



MiTransporte
COSTA RICA

Resultados del proyecto piloto de buses eléctricos en el GAM. Operación Grupo ATD - TUASA.





Resultados del proyecto piloto de buses eléctricos en el GAM. Operación Grupo ATD - TUASA.



Por encargo de:



Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza,
Obras Públicas y Seguridad Nuclear



de la República Federal de Alemania

Título:

Resultados del proyecto piloto de buses eléctricos en el GAM. Operación Grupo ATD - TUASA.

Editor:

HEAT International

Autores:

Luis Pinzón
Brenda Zumbado
Daniel Fuentes

Diseño gráfico: Brenda Zumbado

© 2021 Heat International
Todos los derechos reservados

Contenido

1/ Resumen Ejecutivo	5
2/ Objetivos.....	8
3/ Antecedentes	9
4/ Iniciativa proyecto piloto	10
5/ Proceso de selección de rutas.....	11
6/ Pruebas	15
7/ Resultados	19
8/ Tratamiento de baterías	30
9/ Ejemplos de modelos de adquisición de flotas eléctricas.	39
10/ Conclusiones, Recomendaciones y lecciones aprendidas	48

Evaluación técnica y operativa

Consumo de energía

El consumo de energía de los buses fue obtenido a través de la telemetría instalada en ambos buses con base en los registros del estado de carga, los cuales arrojan datos en tiempo real y se tenía el consumo detallado de la energía a lo largo de la operación diaria de los buses, es decir, se obtenía el estado de carga final de la batería cuando los vehículos llegaban al plantel una vez finalizada la operación. El consumo promedio de ambos buses durante los cuatro meses de operación en ATD fue de 0.92 kWh/km.

Los principales factores que afectan el consumo de energía son:

- **Uso de sistemas auxiliares y temperatura.** Existe relación entre las temperaturas y el uso de estos sistemas. En los meses más fríos se incrementa el consumo por el dispositivo de deshielo, y en los meses más cálidos por el de aire acondicionado (A/C). Para el caso de Costa Rica y los buses que están en operación esta variable no influye ya que no se utilizó el aire acondicionado (A/C) de los buses, aunque lo tienen a su disposición.
- **Cantidad de pasajeros transportados.** Se observa una tendencia a incrementar el consumo energético a medida que aumenta la cantidad de pasajeros transportados. La mayor cantidad de pasajeros representa un mayor peso que debe mover el vehículo, incrementando la demanda energética. Sin embargo, debido a las condiciones actuales con las cuales se está operando en Costa Rica, que han variado un poco a lo largo de estos cuatro meses, no es significativo este cambio o aumento en el consumo energético. Es necesario evaluar bajo otras condiciones de ocupación de los buses para estimar ese posible aumento de consumo energético, para tal fin, se está trabajando con el tercer bus (a cargo del ICE) y poder estimar la afectación de esta variable.
- **Velocidad media.** Para el caso de los buses en operación en la ruta de ATD y TUASA se pudo observar que hay un menor consumo de energía cuando hay una mayor velocidad de operación y esto se puede apreciar a lo largo de las diferentes franjas horarias, en hora pico, cuando hay una menor velocidad de operación hay por ende una mayor cantidad de episodios de aceleración y frenado, lo cual hace que se pierda energía en dichos procesos, sin embargo, cuando se considera la totalidad del día las diferencias provocadas por la velocidad no son significativas

Freno regenerativo

La recuperación de energía gracias a este dispositivo varía de acuerdo con las condiciones de operación de la ruta (topografía) y el estilo de conducción. Dentro de la prueba piloto realizada en la empresa ATD se tuvo la oportunidad de probar dos rutas con condiciones topográficas un poco diferentes. En la ruta principal del piloto la capacidad de regeneración de la batería se ubicó entre el 35 y el 39%, mientras que en la segunda ruta de prueba esta regeneración llegó a valores de 44%. La diferencia entre los recorridos corresponde a una mayor pendiente en la segunda ruta, lo cual ayuda al proceso de regeneración de la batería, alcanzando los porcentajes mencionados.

Autonomía

De acuerdo con las condiciones de operación de las rutas de la GAM, se estableció para la adquisición de los buses que tuvieran una autonomía mínima de 250 km. Los buses adquiridos por el proyecto tienen un tamaño de batería de 276 kWh, esto permitía poder armar un Plan de Servicio Operacional superior a los 180 km diarios por bus e ir verificando a través de la telemetría el comportamiento del consumo energético y hacer modificaciones y/o correcciones al Plan de Servicio Operacional. La operación de la ruta de ATD seleccionada para el piloto no sobrepasaba los 150 kilómetros diarios de operación, así que los buses pudieron cumplir con la operación diaria de la ruta sin ningún tipo de contratiempo. El kilometraje promedio diario de los buses fue de 147 kilómetros regresando al plantel con un remanente de batería entre el 50 y el 55%, lo cual indica que los buses estaban en capacidad de poder realizar más kilómetros diarios.

A raíz de esta situación y viendo que los buses estaban quedando con un remanente de batería después de cumplir con su Plan de Servicio Operacional, se decidió, en coordinación con el operador y con el equipo técnico del proyecto probar los buses en otra ruta de la misma empresa que tuviera una longitud más larga que la ruta en estudio. Así entonces se probaron los buses en la ruta de Aserrí que tiene 8 kilómetros más que la ruta inicial del estudio y que presenta unas condiciones topográficas más exigentes que la ruta original, esta ruta presenta una elevación mayor y una pendiente más pronunciada.

Los resultados de los buses en las pruebas realizadas en esta la ruta de Aserrí, mostraron un comportamiento muy similar a la ruta inicial de estudio, en cuanto a consumo energético, pero sí tuvo una gran diferencia en la variable de regeneración de batería, tal y como se mencionó anteriormente. Los valores obtenidos para esta variable se situaron alrededor del 44% logrando que los buses llegaran al plantel, una vez finalizado su Plan de Servicio Operacional, con un remanente de batería entre alrededor del 58%

Dentro de los análisis que se pueden desprender de estas pruebas, se puede establecer que la topografía y el recorrido que tienen las rutas juega un papel muy importante en la autonomía y el consumo energético de los buses, es necesario entonces realizar una evaluación más profunda de estas condiciones de operación, ya que influirá al momento diseñar el bus en cuanto a la capacidad de la batería y esto afectará directamente el costo del bus al ser un componente tan importante de esta tecnología.

Para controlar la autonomía de los vehículos es importante mantener un monitoreo permanente de los vehículos, con el fin de reducir los riesgos de no disponer de la suficiente energía para completar un viaje y llegar al punto de recarga. En el proyecto y la operación de ATD y TUASA se cuenta con un sistema de telemetría en tiempo real, que permite conocer el estado de la batería y confirmar si el bus es capaz de realizar el Plan de Servicio Operacional programado.

Es importante también definir con los proveedores de los buses el umbral mínimo para el estado de la batería (SOC), ya que esto afecta directamente cualquier Plan de Servicio Operacional que se quiera ejecutar y así mismo, que contraindicaciones respecto a la garantía tendría el incumplimiento de esa restricción.

Pasajeros transportados

Gracias a la instalación realizada del sistema de Monitoreo y Gestión de Flota en los buses, tanto eléctricos como diésel, se tiene control total de los pasajeros transportados en cada una de las unidades, por cada uno de los días de operación. Es así como se contabilizaron más 110000 pasajeros movilizados por bus en los cuatro meses de operación en la ruta de ATD, con un promedio de 524 pasajeros por bus por día.

Es importante mencionar que debido a las condiciones de restricción de movilización de pasajeros (ocupación de los buses) a causa del COVID los buses eléctricos transportaron menos pasajeros que sus pares diésel, esto debido a que los buses eléctricos tienen 30 sillas mientras que los buses diésel son de 51 sillas y bajo la condición que solo se podían llegar a la ocupación de todos sentados, se afectó esa variable. Sin embargo, la capacidad total de los buses eléctricos es igual a la de sus pares diésel de 12 metros, 81 pasajeros en total y bajo condiciones de operación normal, sin restricciones de ocupación, los buses eléctricos tendrán la capacidad de transportar la misma cantidad de pasajeros que los buses diésel.

Percepción de conductores y pasajeros

Según las sensaciones recolectadas por los operadores, la percepción de los pasajeros ha sido positiva. El principal factor que mencionan los operadores es la comodidad y facilidad de operación. Para los pasajeros la suavidad en el recorrido, la operación silenciosa y la transmisión continua de velocidad son los beneficios más notables que permiten tener un viaje más cómodo.

2/ Objetivos

Objetivo General:

Impulsar el proceso de descarbonización del sector transporte público en la modalidad bus a través de un proyecto piloto de buses eléctricos que permita generar datos y experiencias para mejorar la toma de decisiones a nivel técnico, político y financiero, además de visibilizar, generar confianza y apropiación de la tecnología en los diferentes actores involucrados en el tema, para promover así la creación de las condiciones habilitantes necesarias para la incorporación de buses eléctricos en las flotas de los operadores de transporte público.

Objetivos Específicos:

1. Estudiar la viabilidad técnica y financiera de los buses eléctricos en comparación con los buses diésel en rutas urbanas.
2. Familiarizar a la sociedad costarricense con la tecnología para promover sus ventajas y eliminar mitos y temores.
3. Capacitar a los empresarios operadores de rutas y a sus equipos de trabajo sobre las particularidades y diferencias de los buses eléctricos
4. Generar insumos para que las instituciones encargadas del transporte público actualicen su marco normativo-regulatorio de modo que contemplen los buses eléctricos.



