

ELECTROMOVILIDAD EN EL TRANSPORTE PÚBLICO: LA EXPERIENCIA DE SANTIAGO DE CHILE

Fernando Saka ^{1*}, Sebastián Tamblay ¹, Antonio Gschwender ¹

¹ Directorio de Transporte Público Metropolitano, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, Chile

*Autor para
correspondencia:

fernando.saka@dtpm.gob.cl

RESUMEN

En los últimos años de la década 2010-2020 Santiago incorporó masivamente buses eléctricos y buses Euro VI, todos ellos con un nuevo estándar de diseño: aire acondicionado, asientos más cómodos, cargadores USB y WiFi, entre otros atributos de calidad para los usuarios. Este artículo presenta este avance y discute las lecciones aprendidas, entre las que destacan la importancia de las fases de pilotaje, de generar alianzas público-privadas adecuadas y modelos de negocio apropiados. La incorporación de estos nuevos buses no solamente ha tenido un impacto positivo para la comunidad, en general gracias a las menores emisiones de contaminantes y ruido, sino que también ha sido bien evaluado por los usuarios, quienes han valorado los servicios con nuevo estándar de bus con una nota aproximadamente un punto mayor que cuando tenían buses del estándar anterior. Próximamente se asentará este cambio, formalizándose en los procesos de licitación de suministro y operación de buses de Santiago. Se espera también avanzar en otras ciudades de Chile con este nuevo estándar. Por último, se abren interesantes preguntas para el futuro, tanto en relación con otras tecnologías limpias como a la profundización de la comprensión y análisis de las nuevas tecnologías implementadas.

Palabras clave transporte público, buses, electromovilidad, Santiago de Chile, Transantiago, Red Metropolitana de Movilidad.

ABSTRACT

In the last years of the decade 2010-2020 Santiago massively incorporated electric buses and Euro VI buses, all of them with a new design standard: air conditioning, more comfortable seats, USB chargers and WiFi, among other quality attributes for users. This article presents this advance and discusses the lessons learned, emphasizing the importance of the piloting phases, of generating adequate public-private partnerships and appropriate business models. The incorporation of these new buses not only had a positive impact for the community in general, thanks to lower emissions of pollutants and noise, but has also been well evaluated by users, who have rated the services with the new bus standard approximately one point higher than when they had buses of the previous standard. This change will soon be established and formalized in the bidding processes for the provision and operation of buses in Santiago. It is also expected that other cities in Chile will move forward with this new standard. Finally, interesting questions are opened for the future, both in relation to other clean technologies and to the deepening of the understanding and analysis of the new technologies implemented.

Keywords public transport, buses, electromobility, Santiago de Chile, Transantiago, Red Metropolitana de Movilidad.

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace varias décadas atrás Santiago ha presentado graves problemas de contaminación ambiental, siendo el sector transporte causante de una parte relevante de las emisiones locales, y también de gases de efecto invernadero. Dada la relevancia de este tema, Chile ha suscrito varios compromisos medioambientales internacionales, como se detalla más adelante.

Por otra parte, el sistema de buses de Santiago ha mostrado sistemáticamente, desde que se realizan mediciones de percepción de los usuarios, indicadores mediocres de calidad percibida. La nota que los usuarios ponen al recorrido que utilizan habitualmente ha variado entre 4,7 y 4,9 (en escala de 1 a 7, donde 7 es la nota máxima) entre el año 2013 y el año 2018 (DTPM, 2019b). Cabe indicar que la nota que ponen al sistema en general es aún más baja, variando en estos mismos años entre 4,3 y 4,5, lo que denota adicionalmente una mala imagen del sistema. De acuerdo con estudios de percepción de calidad realizados por la autoridad (DTPM, 2019b), los buses son uno de los aspectos centrales para mejorar la experiencia de viaje de los usuarios, al representar un 13% de la satisfacción global en los recorridos. Cabe indicar que esta variable está en tercer lugar luego de la espera (34,6%) y el funcionamiento del sistema (19,7%).

Tecnológicamente, el sistema de buses de Santiago ha estado continuamente avanzando en la dirección de reducir los niveles de emisiones de su flota. El año 2008, el 100% de los buses solamente cumplía la norma Euro III o normas anteriores (DTPM, 2014); en cambio, al año 2012 ya el 50% de la flota cumplía normas más exigentes y el año 2018 este porcentaje superaba el 60% (DTPM, 2019a). El año 2019 se dio un salto relevante, con la incorporación masiva de buses eléctricos alimentados exclusivamente por baterías y buses diésel Euro VI (la más exigente de estas normativas en ese momento), los cuales alcanzaron ese año casi el 14% de la flota de buses del sistema, relegando a la tecnología Euro III a menos del 30% de la flota. Además de las ventajas en cuanto a menores emisiones de contaminantes ambientales y ruido, estos nuevos buses eléctricos y Euro VI incorporaron un nuevo estándar de calidad para usuarias y usuarios, conocido como “Red Metropolitana de Movilidad”, que incorporó la accesibilidad universal por medio de accesos de piso bajo y rampas para personas con movilidad reducida, nuevos aspectos de comodidad como el aire acondicionado, asientos más cómodos, mejoras en la distribución de los espacios interiores, mayor conexión gracias a la implementación de WiFi, puertos USB: y mayor seguridad mediante la implementación de cámaras de seguridad y cabinas segregadas para conductoras y conductores (DTPM, 2019a).

El objetivo de este artículo es mostrar cómo fue posible, en un plazo de dos años, la incorporación de la mayor flota de buses eléctricos con que cuenta (al momento de escribirse el artículo) alguna ciudad fuera de China, y esto junto con la incorporación masiva de buses con un nuevo estándar de calidad.

