró evaluar su éxito a través de la valoración que le dieron los usuarios al nuevo estándar de servicio, alcanzando la calificación de 6.3/7.0. Gracias a estos resultados fue posible que el proyecto se convirtiera en la base para la estructuración de la nueva política pública de transporte y en la herramienta clave para el relanzamiento de marca del sistema, pasando de llamarse Transantiago a Sistema RED.

Apoyo institucional:

El apoyo de las autoridades es clave para el desarrollo de este tipo de procesos. Aún sin obtener recursos públicos para la realización de pilotos e implementaciones a mediana escala, es necesario tramitar permisos, definir nuevos estándares y revisar mecanismos contractuales que solo serían posibles en el corto plazo mediante el apoyo institucional. La empresa operadora Metbus logró materializar su proyecto gracias a la fluida interacción entre el concesionario y el DTPM, demostrando el potencial que el trabajo conjunto entre entes públicos y privados tiene para la adopción de nuevas tecnologías. Cada uno de los proyectos propuestos por el concesionario fueron avalados y monitoreados por el DTPM, permitiendo la generación de conocimiento conjunto y facilitando la posterior estructuración de la política pública de electromovilidad.

Sinergias:

Durante estos procesos se consolidaron sinergias entre actores de la industria que fueron claves para el éxito del proyecto. Estas sinergias fueron posibles gracias a intereses comunes y a altos niveles de especialización por parte de los actores. Dentro de este contexto, la sinergia permitió que con la implementación del proyecto cada actor siguiera trabajando dentro de su core business pero generando un valor agregado a sus partners. La empresa de transporte estuvo dispuesta a perder la propiedad de la flota y ceder el mantenimiento al fabricante, el cual estuvo dispuesto a asumir esta responsabilidad. Así mismo, el proveedor de energía aportó el valor agregado de no sólo vender energía a un precio competitivo, sino adicionalmente estuvo dispuesto a convertirse en la entidad financiera del proyecto y asumir la responsabilidad de construir la infraestructura de carga.

Nuevos modelos de negocio:

El diseño e implementación del nuevo modelo de negocio permitió, bajo un esquema de sostenibilidad financiera, hacer realidad la masificación de la tecnología probada en los pilotos. Este esquema incluyó como premisa no solicitar al DTPM subsidios adicionales por efecto de la inclusión de la flota eléctrica. Así mismo, permitió el inicio de un nuevo esquema de concesiones, el cual incluye en los procesos licitatorios la selección de los proveedores de flota como parte de los concesionarios del sistema. De otra parte, gatilló la entrada de nuevas empresas al negocio de la electromovilidad, asociadas al sector de los combustibles, al reciclaje de baterías, a la minería y a la tecnología de monitoreo y control.

Aspectos ambientales:

La reducción de emisiones atmosféricas y sonoras no formaba parte de los elementos relevantes para los usuarios en el sistema antes de la implementación del proyecto. Para ellos, el foco de atención estaba puesto en las mejoras del material rodante, la infraestructura, la regularidad del servicio y la reducción de la evasión. Sin embargo, con el inicio de operación de la operación de la nueva flota, la percepción de los usuarios cambió de forma significativa, valorando con mayor calificación a buses eléctricos que a buses diésel con características internas y externas similares.

BIBLIOGRAFÍA

Bowen, C., 2017. La implementación del Transantiago en Chile y su impacto en el mercado laboral del sector transporte. Comisión Económica para América Latina (CEPAL).

Buneder, C., 2016. Análisis temporal y espacial de la evasión de Transantiago.

Consejo políticas de Infraestructura de Chile (CPI), 2019. El silencioso beneficio de los buses eléctricos. <http://www.infraestructurapublica.cl/silencioso-beneficio-los-buses-electricos/>

Laboratorio de Innovación Pública (LIP) UC, 2017. Estudio exploratorio sobre las causas y posibles soluciones de la evasión en Transantiago.

Martínez, H., 2018. El desafío del sector transporte en el contexto del cumplimiento de las contribuciones determinadas a nivel nacional de América Latina. Comisión Económica para América Latina (CEPAL).

MTT, 2016a. Informe de gestión 2015 -2016. Directorio de Transporte Metropolitano.

MTT, 2016b. Informe de satisfacción de las empresas operadoras. Directorio de Transporte Metropolitano.

MTT, 2016c. Índice de evasión de Transantiago cuarto trimestre de 2016. Programa Nacional de Fiscalización.

Ramos, C., 2019. Banco interamericano de desarrollo. <https://blogs.iadb.org/transporte/es/mujeres-conductoras-cambiandole-la-cara-a-transantiago/>

SECTRA, 2015. Encuesta Origen-Destino de Santiago.



LA ELECTRO MOVILIDAD

como estrategia para una
nueva política de
transporte público:

Año 2021

**EL CASO DE
SANTIAGO
DE CHILE**