3/ Antecedentes

Durante las últimas décadas, Costa Rica ha logrado avances ambientales importantes incluyendo una red eléctrica abastecida por métodos libres de emisiones, los cuales representaron un 98.6% de la producción eléctrica nacional en el 2018, según datos del Centro Nacional de Control de Energía (CENCE). Sin embargo, en Costa Rica, el sector transporte genera alrededor del 44% de las emisiones netas de CO₂ por lo que convierte a este sector en el mayor obstáculo para el ambicioso objetivo de convertirse en el primer país carbono neutral en el mundo.

Para lograrlo, Costa Rica debe realizar cambios y modificaciones significativas en su oferta de movilidad y transporte (público y privado). El Plan Nacional de Descarbonización ofrece una hoja de ruta para impulsar la modernización de la economía costarricense y una de sus metas es desarrollar un sistema de transporte público (buses, taxis y TRP) y movilidad compartida de uso seguro, alimentado por energías limpias (sin emisiones) cuya eficiencia y confiabilidad promueva su uso.

Recientemente, el país oficializó el Plan Nacional de Transporte Eléctrico que fija la dirección del país en el uso de tecnología cero emisiones y promueve la transición hacia una mayor participación de las energías renovables en la matriz energética nacional, mediante la electrificación del transporte en todas sus modalidades.

El Comité de Electrificación del Transporte Público (CETP) se enmarca bajo ambos planes y trabaja para apoyar al país en su camino a la transformación tecnológica hacia un transporte cero emisiones que mejore no sólo la calidad del aire, sino que disminuya los niveles de ruido asociados al uso de vehículos y autobuses tradicionales, y así mejorar la calidad de vida de las personas. El CETP ha venido apoyando a la GIZ en el proceso de compra y donación de 3 buses eléctricos del gobierno alemán al Gobierno de Costa Rica. Este proceso busca la selección de las empresas en dónde se pondrán a funcionar los buses eléctricos.

El Plan Nacional de Transporte Eléctrico que fija la dirección del país en el uso de tecnología cero emisiones y promueve la transición hacia una mayor participación de las energías renovables en la matriz energética nacional, mediante la electrificación del transporte en todas sus modalidades.

4/ Iniciativa proyecto piloto

Este proyecto piloto contempla la adquisición y puesta en funcionamiento de tres buses eléctricos y su respectiva infraestructura de recarga en el Área Metropolitana de San José. La compra se realizó por parte de la GIZ a través de una licitación internacional con fondos del Gobierno alemán. Para la operación de los buses, se seleccionaron tres rutas actuales de autobuses que cumplen con los criterios establecidos en el presente documento adecuadas para la tecnología seleccionada, para operar dos de los autobuses por un periodo de cuatro meses en cada ruta.

El proyecto contempla la operación de dos autobuses y la instalación de la infraestructura de recarga para las empresas seleccionadas. Los trámites para la obtención de Placas Temporales, Seguros e Identificación de unidades fueron gestionados por la GIZ en apoyo con el CETP, así como cualquier otro permiso necesario para la operación de los buses para transporte público.

La importancia del proyecto piloto para la introducción de autobuses eléctricos en la flota de transporte público de Costa Rica radica en que permitirá probar la tecnología y recopilar la información útil para la implementación a gran escala de la tecnología. Esta información podrá ser utilizada por diferentes instituciones como ICE, MOPT/CTP, MINAE, ARESEP para el diseño de políticas públicas, los concesionarios e incluso el sector financiero y de seguros.

En Costa Rica, el sector transporte genera alrededor del 44% de las emisiones netas de CO₂.



5/ Proceso de selección de rutas

El proceso de selección consta de las siguientes etapas:

- 1** **Publicación de concurso:** Se publicará en La Gaceta /La Nación la invitación a participar del concurso para selección de rutas que sean beneficiaras del concurso.
- 2** **Formulario de inscripción:** La presentación de ofertas por parte de las empresas concesionarias interesadas en participar en el proyecto piloto se podrá realizar de manera escrita o digital. Las ofertas se evaluarán de acuerdo con criterios previamente establecidos por el CETP y mencionados en este documento y preselección de los beneficiarios.
- 3** **Evaluación de propuestas:** Los formularios de interesados serán evaluados por el CETP en un lapso de hasta 1 semana calendario a partir del cierre o de recepción de documentos. Los interesados serán evaluados por medio de una matriz de evaluación previamente elaborada.
- 4** **Negociaciones bilaterales:** Dialogo con las empresas preseleccionadas para discutir y establecer los requerimientos de información necesarias para ser seleccionados.
- 5** **Convenio:** Selección de tres empresas operadoras con mayor puntuación y que aceptan los criterios y condiciones finales y posterior firma de convenio entre las empresas y el IC para dar inicio al proyecto piloto.



Proyecto Piloto

Electrificación del transporte público en CR

Propuesta para concurso



Las empresas operadoras participantes debían aceptar las siguientes condiciones:

- Disposición de incluir los autobuses en línea convencional.
- Los buses eléctricos deben brindar un servicio equivalente a los buses convencionales que operen en la ruta respectiva.
- El piloto utilizará 2 buses eléctricos de la misma tecnología en las rutas seleccionadas.
- Los dos buses eléctricos se asignarán durante 4 meses a un mismo operador, una vez terminado este período, las dos unidades se trasladarán a otro operador durante la misma cantidad de tiempo.

Uno de los aspectos clave para el piloto es la adecuada selección de las rutas. Los buses eléctricos requieren consideraciones especiales en infraestructura de recarga y topografía del terreno que van a recorrer, por lo tanto, la escogencia de las rutas correctas y operadores idóneos para el proyecto son claves para su éxito.

El Comité para la Electrificación del Transporte Público (CTEP) definió los parámetros que se utilizaron para la selección de las rutas, así mismo, el comité definió que se seleccionaran tres rutas para realizar la prueba piloto. Se definió que los buses estén un periodo de 4 meses en cada una de las rutas para completar un año en la prueba piloto.

Los parámetros que se utilizaron para la selección de las rutas son los siguientes: área de operación del piloto, distancia de la ruta, pasajeros transportados, topología del terreno, instalación eléctrica, cantidad de buses que posee el operador, cumplimiento de la empresa operadora con ARESEP, ubicación del predio, entre otros, en la siguiente figura se pueden apreciar los parámetros mencionados



Ubicación de la ruta: La ruta debe estar ubicada en el Gran Área Metropolitana (GAM) y debe entrar al Área Metropolitana de San José (AMSJ).



Distancia de la ruta: Ramales de ruta de menos de 20 km (clasificación urbana del CTP). Esta distancia permite una frecuencia de viajes adecuada para los buses eléctricos del piloto.



Flotilla de las empresas: Las empresas operadoras interesadas deben contar con una flotilla de más de 10 buses, esto para garantizar que siempre se encuentren operando los autobuses eléctricos y los autobuses diésel



Disponibilidad trifásica: Las operadoras deben contar con acometida trifásica en el predio/plantel o disponibilidad para realizarla.



Pendiente máxima: Las rutas donde operarán los buses no pueden tener pendiente máxima en un punto mayores al 15% debido a las características de operabilidad del bus.

A través del Consejo de Transporte Público (CTP) se realizó una invitación a todas las empresas operadoras de ruta interesadas en participar en el proyecto piloto de MiTransporte. 17 rutas participaron en el concurso y fueron evaluados según criterios de ponderación establecidos de forma colegiada por el CETP, en la siguiente imagen se pueden apreciar dichos criterios de ponderación.

Una vez realizado este proceso se realizó la selección de las rutas, dando el siguiente resultado:

Ruta 70 | Ramal: San José-Desamparados-San Rafael | Autotransportes Desamparados

Ruta 301 | Ramal: San José-Tres Ríos (servicio regular) | Transportes Públicos la Unión

Ruta 200 | Ramal: San José-Alajuela por INVU | TUASA

La ubicación geográfica de dichas rutas puede apreciarse en la siguiente imagen:



Una vez seleccionadas las rutas, se procedió a la confirmación por parte de las empresas operadoras su participación en la prueba piloto ya que se estableció que debían compartir información detallada de su operación como costos, procedimientos, entre otros, lo cual podía indisponer a algunas empresas operadoras, sin embargo, no hubo contratiempos por este tema.

La logística de las pruebas está coordinada directamente por el equipo HEAT - GIZ – ICE bajo la supervisión del Comité para la Electrificación del Transporte Público (CETP). De los 3 buses, 1 de los buses se mantendrá en bajo supervisión y uso específico del ICE, mientras que los 2 restantes serán utilizados en rutas de transporte público.

El bus que estará en el ICE se utilizará para pruebas específicas de autonomía, carga y descarga de la batería, rutas en terrenos difíciles, etc. Los 2 buses que se utilizarán en transporte público serán operados tres 3 empresas de transporte público durante 4 meses cada una. Los buses son entregados en modalidad de comodato por el ICE a las empresas operadoras de ruta de transporte público mediante un acuerdo o contrato que dictamina los detalles del proceso, las empresas operadoras deben seguir una serie de protocolos designados por el equipo HEAT-GIZ-ICE.

Las pruebas presentadas en este informe corresponden a los datos de las primeras dos rutas seleccionadas, la ruta 70 operada por el grupo ATD y la ruta 200 operada por TUASA. Como parte del proceso de preparación el personal de las empresas operadoras recibieron diversas capacitaciones sobre los buses eléctricos y su funcionamiento por parte del representante del fabricante de los buses en Costa Rica, el ICE y el INA. Esta capacitación también será impartida a las otras empresas operadoras.