En los primeros recorridos en que se incorporaron buses eléctricos y Euro VI con este nuevo estándar, la calidad de servicio percibida por los usuarios tuvo una importante mejora, aumentando la nota de estos recorridos en aproximadamente un punto. Con esto, se llegó a una nota cercana al 6,1, explicada tanto por el mejor estándar de los buses como, en algunos casos, por una mejor operación al cambiar la empresa operadora de estos recorridos (DTPM, 2019b).

La sección 2 presenta el contexto en el cual se desarrolló esta implementación. Luego, la sección 3 explica cuáles fueron las condiciones bajo las cuales fue posible este desarrollo y cómo fue necesario modificar el modelo de negocios, haciendo hincapié en los aspectos novedosos que fue necesario resolver para la introducción de la flota de buses eléctricos. En la sección 4 se muestra cómo se espera consolidar este nuevo modelo de negocios a través de los procesos de licitación de suministro y operación de buses que se desarrollaban al momento de la escritura de este artículo. La sección 5 cierra el artículo con las principales conclusiones y desafíos futuros.

2. CONTEXTO

Desde el año 2007, Santiago cuenta con un sistema de transporte público intermodal e integrado en lo financiero, operacional y tarifario. Este sistema estaba conformado a fines del año 2019 por alrededor de 7.000 buses que circulaban en 382 servicios cubriendo una red vial de casi 3.000 km con más de 11.000 paraderos; 235 trenes de Metro operando en 7 líneas en una red de 140 km con 136 estaciones, y un servicio de tren de cercanía (Metrotren) entre Estación Central y Nos con 16 trenes operando una línea de 20 km con 10 estaciones (DTPM, 2019a). La integración tarifaria se da a través de un único medio de pago electrónico llamado “Tarjeta bip!”, que permite a los usuarios acceder a una tarifa integrada y combinar los distintos modos. Este sistema es articulado por el Directorio de Transporte Público Metropolitano, programa del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (DTPM, 2019a).

Durante el año 2019, los usuarios registraron 1.037 millones de viajes en el sistema multimodal, realizando 1.515 millones de validaciones con la “Tarjeta bip!”. En un día laboral promedio se registraron 5,13 millones de transacciones, de las cuales 2,65 millones se hacían en buses, 2,41 millones en Metro y las restantes 70 mil en Metrotren (DTPM, 2019a).

A fines del año 2019, el sistema de buses era operado por 6 empresas. El término de la vida útil de una parte relevante de la flota de buses, unido al vencimiento de los plazos de contrato de algunas de las empresas operadoras, generó una importante oportunidad de renovación gradual para el sistema. En efecto, la vida útil de los buses diésel (no existían buses de otras tecnologías cercanos al fin de su vida útil en esos momentos) en los contratos vigentes terminaba al alcanzarse 1.000.000 de kilómetros recorridos o, para vehículos inscritos de manera posterior al año 2012, al cumplirse 12 años desde su fabricación. Por su parte, distintas empresas operadoras tenían plazos distintos de duración de sus contratos, por lo que los siguientes procesos licitatorios también fueron definidos de manera escalonada y gradual.

En este contexto, durante el año 2017 comenzaron las primeras pruebas piloto con buses diésel Euro VI, un bus de dos pisos con aire acondicionado y cargadores USB y dos buses eléctricos de diferentes fabricantes (DTPM, 2017), a lo que se sumaron posteriormente otros pilotos como por ejemplo un bus eléctrico articulado y un bus con ambos ejes direccionales.

Por otra parte, los nuevos buses que se fueron incorporando al sistema durante los últimos años lo hicieron bajo figuras administrativas-contractuales que aseguraban la continuidad de estos vehículos, aun cuando las empresas que los operaban dejaran de ser parte del sistema. Este esquema es fundamental para permitir la incorporación de nueva flota con mejores estándares, ya que el sistema asegura la utilización de estos vehículos y el financiamiento durante toda su vida útil. Como

veremos más adelante, este esquema se asentará en la nueva figura del “Suministrador de Buses” en los procesos de licitación que, a fines del año 2020, se encontraban en curso (DTPM, 2018).

3. IMPLEMENTACIÓN DEL NUEVO ESTÁNDAR Y ELECTROMOVILIDAD

De esta manera, la necesidad de renovación de flota fue aprovechada como una oportunidad de mejorar el estándar de los buses y, con ello, el nivel de servicio ofrecido a los usuarios. Adicionalmente, nuestro país ha tomado el compromiso de enfrentar la crisis climática y de reducir las emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero, destacándose el compromiso de reducir las emisiones de CO₂ por PIB en 30% tomado en el Acuerdo de París entre los años 2007 y 2030 (o hasta de 45% en caso de cumplirse ciertas condiciones de apoyo financiero internacional), junto con el compromiso de alcanzar la carbono-neutralidad para el año 2050.

En esta línea, la Estrategia Nacional de Electromovilidad, desarrollada conjuntamente por el Ministerio de Energía, el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones y el Ministerio de Medio Ambiente, plantea la meta de que el 100% de los vehículos de transporte público sean eléctricos al año 2040, enfatizando que, debido al uso naturalmente intensivo de estos vehículos, es en este sector donde mejor se puede desarrollar la electromovilidad en la medida que “el costo de operación domina al costo de capital” (Ministerio de Energía, 2021a).

El nuevo estándar de calidad fue llamado “Estándar Red”, pues se asoció además al cambio de marca del sistema de transporte público, donde se ha ido abandonando gradualmente el nombre Transantiago y se resaltó la figura de sistema integrado con Metro y Metrotren en la nueva marca “Red Metropolitana de Movilidad”. Además de buses con mejores terminaciones y características técnicas, se definió los siguientes atributos del nuevo estándar:

- Comodidad
- Aire acondicionado
- Asientos acolchados
- Innovación y Modernidad
- WiFi
- Cargadores USB
- Tecnología que reduce la emisión de ruidos y gases contaminantes
- Accesibilidad Universal
- Entrada baja para una mejor accesibilidad
- Rampas de acceso para personas con movilidad reducida
- Mejores elementos de sujeción
- Mayor Seguridad
- Cabina segregada para el conductor
- Cámaras de seguridad

Estos nuevos atributos evidentemente implicaron un aumento de costo del material rodante. Para el año 2019, un bus rígido estándar Transantiago Euro III tenía un costo de alrededor de \$180.000 USD, mientras que un bus similar estándar Red Euro VI bordeaba los \$190.000 USD y un Red eléctrico alimentado exclusivamente por baterías que se cargan en terminal, \$290.000 USD (valores sin IVA). Sin embargo, fue posible abordarlos considerando que el proceso se coordinó con el término de contrato de operadores del sistema con altos costos unitarios, por lo que fue

posible negociar el traspaso de servicios a otros operadores con menores costos unitarios y generar ahorros para financiar esta mejora de estándar.

Por su parte, la positiva experiencia de planes piloto mencionados en la sección anterior generó la confianza para impulsar un cambio tecnológico mayor en la flota del sistema, la que a noviembre de 2020 ya contaba con más de un 30% de ella con el nuevo estándar (Tabla 1).

Tabla 1 Total buses del sistema por categoría al 26 de noviembre de 2020 (Elaboración interna DTPM)

Estándar		Nº Buses
Estándar Red	Eléctrico	783
	Diésel	1.431
Estándar Transantiago		4.759
Total Buses		6.973

Como es de esperar, la innovación y desafío principal se concentró en el cambio a propulsión eléctrica, por lo que las próximas subsecciones detallan los principales aspectos que ha sido necesario abordar. La subsección 3.1 profundiza en los distintos modelos de negocio y actores coordinados para adquirir y operar la nueva flota eléctrica; la subsección 3.2 explica el proceso de implementación de terminales eléctricos y red de carga; por último, la subsección 3.3 presenta algunos de los principales desafíos normativos y de estandarización necesarios para consolidar el correcto escalamiento de la electromovilidad. Para una revisión más detallada del proceso de implementación de buses eléctricos en Santiago, se recomienda consultar el extenso informe elaborado por Steer junto al Banco Mundial (World Bank, 2020).

3.1 Modelo de negocios

Como fue adelantado, parte importante del éxito de la estrategia de incorporación de la nueva flota se basó en la creación de una estructura de provisión de flota eficiente y de bajo riesgo. Un requisito básico para impulsar un cambio estratégico de esta magnitud fue el contar con un sistema de transporte público formalizado, con operadores regulados y con una autoridad activa y capaz de materializar esta transformación. Sobre esta base, una de las principales definiciones clave fue considerar la nueva flota adquirida como “bienes afectos a la concesión”, es decir, que no pueden ser retirados del sistema sin la aprobación de la autoridad competente. Por otra parte, en los cambios de contrato introducidos durante el año 2012 se flexibilizó la exigencia de que las empresas fueran dueñas de los vehículos del modelo original de Transantiago, permitiéndose disponer de un título válido para utilizar los vehículos.

Lo anterior viabilizó los contratos de *leasing* para la adquisición de la flota, en que un privado se encarga de la provisión de ésta (proveedor de flota) y el operador vigente tiene derecho a su uso y explotación mientras su contrato de operación esté vigente. Una vez terminado su contrato de operación, el Ministerio se obliga a ceder el uso de esos buses al operador siguiente junto con el contrato de *leasing*, asegurando así su continuidad en el Sistema.

Adicionalmente, en esta figura las cuotas de provisión de flota asociadas a los contratos de *leasing* son pagadas directamente al proveedor del bus y financista, sin pasar por mecanismos intermedios

asociados a pagos con variabilidad e incertidumbre (por ejemplo, de pago según demanda o pasajeros transportados). Lo anterior reduce el costo de financiamiento para el Estado al eliminarse riesgos ficticios en un valor que es en realidad fijo y conocido (el precio del bus). Este modelo financiero y contractual para la adquisición de flota se denominó “contrato de provisión” y está contenido dentro de los contratos de operación de las empresas.

Los puntos anteriores permitieron reducir el riesgo enfrentado por el proveedor de flota y por lo tanto reducir el costo de capital, con lo que el financista puede ofrecer mejores tasas al tener asegurado el pago de sus cuotas por el Estado y no directamente por una empresa operadora. Cabe destacar que esta estructura general de negocio es válida tanto para los buses nuevo estándar Euro VI como los eléctricos, lo que permitió un bajo riesgo y la continuidad de ambos componentes de la nueva flota estándar Red.

Por otro lado, la operación de buses eléctricos tiene la ventaja de generar un menor costo variable de operación que su comparable diésel. Específicamente, los operadores reportan reducciones significativas de costos operacionales por menor costo de energía y mantenimiento (Tabla 2), lo que permite que los mayores costos de capital del material rodante se compensen entre 10 a 14 años, en base a una operación de 6.000 kilómetros por mes (poco más de 200 kilómetros recorridos en un día laboral normal, valor consistente con la programación promedio).

Cabe indicar que como parte de la implementación de estas tecnologías la autoridad no intervino los precios de la energía eléctrica ni del combustible diésel (por ejemplo, modificando impuestos o subsidios). En particular, el precio del diésel considera el impuesto específico que mantiene este combustible en Chile desde 1985, de 1,5 Unidad Tributaria Mensual (UTM) por m³, equivalente a aproximadamente US\$ 0,10 por litro.