Características de las unidades monitoreadas en el piloto

Los buses eléctricos utilizados durante las pruebas son BYD K9FE modelo 2020, con motor 150kWx2 y un torque de 550Nm x2, las baterías son de Litio-Hierro-Fosfato con una capacidad de 270 kWh, tensión eléctrica de 460V para el sistema de la batería y una capacidad de descarga máxima de 3000Ahx2, con conectores CCS2.

Los buses diésel usados como espejo por su parte son: Chasis Mercedes Benz 0500M OH 1826, motor EURO V Mercedes Benz OM926LA 7.2l 260hp 293kW y carrocería Neobus MegaPlus 13.2m modelo 2017.

Recorridos realizados en las pruebas

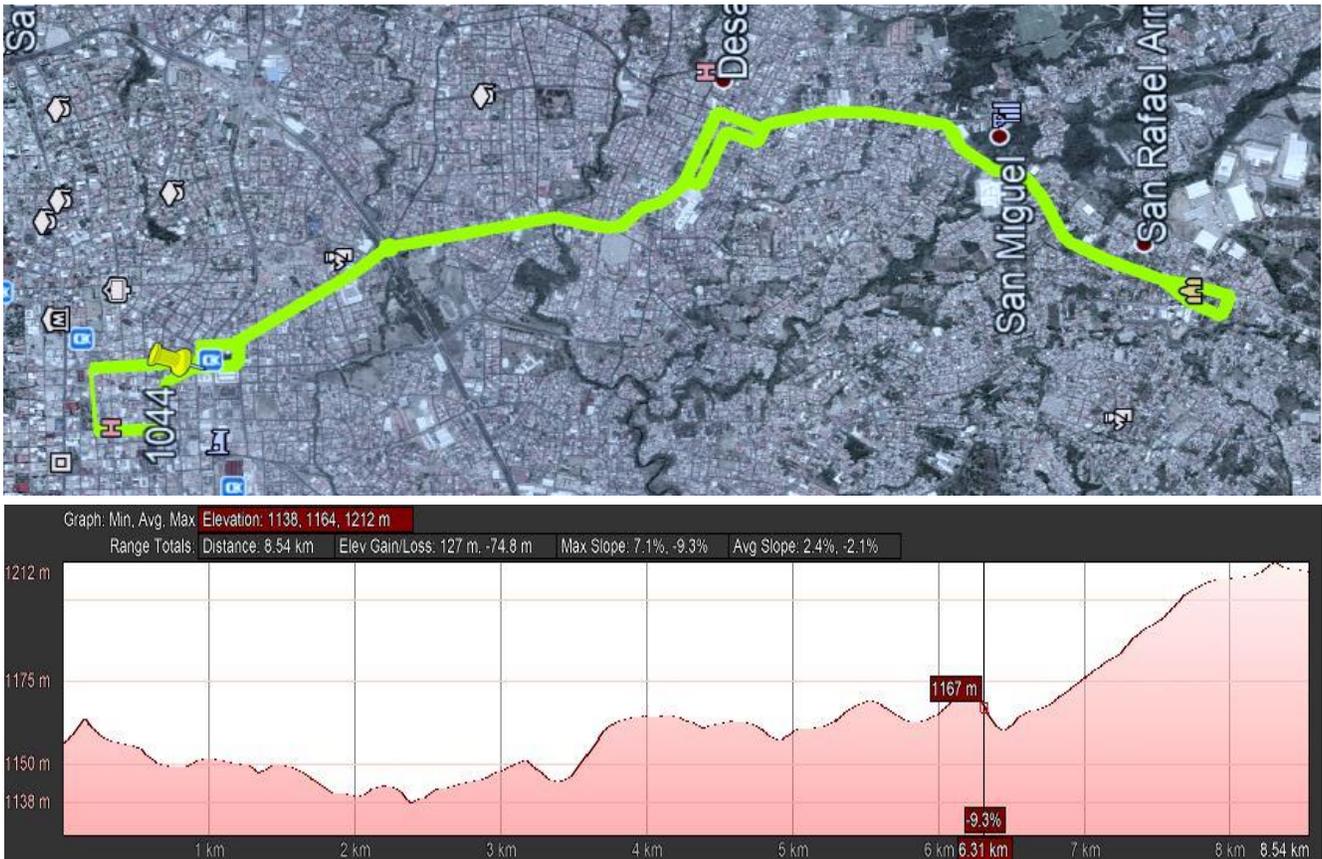
Ruta 70: San José-Desamparados-San Rafael

La primera ruta seleccionada para las pruebas piloto es la ruta 70 de Autotransportes Desamparados, esta ruta conecta a San José con Desamparados, uno de los cantones con más población de la GAM que conecta directamente con el centro del área metropolitana de San José. Los buses eléctricos están ubicados en el ramal de San José-San Rafael.

Este ramal tiene una longitud de 16.3 km ida y vuelta, se atraviesa una zona densamente poblada y tiene una elevada rotación de pasajeros debido a las zonas de trabajo y ocio ubicadas en medio de la ruta. En época prepandemia transportaba más de +320000 pasajeros mensuales. Maneja una flotilla de más de 160 unidades para todos los fraccionamientos.

La topología de la ruta es poco accidentada y tiene una elevación promedio relativamente baja, no existen pendientes críticas elevadas.

La primera ruta seleccionada para las pruebas piloto es la ruta 70 de Autotransportes Desamparados.



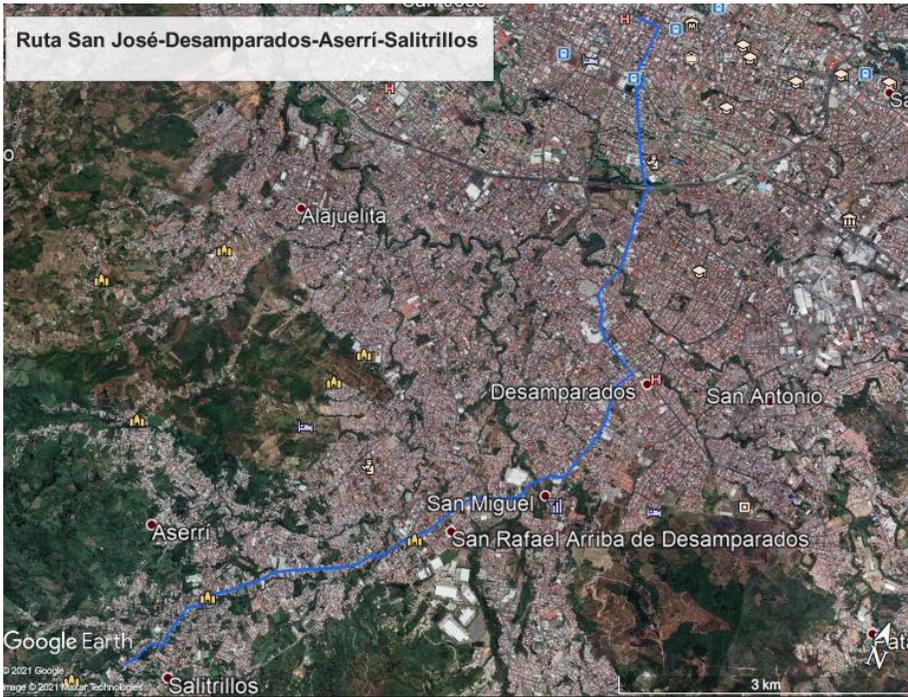
Ruta 70: San José-Aserrí-Salitrillos

Durante el mes de mayo, en algunos fines de semana los buses eléctricos que operan en la ruta 70: San José-Desamparados-San Rafael se destinaron al fraccionamiento de San José-Aserrí-Salitrillos.

Estos 2 ramales o fraccionamientos siguen la misma ruta hasta la altura de San Rafael Arriba de Desamparados, a partir de ahí el ramal de San José-Aserrí Desamparados continúa un par de kilómetros sobre la carretera 209 hacia Salitrillos, realizando un ligero ascenso hacia la zona montañosa al sur del Área Metropolitana de San José.

Este ramal recorre una distancia aproximada de 23.8km ida y vuelta, al igual que el fraccionamiento de San Rafael de Desamparados, atraviesa zonas densamente pobladas, aunque al acercarse a salitrillos esta densidad disminuye ligeramente. A partir de la zona de Desamparados la inclinación promedio de la carretera aumenta.

Los días de prueba realizados sobre esta ruta relativamente pocos comparados con los de la ruta principal, sin embargo, son suficientes para identificar algunas de las tendencias más relevantes de este ramal.



Paralelamente se realizaron recorridos en el fraccionamiento San José – Aserri – Salitrillos.



Ruta 200: San José- -Alajuela por INVU

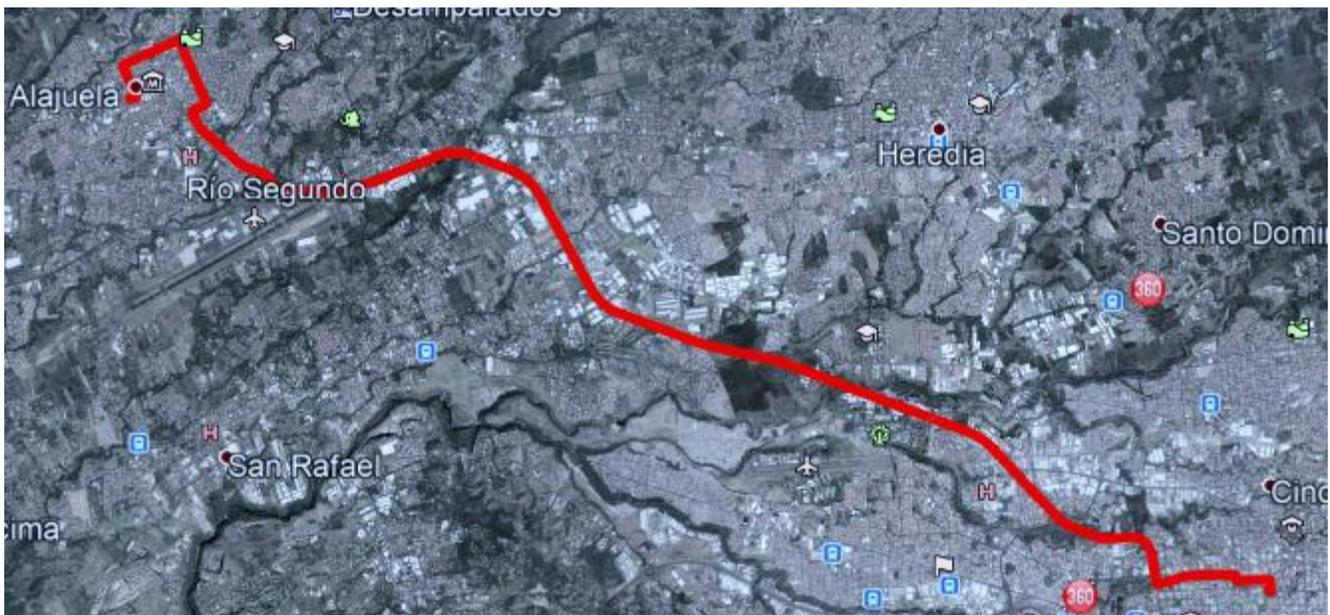
La segunda ruta seleccionada para las pruebas piloto es la ruta 200: San José- -Alajuela por INVU operada por TUASA, esta ruta conecta San José con Alajuela y los buses recorren el ramal que se dirige por el INVU.

Este ramal tiene una longitud de 20.20 km y atraviesa una zona de gran movimiento de personas ya que pasa por el Aeropuerto Juan Santa María, antes de la pandemia transportaba un promedio de 551206.8 pasajeros por mes.

La topología de la ruta es poco accidentada y cuenta con una pendiente promedio de 3.1, no existen pendientes críticas elevadas y su mayor pendiente es de 14.4%.

El piloto se encuentra en operación en la segunda ruta seleccionada en el momento de realización de este documento por lo que, al no haber finalizado, todavía no se pueden obtener los datos totales de la operación de los buses Diésel y los buses eléctricos. Para efectos del presente documento, se tomarán en cuenta los primeros 15 días de operación del piloto en la ruta 200, que inició operación el 4 de agosto del 2021.

El piloto se encuentra en operación en la segunda ruta seleccionada en el momento de realización de este documento.



7/ Resultados

Ruta 70: San José-Desamparados-San Rafael

Los resultados de los primeros meses de operación en la ruta 70 con el operador Grupo ATD han sido positivos, en un momento marcado por la pandemia y los cambios constantes en las condiciones de apertura y restricción económica, los autobuses piloto han trabajado con un alto nivel de confiabilidad.

No se han reportado fallas mecánicas o problemas de carga. Los buses diésel EURO V que operan como espejo de los buses eléctricos también han circulado con normalidad. Los buses han cumplido con normalidad los mantenimientos regulares a los 5000 km y 10000km.

Los cargadores han operado con normalidad, sin embargo, en repetidas ocasiones se han disparado las protecciones eléctricas de los cargadores sin motivo aparente. El ICE ha inspeccionado la situación y no ha encontrado ninguna avería. Las anomalías de los cargadores han sido solucionadas reiniciando las protecciones sin mayor inconveniente. Según información del ICE, no hay ningún motivo aparente por el cual se activen las protecciones de los cargadores.

Los buses típicamente han operado 6 días de la semana, alternando entre ellos sábado y domingo. Operan la totalidad del día, con 2 conductores por jornada de trabajo. El periodo de carga es de 1 a 2 horas entre las 11pm a 4am, este tiempo es suficiente para que inicien la operación con un 100% de la batería. Al finalizar el día la batería queda con un 54% del estado de carga total.

Entre los 2 buses eléctricos, durante los meses de marzo, abril, mayo y junio:

- Se transportaron más de 110000 pasajeros han sido movilizadas, un promedio de 523 pasajeros por día
- Han recorrido más de 31000 kilómetros, cada bus recorrió un promedio de 147 km por día operado.
- Los buses se desplazan a un promedio de 11.86 km/h, con un índice de pasajeros por kilómetro (IPK) de 3.71.
- Los buses eléctricos que operan en la ruta tienen un rendimiento de 0.92 kWh/km

En las unidades diésel, durante el mismo periodo se observó:

- El consumo promedio de las unidades diésel es de 81.70L de combustible por día.
- Considerando la distancia recorrida y el consumo, el rendimiento Promedio de los buses diésel ha sido de 0.55L/km.
- El costo de la operación de los buses eléctricos es más de 5 veces menor que la de los buses diésel.

Según los comentarios recibidos por la empresa operadora por parte de los pasajeros y los conductores la percepción ha sido muy positiva. Los operadores mencionan la comodidad y facilidad de operación., mientras que para los pasajeros mencionan la operación silenciosa como atractivo.

Grafico 1. Pasajeros transportados mensualmente por las unidades monitoreadas

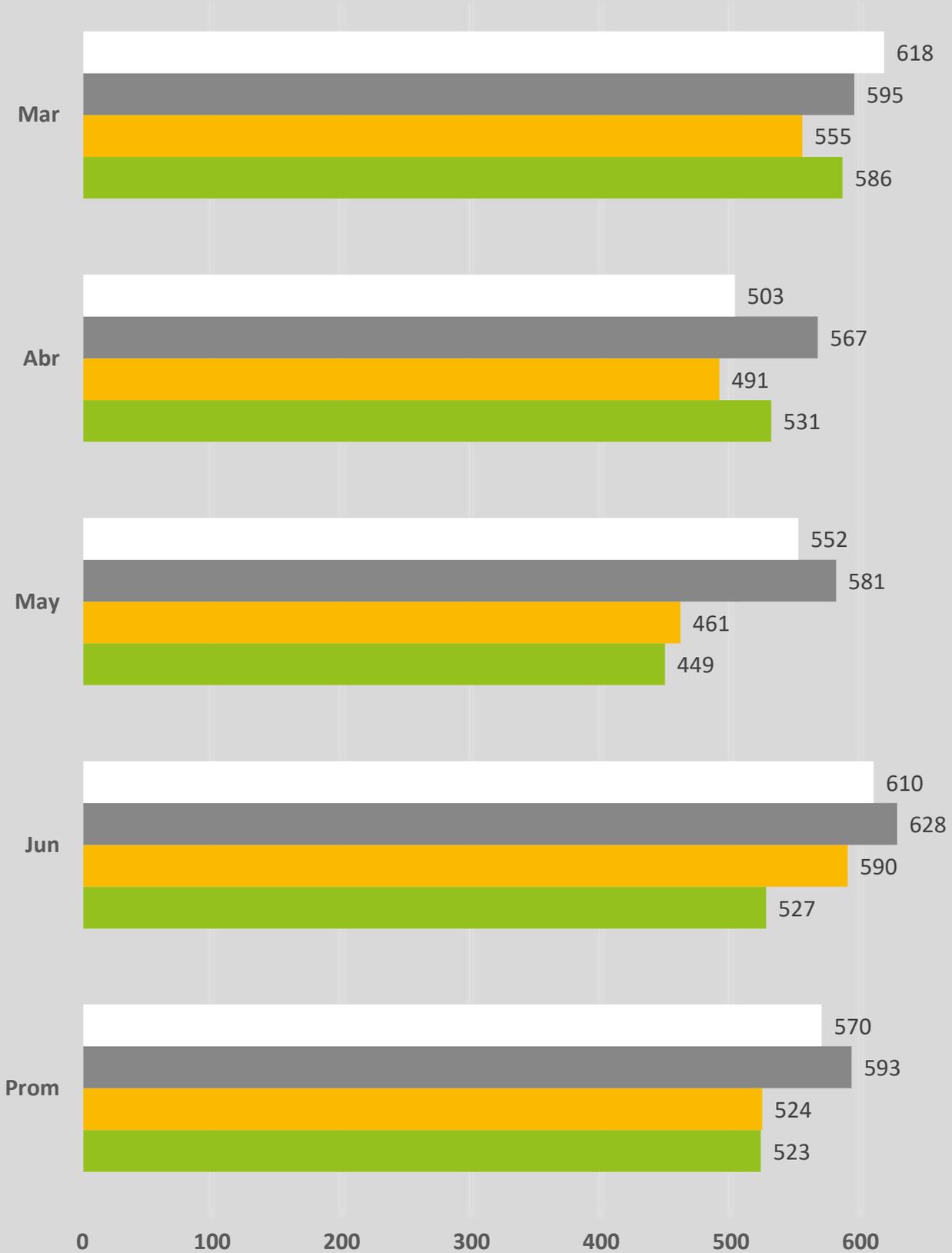
fuelle: Elaboración propia

■ Buses Diésel 2

■ Buses Diésel 1

■ Bus Eléctrico 2

■ Bus Eléctrico 1



Pasajeros

Un dato importante de la observación era monitorear la cantidad de pasajeros transportados por los autobuses eléctricos en comparación con los buses espejos diésel, para poder observar si existía un impacto en las estadísticas por el efecto “novedad” de los buses eléctricos.