Tabla 2 Comparación de costos de operación y mantenimiento entre buses diésel y eléctricos, estándar Red. Año 2019 (World Bank, 2020)

Item	Diésel 12 metros	Eléctrico 12 metros
Rendimiento promedio	2 km/litro	0,9 - 1,0 km/kWh
Costo energía	\$0,42 USD/km	\$0,10 USD/km
Costo mantenimiento	\$0,27 USD/km	\$0,08 USD/km
Costo total	\$0,69 USD/km	\$0,18 USD/km

Esta comparación podría seguir mejorando en el tiempo, en caso de que se cumplan las proyecciones de reducción de costos de la tecnología eléctrica. Sin embargo, es importante destacar que los números anteriores asumen un reemplazo 1 a 1 de cada bus; es decir, que cada bus diésel es equivalente a un eléctrico.

De esta manera, la estructura de contrato de provisión concretó la alianza público-privada entre las actuales empresas concesionarias encargadas de la operación de buses, las empresas fabricantes de buses y las empresas eléctricas. A la fecha de escritura de este artículo, noviembre de 2020, todos los operadores del sistema contaban con buses eléctricos en su flota, y cuatro de los seis operaban algunos servicios completamente eléctricos (los 2 restantes tenían 1 y 2 buses en etapa de piloto, respectivamente). El detalle del modelo de negocio variaba levemente entre las distintas empresas.

A continuación se presenta un resumen de los principales actores en la Tabla 3 y las particularidades de cada estructura de contratos.

Tabla 3 Flota de buses eléctricos Red en operación al 26 de noviembre de 2020 (Elaboración interna DTPM)

Operador	Financista	Fabricante	Flota
Metbus	Enel	BYD	436
Buses Bule	Engie	Yutong	75
STP	Engie	Yutong	25
Redbus	NeoT Capital	King Long	25
STP	Kaufmann - Copec	Foton	215
Total flota eléctrica en operación			776
Total flota eléctrica en piloto			7
Total flota eléctrica			783

La primera implementación masiva fueron los 100 buses eléctricos de la marca BYD incorporados en diciembre de 2018, operados por la empresa Metbus en alianza con la empresa eléctrica Enel. En este caso, Enel actuó como suministrador de energía y financista de la flota, además de encargarse de la construcción de los electroterminales e infraestructura de carga asociada. Por su parte, BYD actuó como proveedor de la flota, junto con tomar un rol como encargado del mantenimiento electrónico de los buses.

A continuación, en abril de 2019, se incorporaron 100 buses eléctricos adicionales de la marca Yutong; 75 operados por Buses Vule y 25 por STP, que cubrieron servicios entregados por otro operador al finalizar su contrato. Esta incorporación incluyó un mecanismo similar a los primeros 100 buses, pero en este caso se realizó una alianza con Engie, que tomó un rol análogo al de Enel y enfrentó el desafío de proveer la capacidad eléctrica, cuyas dificultades se profundizan en la siguiente subsección. Por su parte, las responsabilidades de mantención fueron asignadas a las empresas operadoras, mientras que Yutong actuó principalmente como proveedor del material rodante.

Los resultados de estas primeras implementaciones masivas fueron alentadores, confirmándose la factibilidad de operación a gran escala y concluyéndose que las empresas operadoras eran capaces de incorporar nuevos buses eléctricos de manera eficiente y rentable, incluso sin el aumento específico de sus pagos que se definió como incentivo para los primeros 200 buses.

Estos aprendizajes impulsaron y consolidaron nuevas iniciativas de renovación de flota con tecnología eléctrica, financiadas directamente por los operadores en base al ahorro en costos operacionales mencionado. Entre ellas, se destacan las nuevas incorporaciones de Metbus que consolidaron el electrocorredor de Av. Grecia en octubre de 2019; los 25 buses King Long operados por RedBus, en asociación con NEEoT Capital; y los 215 buses Foton incorporados por STP en asociación con Kaufmann – Copec, con los que se avanzó en la incorporación del estándar Red en el eje Alameda.

Estas nuevas implementaciones siguieron la misma estructura general de modelo de negocio, aunque con leves matices. Por ejemplo, Yutong y King Long actuaron como proveedores de flota, pero sin tomar un rol en su mantenimiento. Por su parte, RedBus se asoció con NeoT Capital quien actuó como financista, sin ser una empresa eléctrica, mientras que el rol inicial de Enel consistió en la instalación de energía eléctrica, sin garantía de adjudicarse el suministro de energía posteriormente. De esta manera, se concluye la importancia de generar las condiciones estratégicas básicas para factibilizar la incorporación de la nueva tecnología, pero a su vez mantener la flexibilidad necesaria para que las distintas empresas busquen las alternativas más eficientes y ajustadas a sus modelos internos de gestión y negocios.

3.2 Terminales y cargadores

Según fue adelantado, la implementación de operación con buses eléctricos trajo el desafío adicional de preparar la red eléctrica y los terminales para la carga de energía, la que toma mayores tiempos y debe realizarse de manera más frecuente que en la flota diésel. Estos aspectos fueron abordados desde el lado privado por Enel y Engie, según las distintas alianzas efectuadas, mientras que desde el lado público requirió la coordinación con el Ministerio de Energía a través de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) y la Comisión Nacional de Energía (CNE).

En primer lugar, se requirió preparar la red eléctrica para el alto nivel de consumo concentrado que implica cargar una gran cantidad de buses eléctricos en un terminal de manera simultánea, lo que debe realizarse de forma diaria y principalmente en horario nocturno. Estos ajustes en la red fueron llevados a cabo por Enel Distribución, división de la empresa encargada del tema como distribuidora de electricidad autorizada en Santiago, e incluyeron la construcción de nueva infraestructura de alimentación.