El principal problema con estas mediciones fueron las restricciones impuestas por el CTP sobre el transporte público en respuesta al COVID19, limitando la cantidad de pasajeros de pie, (o prohibiéndolo por completo) fue la cantidad de asientos en los buses. Los buses eléctricos son piso bajo con una cantidad menor de asientos (35 asientos) con respecto al diésel que son piso alto (50 asientos), por lo que la capacidad máxima de los buses eléctricos se vio limitada.

Durante la primera mitad del año 2021, la cantidad de pasajeros no sólo se vio afectada por las medidas en el transporte público sino por la apertura económica del gobierno de Costa Rica asociada al estado de la pandemia. Durante el mes de marzo se presentó una baja cantidad de contagios mientras que en mayo y junio se presentó el “pico” de contagios. Las medidas, una menor motivación a salir y el aumento de personas en teletrabajo o trabajo remoto, hacen que los datos de pasajeros presentados en la gráfica 1 sean difíciles de analizar fuera de contexto.

Si bien es cierto el número de pasajeros mes a mes no tiene ningún patrón debido a los temas relacionados a la pandemia, la relación entre la cantidad transportada entre los buses diésel y eléctricos si nos arroja conclusiones.

En la gráfica 2 se agrupan los pasajeros transportados entre semana y fines de semana, por los buses eléctricos y los buses diésel. Tanto en estos datos como en la gráfica 1 se observa que si bien los buses eléctricos transportaron menos pasajeros la relación con respecto a los buses espejo fue constante a través de los meses o las variaciones de los días de la semana.

Esta información nos indica que los buses se comportaron como uno más de la flota y la disminución en los pasajeros transportados obedece en gran medida a la menor cantidad de asientos disponibles. No fue posible percibir un aumento o disminución en la afluencia de pasajeros en la ruta debido a que factores de mayor peso relacionados a la pandemia afectaron el comportamiento regular de los pasajeros transportados en la ruta 70.

Gráfica 2. Pasajeros transportados mensuales promedio en días laborales vs fines de semana

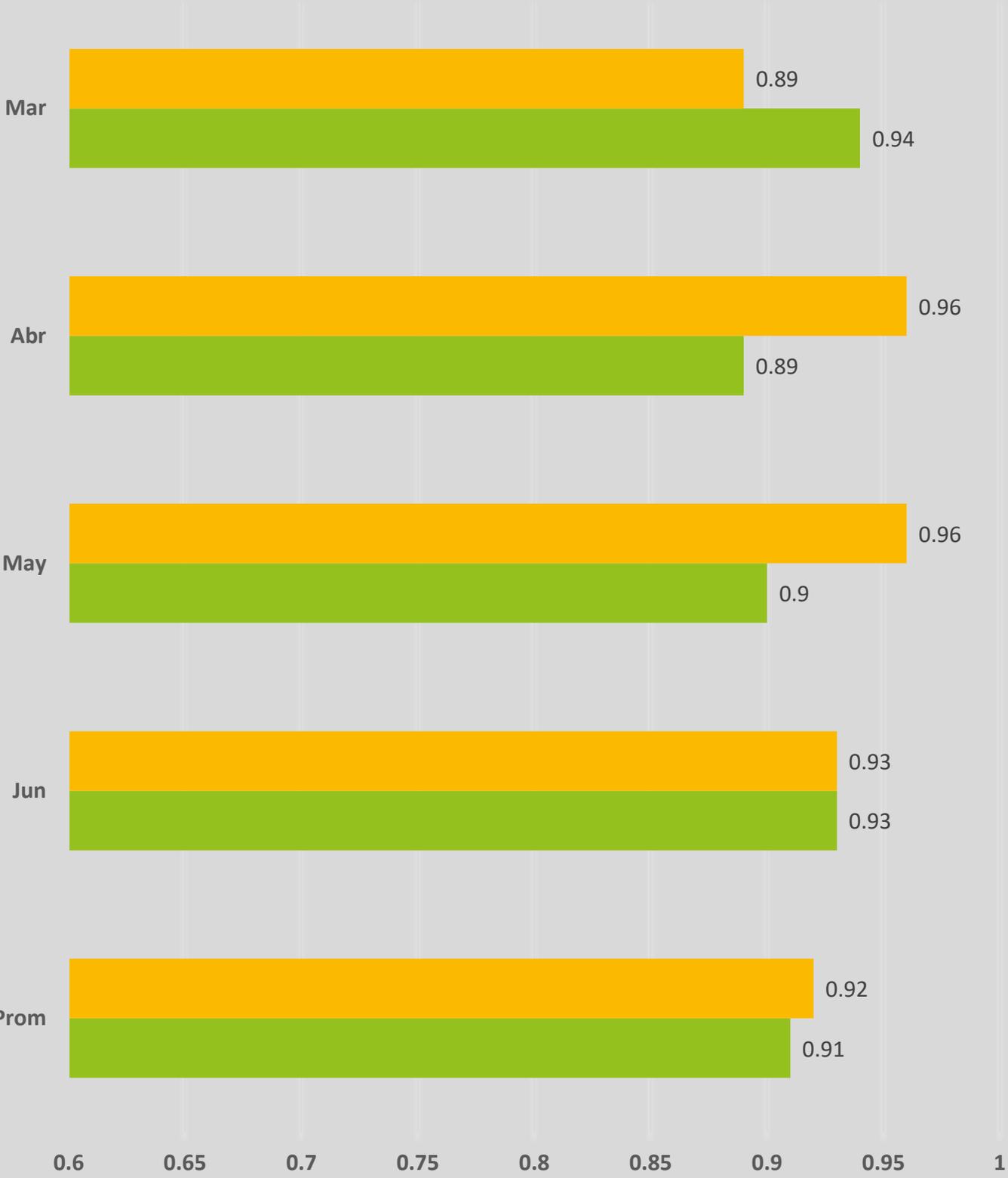
fuelle: Elaboración propia



Gráfica 3. Consumo específico de energía promedio para los buses monitoreados

fuelle: Elaboración propia

Bus Eléctrico 2
Bus Eléctrico 1



Desempeño Energético

Uno de los aspectos más importantes en el análisis de este proyecto piloto es el rendimiento de los vehículos, que tan eficientemente consumen la energía es crítico para determinar la viabilidad de la electrificación del transporte público.

Estos resultados obedecen a una serie de condiciones específicas que no necesariamente pueden replicarse y que deben entenderse en el contexto del piloto, si bien es cierto son un indicador importante del rendimiento de los buses eléctricos en las rutas urbanas del área metropolitana de San José, cada ruta debe ser vista como un caso particular.

Según se muestra en la gráfica 3, el promedio de desempeño de los 2 buses eléctricos que participaron en las pruebas fue de 0.92 kWh/km, el valor máximo registrado fue de 1.2 kWh y el mínimo de 0.72 kWh. Un rendimiento que consideramos de acuerdo con lo esperado y alineado con los resultados de otras operaciones de buses eléctricos en Latinoamérica

Los buses BYD K9 cuentan con una batería de 270 kWh y terminaban sus recorridos diarios de entre 140km-160km con un poco más de la mitad de la batería (54% en promedio), si bien es cierto que la descarga de una batería no es lineal, la cantidad da un grado de confianza aceptable a la autonomía propuesta de fábrica de 250km por carga. Debido al tiempo sobre el cual se monitoreo los buses no se pudo identificar degradación en la batería.

Un tema que generaba un interés importante era si el rendimiento de los buses aumentaba conforme los conductores se familiarizaban con la unidad y se ganaba experiencia, mejorando características como el freno regenerativo. Durante el proyecto se capacitaron a varios conductores de la empresa y 8 de los conductores capacitados operaron los 2 buses durante los 4 meses.

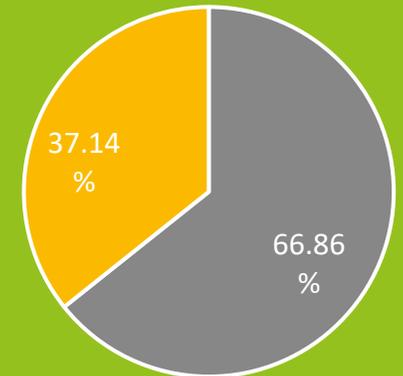
No hubo una mejoría (o empeoramiento) notable en el rendimiento del bus con el tiempo durante el periodo analizado en ninguna de las 2 unidades. El porcentaje de energía regenerada durante el piloto se mantuvo relativamente constante durante todo el proyecto rondando el 37% de la energía neta utilizada por las unidades eléctricas en la ruta 70.

En los recorridos realizados en la ruta de San José-Desamparados-Aserrí si se observó un mejor porcentaje de regeneración, como se observa en la gráfica 5. Esta mayor regeneración provocó un desempeño de 0.82 kWh/km en esta ruta.

En operaciones con varios conductores por autobús, el terreno y las características de la ruta tienen un mayor impacto sobre el rendimiento que los patrones de conducción.

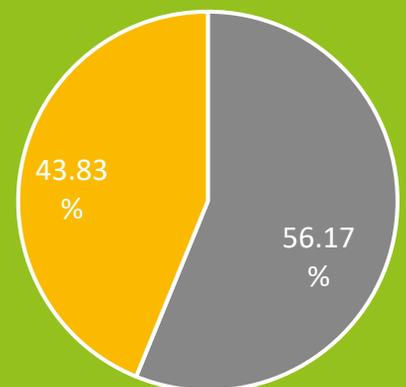
Gráfica 4. Porcentaje de energía regenerada promedio por las unidades eléctricas en el ramal San José-San Rafael

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 5. Porcentaje de energía regenerada promedio por las unidades eléctricas en el ramal San José-Aserrí

Fuente: Elaboración propia



- Consumo de energía neta en operación (KW/h)
- Energía Regenerada en operación (KWh)

Emisiones

Las emisiones GEI de los buses en estudio se presentan en la gráfica 5, donde se comparan los buses diésel con los eléctricos. Cada día que opera un bus diésel se generan más de 269 kg de CO₂, mientras que los buses eléctricos no producen ni una centésima parte de esa cantidad. Esta situación se ve sumamente favorecida por las condiciones de la matriz de generación eléctrica de Costa Rica ya que su producción es casi en su totalidad realizada con fuentes renovables.

Este cálculo de emisiones corresponde únicamente al aspecto operativo del vehículo, asociadas al consumo de diésel y energía. Un análisis de ciclo de vida de emisiones es una herramienta más adecuada para comparar la totalidad del impacto de los buses sobre la emisión de GEI, sin embargo, según datos de ARESEP y CTP existen casi 5000 unidades de buses en el transporte público autorizado. El impacto en la mitigación de emisiones al electrificar el sector transporte es significativo.

El material particulado es un problema que se tratado de mejorar a través de las regulaciones de motores, si bien es cierto los motores EUROV han disminuido notablemente la cantidad de material particulado liberado. La cantidad de vehículos, especialmente transporte pesado y autobuses que ingresan al centro de las ciudades de la GAM es elevado, lo que impacta directamente la calidad del aire, y por ende la salud de los ciudadanos.

Gráfica 6. Emisiones de CO₂ de la operación de los buses monitoreados

Fuente: Elaboración propia



Recarga

Las estrategias óptimas de recarga dependen del tipo de operación e incluso el modelo de transporte público, en el caso de Costa Rica es difícil implementar cargadores rápidos en paradas o terminales ya que estas suelen ser de dominio público mientras que la operación de los buses es una concesión privada.

Los 3 autobuses parte del piloto se cargan a través de un cargador de 80 kWh trifásico en corriente alterna provisto por el fabricante. En el planeamiento del piloto se escogió este tipo de cargadores para aprovechar el espacio de tiempo una vez que terminan su ciclo de operación en el día considerando que su autonomía les permite operar en las rutas seleccionadas con una sola carga durante el día.

En el caso particular de Autotransportes Desamparados, el lapso donde se pueden cargar las unidades es de 11:00pm a 04:00am para estar listas antes de que comience la operación regular de la ruta. El tiempo que registran los buses para alcanzar una carga completa a partir de la energía restante al final del día es completamente compatible con el tiempo en el que no operan los buses. Según el monitoreo de los cargadores la potencia máxima que solicitan a la red eléctrica es de aproximadamente 89 kW, ligeramente por encima de la especificación del fabricante.

En la tabla 1 se presenta que el tiempo de carga promedio para llevar a los buses de nuevo a un 100% del State of Charge (SOC) luego e un día de operación es 01:48 horas, considerando que la ventana de tiempo que tienen disponible los buses para poder ser cargados y el hecho de que no parten de 0 en el proceso de recarga, es claro no existe necesidad de un cargador por bus, especialmente en flotillas numerosas y que las estrategias de optimización de despacho de los cargadores pueden disminuir la potencia máxima requerida en la recarga. El porcentaje objetivo de la recarga puede ser distinto dependiendo de la autonomía objetivo y de las buenas prácticas para reducir la degradación de la batería-

También al comparar la energía entregada por los cargadores con la energía empleada por el bus, tanto en conducción como en ralentí (cuando se encuentra detenido) mostrada en la gráfica 7 se observa una diferencia producida por el frenado regenerativo. Un mejor uso del frenado regenerativo implica una disminución en la electricidad requerida por la unidad en el momento de recarga y, por lo tanto, una disminución en el tiempo requerido para la carga del autobús.

Tabla 1. Datos promedio diarios asociados al proceso de recarga de las 2 unidades eléctricas

fuelle: Elaboración propia

Porcentaje de Carga al finalizar el día

54%



Tiempo de Carga

01:48



Energía Entregada

145.94



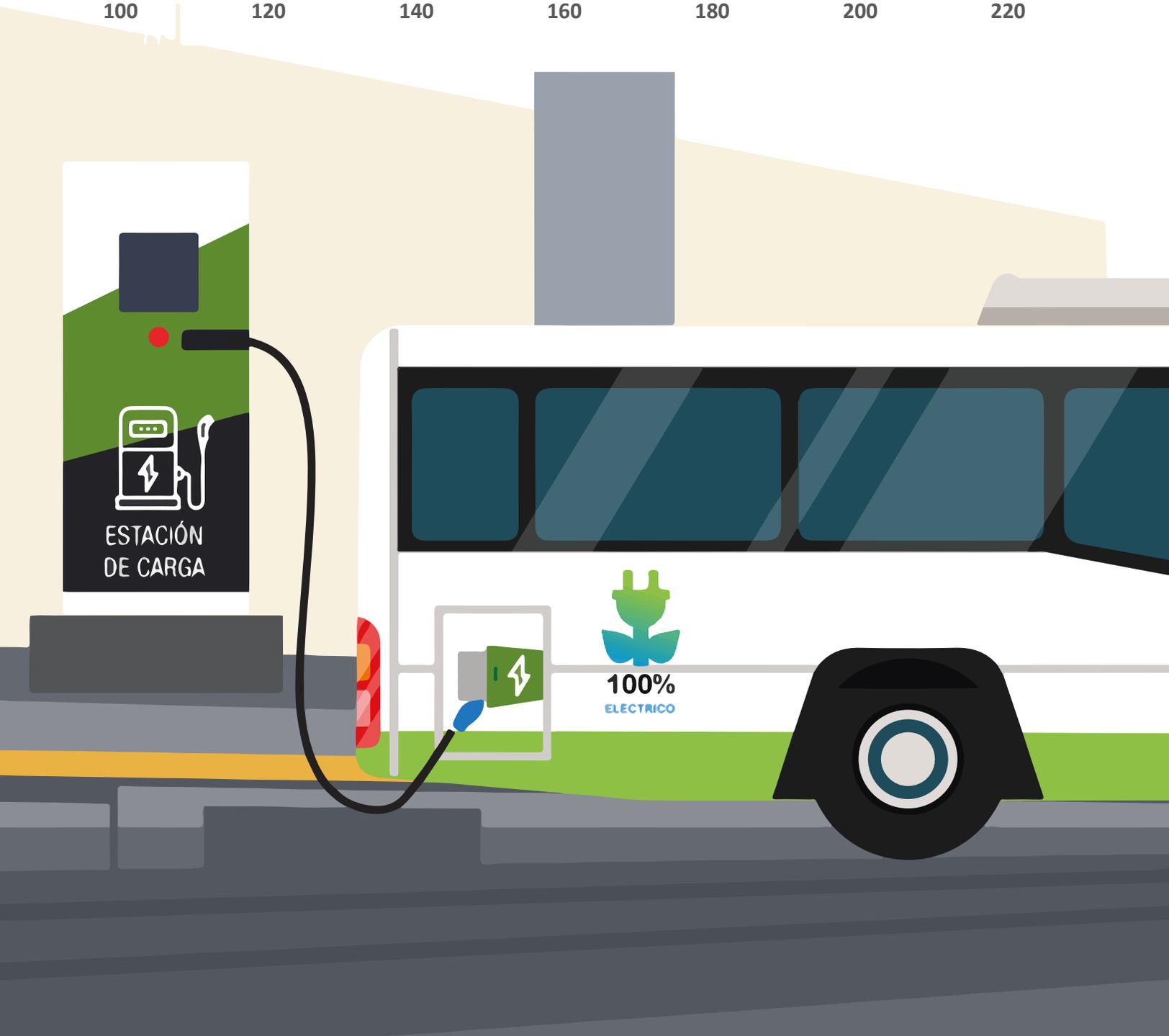
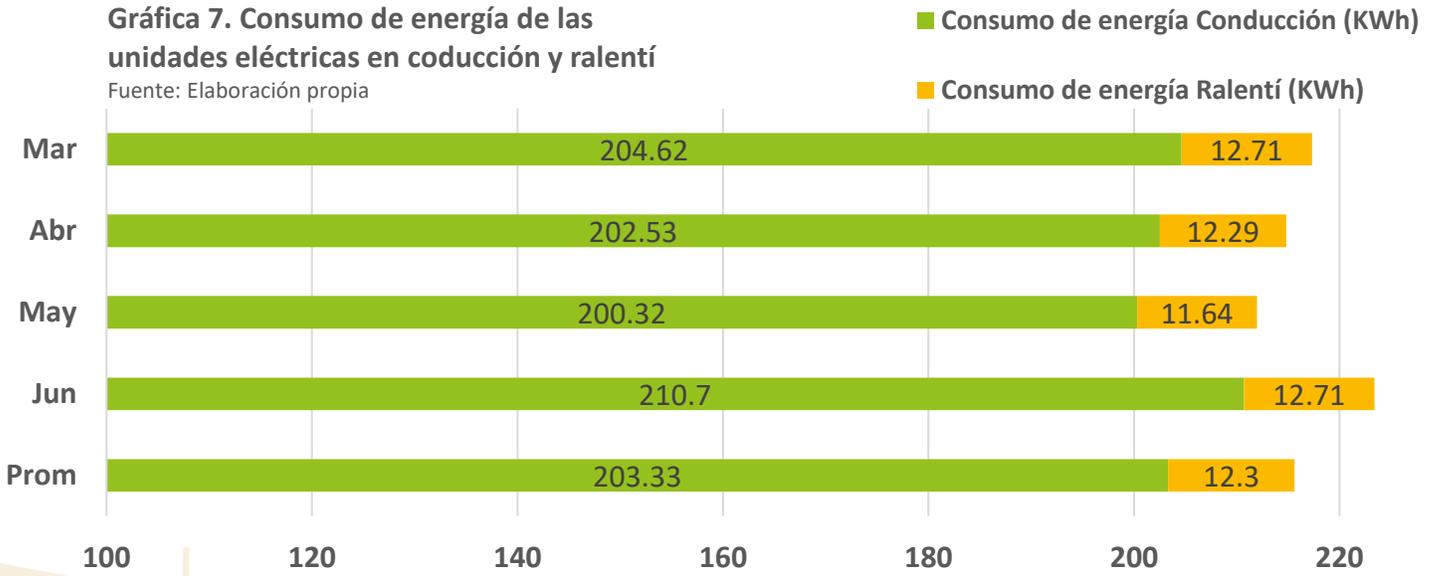
% de batería consumido por kilómetro recorrido