Luego de la preparación de la infraestructura básica de carga, cobró importancia a su vez la gestión y optimización de ella, para lo que se implementaron *softwares* dedicados. Esto permitió aprovechar las tarifas dinámicas de la electricidad y cargar las baterías preferentemente en los momentos de menor costo, así como también gestionar que los distintos buses conectados no se carguen todos al mismo tiempo, sino que resguardando no sobrepasar la capacidad máxima de la red. Estas definiciones deben estar alineadas a una estrategia de operación y carga, la que finalmente determina la cantidad de cargadores necesarios para materializarla. En este sentido deben balancearse distintos elementos: por ejemplo, es posible reducir costos relacionados con la infraestructura de carga con una menor proporción de cargadores por bus; sin embargo, esto podría implicar una planificación de operación más ajustada o mayores precios pagados por kWh en caso de que para factibilizarlo sea necesario realizar cargas en horarios de mayor demanda. En la experiencia de Santiago, distintos operadores y terminales trabajan con distintas proporciones de número de cargadores por bus, existiendo proporciones que van entre 1 cargador por cada 2 buses y 1 cargador por cada 4 buses (World Bank, 2020); estas diferencias se explican por las distintas tecnologías y estrategias de carga implementadas.

Otro aspecto que vale la pena destacar es la oportunidad de incorporar tecnología limpia en los terminales. Un ejemplo de esto fue el terminal El Conquistador de la empresa STP, que abastece sus 215 buses íntegramente con energías renovables, como por ejemplo paneles solares fotovoltaicos. Adicionalmente, está la posibilidad de reutilizar en los terminales las baterías de buses una vez que lleguen a su vida útil o reduzcan su capacidad para almacenar energía.

3.3 Norma técnica

Por otro lado, resulta importante la definición de una normativa clara que permita estandarizar los requerimientos para la industria y que facilite intercambiabilidad de los buses en los puntos de carga, así como definir protocolos de comunicación para la carga. Este es uno de los requisitos para la escalabilidad de la electromovilidad, donde a futuro se requerirá de flexibilidad para reasignar flota entre operadores y la definición de terminales multioperador (con más de una empresa operadora), aspectos que se potenciarán al iniciar la operación de las nuevas licitaciones de vías.

En el caso de Chile, se realizó un trabajo coordinado interinstitucional, liderado por las autoridades de energía, para consolidar una única normativa dotando de los requerimientos técnicos y de resolución de conflictos, para la implementación de este tipo de infraestructura por parte de las empresas. Particularmente, para el sistema de buses de Santiago se optó por el estándar europeo CCS combo 2, con carga DC, lo que implica una red de alimentación de corriente alterna con convertidor externo de corriente continua. Esta normativa se aplicó para terminales de carga lenta, cuyos buses ofrecen una autonomía aproximada de 250 km y conformaban la totalidad de la flota eléctrica a noviembre de 2020.

Por último, otro desafío futuro consiste en el desarrollo de la estandarización y normativa asociada a la infraestructura para la carga de oportunidad. Esta tecnología consiste en que el bus realice cargas frecuentes, por ejemplo, cada vez que llega a uno de los extremos de su recorrido, durante unos pocos minutos. Esto permite que el bus requiera menor autonomía, pero limita la flexibilidad operacional del vehículo, pues éste se diseña con una capacidad de baterías y autonomía específica para el servicio que ha de prestar. Esta tecnología ha sido utilizada en otras ciudades en buses que ofrecen una autonomía de alrededor de 50 km, siendo una alternativa factible para servicios que preferentemente cuenten con infraestructura dedicada o exclusiva (como el caso de los sistemas Bus Rapid Transit o BRT), donde puede resolverse directamente la carga, evitando movimientos en vacío hacia terminales ubicados a mayor distancia, lo que brinda las mejores condiciones para este tipo de tecnología. En esta misma línea existe también la opción de una carga en movimiento en ciertos tramos del recorrido, utilizando un sistema de cableado tipo trolebuses, lo cual también requeriría de una estandarización y normativa y presenta la ventaja de que el tiempo de carga no implica aumentar el tiempo de ciclo del vehículo, al realizarse en movimiento durante su operación normal.

Si bien, este tipo de infraestructura, no se contempló durante la fase inicial de la implementación de la electromovilidad en la ciudad de Santiago, está presente en las bases de Licitación de Suministro de Buses, como una tecnología para que los oferentes que, así lo deseen, puedan optar por diferentes tipos de carga. El detalle se especifica las bases de Licitación de Suministro de Buses en el Anexo 1: Especificaciones de los buses, apartado 4.13. (DTPM, 2020).

4. PRÓXIMAS LICITACIONES Y MODELO DEFINITIVO DE SUMINISTRO DE BUSES

A noviembre del año 2020, el sistema de transporte público de Santiago contaba con una flota de 783 buses eléctricos y 1.431 buses de baja emisión de contaminantes Euro VI, lo que representaba un 32% de la flota total con estándar Red.

Esta renovación de flota fue la antesala a las licitaciones públicas que el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones ha llevado adelante desde el año 2019, con los que se proyecta contar con otros 2.000 buses estándar Red operando bajo este nuevo esquema. Estos concursos licitatorios contemplan incentivos para aquellos operadores que opten por la electromovilidad, principalmente en relación con los plazos en el contrato de concesión, ya que para los postulantes que opten por más de un 50% de buses eléctricos habrá una duración mayor del contrato (Ilustración 2). Esta extensión es proporcional a la diferencia en la vida útil definida para cada tecnología en los nuevos contratos, donde se define para buses diésel 1.000.000 de kilómetros recorridos o cumplirse 10 años desde su fabricación; mientras que para buses con motor 100% eléctrico se definen 1.400.000 kilómetros recorridos o 14 años desde su fabricación. Además, en las bases de licitación se valoran positivamente aspectos asociados a bajas emisiones y a la eficiencia energética, los que pueden mejorar el puntaje técnico obtenido por un oferente.