0.33%



Gráfica 7. Consumo de energía de las unidades eléctricas en conducción y ralentí

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 8. Costo de operación promedio diario por mes asociado al combustible o energía de los buses monitoreados

Fuente: Elaboración propia

■ Buses Eléctricos
■ Buses Diésel



Costo de energía y combustible

En el caso de la electricidad, para incentivar el uso de vehículos eléctricos en el transporte público, a finales del 2020 ARESEP fijó la tarifa promocional por 2 años para el suministro de energía eléctrica en los centros de recarga ubicados en plantel para autobuses eléctricos (T-BE). Esta es una tarifa monómica de ₡57.08 por kWh (más el 13% del IVA).

Esta tarifa es un impulso a la creación de regulaciones que contemplan la electromovilidad, sin embargo, no es una tarifa definitiva. Debido a que sólo contemplan el consumo de energía y no incluye la potencia máxima en su estructura, puede generar problemas para reconocer a las empresas distribuidoras las inversiones realizadas en infraestructura.

Los costos asociados a la recarga de los buses eléctricos, así como el combustible de los buses diésel se presentan en la gráfica 8. Estos costos únicamente comprenden estrictamente la electricidad utilizada por los cargadores, el costo del diésel y el aditivo para diésel, Adblue.

En la gráfica 8 muestra que en promedio el costo de energía para operar un bus eléctrico en un día es de ₡8,808.16, mientras que el costo en combustible diésel para operar un bus convencional durante un día es de ₡45,872.87.

Los resultados de estos costos normalizados por kilómetros se presentan en la gráfica 9, donde se muestran en dólares (con el tipo de cambio de \$1=₡621, representativo para junio 2021) para mayor facilidad de comparación en un contexto internacional. El costo por kilómetro de un bus diésel es de \$0.51 mientras que el de un bus eléctrico es \$0.10.

Los datos arrojan una clara ventaja en los costos de los buses eléctricos con respecto a los buses diésel de más de 5 veces. Esta tendencia es de esperar ya que el costo de la energía eléctrica es mucho menor al del combustible.

Si bien es cierto, típicamente la electricidad tiene un menor costo que el diésel, la diferencia entre ambos puede aumentar o disminuir dependiendo de la tarifa eléctrica. Los beneficios económicos de la electrificación del transporte público están directamente relacionados con el precio del diésel/gasolina y el costo de la energía eléctrica.

Durante el periodo de las pruebas el costo del diésel por litro aumentó en varias ocasiones, pasando de ₡504 en febrero a ₡593 en junio, este aumento impacto los costos de operación para los buses diésel del piloto de forma no despreciable.

Gráfica 9. Costo de operación promedio por kilómetro asociado al combustible o energía de los buses monitoreados

Fuente: Elaboración Propia



Ruta 200: San José – Alajuela – por INVU

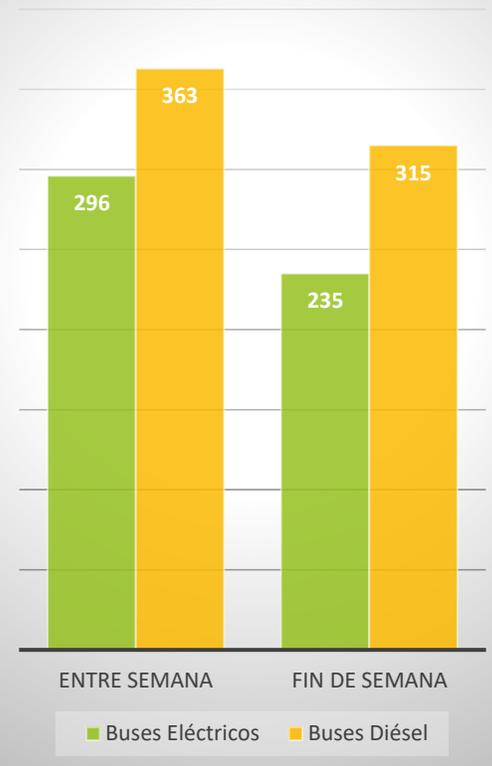
Los resultados de las dos primeras semanas en la ruta 200 operada por TUASA son resultados preliminares puesto que aún no se han finalizado los 4 meses de operación total en la empresa operadora, por lo que estos resultados no representan la constante de operación.

Los buses típicamente operaron los 7 días de la semana, incluyendo sábados y domingo, se aprecia una diferencia grande en cuando a los pasajeros transportados por los vehículos diésel, esto debido a la cantidad de sillas disponibles en dichas unidades versus la cantidad de sillas disponibles en la unidades eléctricas, toda esta situación se da, como es bien conocido, por las condiciones de pandemia que existen en la país y que impiden que los vehículos de transporte público lleven mayor ocupación, situación similar se vivió en la operación de la ruta anterior.

Los vehículos operan la totalidad del día y se inició con una operación conservadora, realizando 4 carraras al día llegando a 190 kilómetros diarios por bus, en promedio. Esta cantidad de kilómetros permitía ir conociendo el desempeño de los vehículos y de los conductores y controlar la operación. Después de una semana de operación bajo estas condiciones y viendo que la operación era ya estable, y sobre todo, revisando el porcentaje de carga con el que los buses regresaban al plantel al final de la operación, el equipo técnico decidió incrementar una carrera en la operación, esto significo un aumento de 45 kilómetros diarios por bus llegando a 235 kilómetros al día. Con estas condiciones de operación los vehículos están regresando al plantel con una carga de la batería entre el 31% – 34%, en alguna ocasión regresó un vehículo con una carga del 28%, debido a esta condición carga se tomó la decisión de no realizar más carreras al día, dejando entonces el kilometraje diario en 235 kilómetros aproximadamente, ya que en cada carrera la batería se descarga un 15% aproximado y esto dejaría la batería por debajo de 20% condiciones no recomendada por el fabricante BYD. El periodo de carga es de 2:00 a 2:30 horas entre las 8:00pm a 12:00am, este tiempo es suficiente para

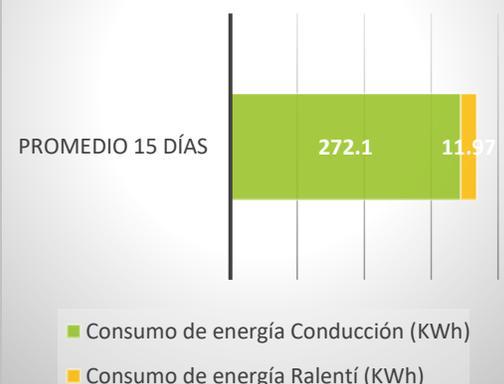
Gráfica 10. Pasajeros transportados semanal promedio en días laborales vs fines de semana

fuelle: Elaboración propia



Gráfica 11. Consumo de energía de las unidades eléctricas en conducción y ralentí

Fuelle: Elaboración propia



En la tabla 2 se presenta que el tiempo de carga promedio para llevar a los buses de nuevo a un 100% del State of Charge (SOC) luego de un día de operación es 02:38 horas, considerando que la ventana de tiempo que tienen disponible los buses para poder ser cargados y el hecho de que no parten de 0 en el proceso de recarga, es claro que no existe necesidad de un cargador por bus, especialmente en flotillas numerosas y que las estrategias de optimización de despacho de los cargadores pueden disminuir la potencia máxima requerida en la recarga. El porcentaje objetivo de la recarga puede ser distinto dependiendo de la autonomía objetivo y de las buenas prácticas para reducir la degradación de la batería.

También al comparar la energía entregada por los cargadores con la energía empleada por el bus, tanto en conducción como en ralentí (cuando se encuentra detenido) mostrada en la gráfica 12 se observa una diferencia producida por el frenado regenerativo. Un mejor uso del frenado regenerativo implica una disminución en la electricidad requerida por la unidad en el momento de recarga y, por lo tanto, una disminución en el tiempo requerido para la carga del autobús.