Este proceso licitatorio contempla cambios importantes en el modelo de negocios. Uno de los principales pilares que se implementará con las licitaciones en curso -la de Suministro de Buses y la de Concesión de Uso de Vías (operación)-, se basa en la separación de la provisión de los activos estratégicos para el transporte público (terminales y flota) de la concesión de uso de vías.

Con esto, se busca incentivar la entrada de nuevos actores al sistema, particularmente, de los suministradores de buses, quienes tendrán un contrato directo con el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones y entregarán buses a los concesionarios, los que se encargarán de operar y mantener esos buses. Asimismo, las empresas operadoras de buses ya no serán dueñas de los terminales, pues estos serán provistos por el sistema.

En este rediseño se introduce una mayor exigencia para las empresas en términos de los indicadores de calidad y cumplimiento, y considera un menor tamaño en las unidades de servicios, que será de 400 buses en promedio. Por otra parte, si las empresas cumplen a cabalidad con los índices de calidad y operación exigidos por la autoridad, podrán optar a una extensión de contrato, con una extensión máxima similar al del contrato original.

Al separarse de la operación de vías tanto el suministro de buses como la propiedad de los terminales, y al reducir la duración de los contratos de concesión, se reduce también en forma importante las barreras de entrada a nuevos actores. Con esto se busca generar mayor competencia en la licitación de concesión de uso de vías, introduciendo mayor competitividad al sistema al eliminar la carga financiera que supone la adquisición de buses y terminales (DTPM, 2019a).

Esto permite que, en caso de que los operadores no cumplan con las exigencias de calidad de servicio, puedan ser reemplazados con mayor flexibilidad. Todo esto se facilita también con los menores tamaños de las empresas operadoras y los menores plazos de concesión. Si bien esto puede imponer costos o desafíos de coordinación, se espera que sean más que subsanados con las mejoras en calidad y precio.

En la Ilustración 1 se indica la estructura organizacional del sistema de buses, implementada en los inicios del Transantiago. El Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT) tiene contratos con las empresas operadoras de buses y con las empresas encargadas de servicios complementarios (proveedores tecnológicos, red de carga de la “Tarjeta bip!”, administrador

financiero). En este esquema cada una de las empresas operadoras es dueña de los buses y los terminales, además de realizar la operación y mantención de los buses.

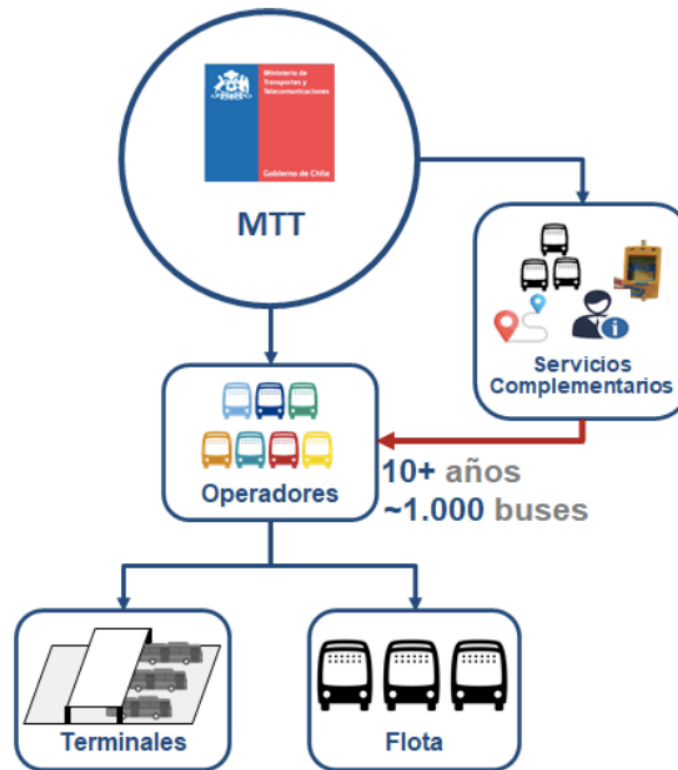


Ilustración 1 Estructura de negocio 2012 (Elaboración interna DTPM)

La Ilustración 2 muestra el nuevo modelo de estructura organizacional. En éste, el MTT tendrá contratos no solamente con las empresas operadoras de buses y las empresas encargadas de los servicios complementarios, sino que además con las empresas suministradoras de buses. Además, proveerá los terminales para la operación. Por su parte, existe una relación contractual entre las empresas operadoras de buses y los suministradores de buses. Las últimas entregan un plan de mantenimiento y certifican que este mantenimiento sea llevado a cabo adecuadamente por las empresas operadoras de buses.

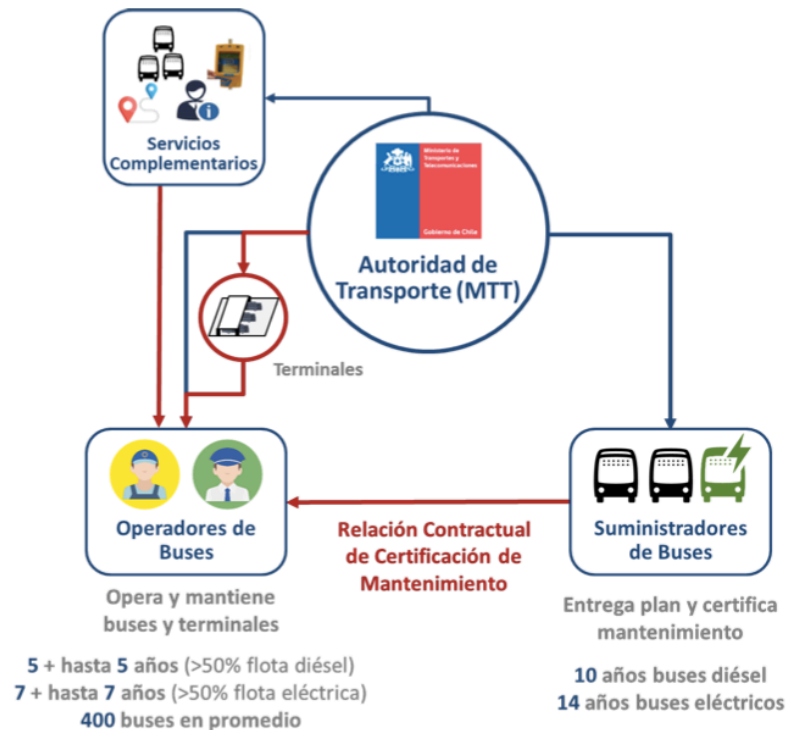


Ilustración 2 Nueva estructura de negocio (Elaboración interna DTPM)

5. CONCLUSIONES

En este artículo se presenta la experiencia del sistema de buses de Santiago, Chile, en la incorporación masiva de buses eléctricos y buses Euro VI, junto con la implementación de un nuevo estándar de calidad de estos buses para los usuarios.

Hacia fines del año 2020 Santiago era, fuera de China, la ciudad con mayor flota de buses eléctricos. Todos estos buses eléctricos se alimentan exclusivamente por baterías que se cargan cuando el bus se encuentra en un terminal, es decir, no existen buses eléctricos híbridos (con motores a combustión), trolebuses (que obtienen la electricidad de cables a lo largo de la ruta) ni buses eléctricos con carga durante el recorrido o en puntos de la ruta. Junto con la incorporación de un alto número de buses diésel Euro VI, estas dos tecnologías limpias representaban más del 30% de la flota de buses del sistema, con el consiguiente impacto positivo en reducción de contaminantes locales y globales, además de la reducción de ruido.

La incorporación de esta nueva flota, que además cuenta con un nuevo estándar de calidad para los usuarios, ha sido altamente valorada por éstos, quienes han declarado una nota del orden de un punto superior en los primeros recorridos con estos nuevos buses. La llegada de la electromovilidad ha convertido a Santiago en un laboratorio mundial para probar nuevas tecnologías para el transporte público. Distintos fabricantes de buses han mostrado interés en probar, por ejemplo, buses eléctricos articulados y rígidos y un bus con ambos ejes direccionales.

Estos resultados fueron fruto de una alianza entre instituciones públicas y empresas privadas, proceso iniciado en el año 2018 con la implementación de los primeros 100 buses eléctricos, los que permitieron operar en la calle las nuevas tecnologías y disminuir su incertidumbre asociada. Adicionalmente, se destaca la necesidad de un sistema de transporte público regulado y una industria formalizada, donde pueda planificarse y coordinarse con empresas que sean capaces de mitigar riesgos y conseguir financiamiento a bajo costo.

Sobre esta base, consideramos que es clave generar las condiciones estratégicas para incentivar la incorporación de la nueva tecnología, pero a su vez mantener la flexibilidad necesaria para que las distintas empresas busquen las alternativas más eficientes y ajustadas a sus modelos internos de gestión y negocios, destacando la estructura de provisión de flota implementada. Este modelo se replicó para las distintas empresas que han incursionado en la electromovilidad, pero al mismo tiempo se entregó la flexibilidad suficiente para asociarse en distintos términos, repartiendo responsabilidades y riesgos entre las distintas empresas operadoras, proveedoras de flota, financistas y de energía involucradas. Luego de esta experiencia, los positivos resultados de operación convencieron a las empresas operadoras de la conveniencia y eficiencia de la tecnología eléctrica.

Con los próximos procesos de licitación de Suministro de Buses y Concesión de Uso de Vías (operación) con los que se irá renovando paulatinamente los contratos y modelo de negocio del sistema de buses de Santiago, se espera llegar al año 2022 con un 80% de la flota de buses de Santiago con las nuevas tecnologías limpias y el nuevo estándar de calidad Red. Asimismo, se espera avanzar también en otras ciudades de Chile en esta dirección, lo cual presenta la dificultad adicional de que se requiere adaptar el modelo a otras realidades institucionales y organizacionales.

La experiencia de la introducción de la electromovilidad y la incorporación del nuevo estándar de calidad en el sistema de buses de Santiago ha dejado muchos aprendizajes y buenas prácticas. Además, ha sido una experiencia positiva tanto para la autoridad como para los usuarios y la comunidad en general. Una de las principales motivaciones de este artículo es compartir estos aprendizajes con la comunidad tanto nacional como internacional, intentando aportar al desarrollo y mejora de los sistemas de transporte público y la retroalimentación de experiencias. Considerando las particularidades culturales, administrativas y organizacionales de cada lugar, la invitación es a pilotear estas nuevas tecnologías, buscar modelos de negocio atractivos y sustentables y realizar una evaluación constante de los resultados, para beneficio ojalá de todas las comunidades involucradas.

Finalmente, quedan varias líneas de investigación o análisis en que se puede profundizar a futuro. Una de ellas es el análisis comparativo de costos de las diferentes tecnologías, considerando las distintas capacidades de transporte que cada una presenta, las diferencias en disponibilidad operativa de los vehículos que cada tecnología genera y la experiencia de costos a lo largo de los años de operación que se vaya acumulando, incluyendo la vida útil y reposición de partes relevantes. Destaca aquí el elemento batería, por su relevancia en el costo total del vehículo, pero también por existir compromisos entre el rango efectivo de carga que se utiliza (y por lo tanto la autonomía de los vehículos) y su vida útil menor a la del bus, y además porque con los años van perdiendo capacidad, reduciéndose la autonomía del bus. Otro tema es profundizar los análisis de beneficios ambientales considerando aspectos como el impacto ambiental de piezas como las baterías, para las que se requiere estudiar en detalle la oportunidad de reutilización para

almacenamiento en terminales. Por último, se destaca también la relevancia de considerar otras tecnologías limpias como buses eléctricos con menor capacidad de baterías y carga breve en cada expedición (ya sea detenido o a lo largo de algunas secciones de ruta con cableado tipo trolebús), buses a hidrógeno u otros que puedan aparecer en el futuro, lo que requerirá un trabajo similar al realizado por el Directorio de Transporte Público Metropolitano para la electromovilidad, comenzando desde la fase de pilotos. Por último, cabe destacar la aprobación y promulgación de la primera Ley de Eficiencia Energética de Chile a comienzos del año 2021 (Ministerio de Energía, 2021b), la cual busca promover la renovación del parque con vehículos más eficientes, con énfasis en aquellos de propulsión eléctrica, genera incentivos a los vehículos eléctricos y de cero emisiones, y declara el hidrógeno como combustible.

AGRADECIMIENTOS Desde DTPM se agradece a todos quienes hicieron posible la implementación del proyecto de electromovilidad para Santiago de Chile. En primer lugar, a la Ministra Gloria Hutt, quien definió este desafío y tuvo la confianza en este Directorio para implementar este proceso. Se agradece especialmente al equipo del DTPM, con quienes se planificó durante meses cada detalle para conseguir que los buses eléctricos estuvieran a disposición de nuestros usuarios. Un especial reconocimiento a las Gerencias de Planificación e Infraestructura, Estrategia y Desarrollo, Coordinación de Contratos, Usuarios, y Finanzas y Control de Gestión, cuyos esfuerzos viabilizaron este gran proyecto que fijó el camino hacia la consolidación de un transporte sustentable con el medio ambiente y hacia la electromovilidad. Se agradece también a las empresas operadoras, a los fabricantes de buses y a las empresas eléctricas, que fueron los primeros en sumarse en este proyecto, ya que su entusiasmo y compromiso permitió que este proyecto se haga posible. Por último, lo autores agradecen las sugerencias constructivas realizadas por los árbitros y editores anónimos de este artículo.

Referencias

- DTPM (2014) Informe de Gestión 2014. Directorio de Transporte Público Metropolitano, Chile. Recuperado el 4 de diciembre de 2020 en: http://www.dtpm.gob.cl/archivos/Informe_Gestion-2014_vFinal.pdf
- DTPM (2017) Informe de Gestión 2017. Directorio de Transporte Público Metropolitano, Chile. Recuperado el 27 de noviembre de 2020 en: http://www.dtpm.gob.cl/archivos/IG_2017- web.pdf
- DTPM (2018) Informe de Gestión 2018. Directorio de Transporte Público Metropolitano, Chile. Recuperado el 27 de noviembre de 2020 en: http://www.dtpm.gob.cl/descargas/memoria/Informe_Gestion_2018_DTPM.pdf
- DTPM (2019a) Informe de Gestión 2019. Directorio de Transporte Público Metropolitano, Chile. Recuperado el 27 de noviembre de 2020 en: http://www.dtpm.gob.cl/descargas/memoria/InformeGestion_2019_DTPM.pdf
- DTPM (2019b) Resumen Ejecutivo Satisfacción de los Usuarios con Operadores y el Sistema vs Percepción de Buses del Nuevo Estándar. Directorio de Transporte Público Metropolitano, Chile. Recuperado el 4 de diciembre de 2020 en: http://www.dtpm.gob.cl/descargas/estudios/Satisfacci%C3%B3n-Nuevo-Est%C3%A1ndar_vF.pdf

DTPM (2020) Licitación Pública Del Servicio Complementario De Suministro De Buses Para El Sistema De Transporte Público De La Provincia De Santiago Y Las Comunas De San Bernardo Y Puente Alto, N° Lp Sb001/2019. Recuperado el 15 de febrero de 2021 en: <https://www.dtpm.cl/descargas/licitacion2019/Bases%20de%20licitaci%3n%20LPSB001.pdf>

Ministerio de Energía (2021a) Estrategia Nacional de Electromovilidad. Recuperado el 9 de febrero de 2021 en <https://energia.gob.cl/electromovilidad/orientaciones-de-politicas-publicas>

Ministerio de Energía (2021b) Presidente Piñera promulga Ley de Eficiencia Energética en la Región de Los Lagos. Recuperado el 9 de febrero de 2021 en: <https://energia.gob.cl/noticias/nacional/presidente-pinera-promulga-ley-de-eficiencia-%20energetica-en-la-region-de-los-lagos>

World Bank (2020) *Lessons from Chile's Experience with E-mobility: The Integration of E-Buses in Santiago - Report*. Recuperado el 10 de febrero de 2021 en: <http://documents1.worldbank.org/curated/en/656661600060762104/pdf/Lessons-from-Chile-s-Experience-with-E-mobility-The-Integration-of-E-Buses-in-Santiago.pdf>