Gráfica 12. Porcentaje de energía regenerada promedio por las unidades eléctricas en el ramal San José - Alajuela por INVU

Fuente: Elaboración propia

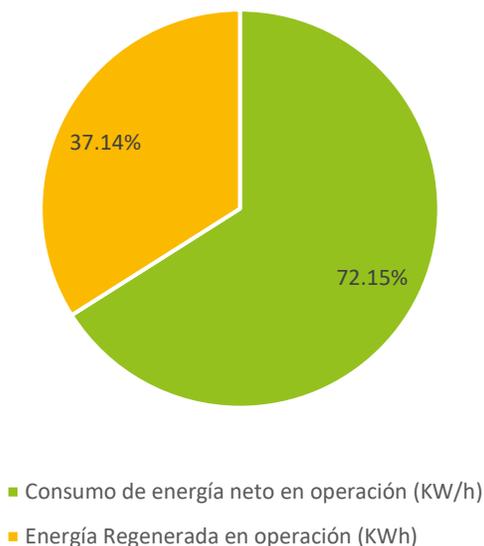


Tabla 2. Datos promedio diarios asociados al proceso de recarga de las 2 unidades eléctricas

fuentes: Elaboración propia

Porcentaje de Carga al finalizar el día

27,89%



Tiempo de Carga

02:38 horas



Energía Entregada

212.95

% de batería consumido por kilómetro recorrido

0.31%



8/ Tratamiento de baterías

Revisión de normativas internacionales de baterías de vehículos eléctricos.

Cada política de promoción de VEs debe venir con regulaciones estrictas para la disposición de las baterías de Litio. Aun así, en varios países existen normativas y facilidades técnicas que no se cumplen en la mayoría de los casos. En los casos de las baterías de los dispositivos móviles, hay desinformación por parte del usuario final sobre como disponer adecuadamente y no hay sanciones. También resulta más económico, exportar residuos electrónicos, incluyendo baterías, a países en desarrollo y con regulaciones más laxas.

Pero con creciente adopción de vehículos eléctricos en el mundo, también surge la necesidad de ajustar las normas existentes. Los siguientes países han dado algunos avances en cuanto a su normativa.

China

En China regulaciones sobre la segunda vida de las baterías de VEs se han vuelto más claras y estrictas en los últimos años. El Ministerio de Industria y Tecnología de Información (MIIT) en el 2018, publicó una serie de medidas provisionales que fortalezcan la gestión del reciclaje o uso estacionario de las baterías. Estas medidas requieren que los fabricantes establezcan canales para reciclaje de las baterías, así como el establecimiento de puntos de recolección. Estos mecanismos son similares para la responsabilidad extendida del productor. Además, requieren que las baterías sean rastreables, para asegurar que se les dé el tratamiento adecuado y en el caso de que no sea así, saber quién es responsable. Sin embargo, no hay sanciones para los fabricantes en el caso de incumplimiento. Otra de las medidas provisionales es promover la estandarización de las baterías, para hacer los procesos de reciclaje más simples y por ende, más rentables. Finalmente, se estableció una lista con cinco fabricantes, que cumplen los estándares requeridos y se les puso en una lista prioritaria. Aún con todas estas regulaciones, el negocio del reciclaje de baterías de litio debe crecer aún.¹

Sin embargo, según el estudio de Avicenne Energy del 2018, con todas las regulaciones en pie, el reciclaje de baterías de litio de vehículos en China aún deja que

¹ Avicenne Energy 2018

desear. Suceden desarmes de forma ilícita y bajo procedimientos no estandarizados. Además, las empresas que existen se niegan a dar información fidedigna; esperan que el gobierno les de subsidios para aumentar su margen de ganancia. Se espera que si se den otros tipos de incentivos iniciales para hacer el negocio del reciclaje más atractivo.

Unión Europea

La disposición de las baterías de Litio en la UE, es regulado por la Directriz de Baterías del 2006. Básicamente, se asegura que cada productor o distribuidor de baterías, cumpla con su responsabilidad extendida. La responsabilidad extendida del productor hace responsable hasta el final de su vida, al productor de la batería – indiferentemente de si tuvo una segunda vida o no. En el 2017, una comisión revisó esta directriz de forma extensa para evaluar los efectos obtenidos hasta la fecha y asesorar necesidades futuras. Si bien la directriz ha sido acogida en los países miembros y ha tenido resultados positivos, se encuentra que solo un 56% de las baterías son recicladas o dispuestas de la forma en la que dicta la directriz.

Sumado a la evaluación de impactos, el estudio debía definir si la directriz era suficiente para cubrir el reciclaje de las baterías de los vehículos eléctricos. El resultado dio, que, para la mayoría de los países miembros, se debían hacer adiciones para incluir las baterías de vehículos eléctricos por su tamaño y por ende, su potencial. Se hicieron ajustes para incluir metales como cobalto y se establecieron nuevas metas para el porcentaje de la batería que se tenía que reciclar. Otros cambios incluían fondeo para el financiamiento del reciclaje, etiquetado de las baterías, mecanismos para incluir otros químicos dentro de la directriz entre otros.

La revisión de la directriz revisa que en cada país miembro de la UE haya canales para la recolección, el transporte y el acopio adecuado para las baterías. En Austria, por ejemplo, las baterías usadas se recolectan en puntos establecidos por las municipalidades. En Alemania, se obliga a los distribuidores de vehículos, recibir las baterías usadas.²

Otra función importante con la que cumple la comisión es posicionar a la Unión Europea como un líder en la industria de las baterías en el corto plazo – también para reducir la dependencia de la importación de recursos escasos como el litio y el cobalto. Es en este sentido que se crea la Alianza Europea de Baterías – una alianza público-privada para asegurar la competitividad y capacidad de Europa también en esta área, por medio de un completo plan de acción con dieciocho ejes estratégicos que van desde asegurar la cadena de valor para la producción, fortalecer la investigación y el desarrollo, educar a la población, entre otros.³

² Comisión Europea, 2018

³ <https://www.eba250.com/actions-projects/priority-actions/>

Especialmente para la investigación y la innovación, también sobre otros materiales alternativos para las baterías, se colocaron fondos específicos.

La misma Alianza también trabaja sobre estándares que deben tener las baterías que se importen, no solamente con respecto al rendimiento o eficiencia mínima, sino también sobre temas éticos y estándares ambientales relacionados con la materia prima para fabricar la batería.⁴ También da la pauta en cuanto a los estándares para el reciclaje de las baterías, así como para la segunda vida.

Estados Unidos

Estados Unidos tiene una serie de estándares voluntarios para baterías. Además, hay reglas específicas para el transporte de baterías que contengan litio. En cuanto al uso de las baterías después de su vida útil en el vehículo, las regulaciones cambian con respecto al estado. Hay algunos que le apuestan a la “segunda vida” en aplicaciones estacionarias, así como otros que pretenden fomentar el reciclaje de los metales escasos. Otros se apoyan sobre el modelo de la Responsabilidad Extendida del Productor.⁵

Chile

En Chile, tal y como en Europa, para las baterías aplica la Responsabilidad Extendida del Productor. Sin embargo, actualmente se está revisando la ley para extenderla y atender las necesidades de reciclaje en un corto plazo.⁶

Normativa en Costa Rica: Situación Actual, Actores involucrados y Ajustes a futuro

Situación Actual

En Costa Rica las referencias en este tema son el Reglamento General a la Ley para la Gestión Integral de Residuos (Decretos No. 37567, 37788) del Ministerio de Ambiente, Energía y el Ministerio de Salud de Costa, la ley en sí misma (Ley para la Gestión Integral de Residuos No. 8839) y en menor medida La Estrategia Nacional de Separación, Recuperación y Valorización de Residuos (ENSRVR) 2016-2021. En estos documentos se incluye las baterías de ácido-plomo, carbón manganeso, carbón-zinc, litio cadmio, litio y zinc, los

⁴ Comisión Europea. 2019

⁵ Linklaters, 2018

⁶ Valenzuela, et al., 2019

vehículos automotores y equipo especial (todas las partes que componen el vehículo, eléctrico o de combustión interna) como un residuo especial.

Según el artículo 4 de este reglamento sobre la responsabilidad extendida del productor se indica que “De acuerdo con el artículo 42 de la Ley N° 8839, el productor o importador de bienes cuyos residuos finales están incluidos en el Anexo I de este reglamento, en conjunto con la cadena de responsabilidad, debe ofrecer opciones para asegurar la recuperación de dichos residuos y reducir así la cantidad que llegue a los sitios de disposición final. Lo anterior se realizará por medio de las Unidades de Cumplimiento.” La ley también regula el movimiento transfronterizo de residuos declarados de manejo especial, con distintos procedimientos según el tipo de residuo.

La Ley N° 8839 dispone en los artículos 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56 y 57 una clasificación para las infracciones a la ley y su reglamento y las sanciones respectivas. Estos artículos autorizan al Ministerio de Salud para suspender, revocar o cancelar las licencias, los permisos y los registros necesarios para la realización de las actividades que hayan dado lugar a la comisión de la infracción. Estas sanciones se trabajan en conjunto con las inspecciones municipales que se realizan para corroborar las irregularidades investigadas.

El problema de este marco legal-normativo es que se excluyen algunos tipos de baterías de vehículos eléctricos, algunas de las cuales son ampliamente utilizadas en vehículos eléctricos y almacenamiento de energía. Al incluir los vehículos automotores como residuo especial (y por ende todas sus partes) no soluciona este problema ya que las baterías cuya química no está incluida como residuo especial pueden ser importadas y comercializadas para diversos propósitos.

Actores Involucrados

A partir de la información presentada anteriormente este informe quiere presentar una serie de recomendaciones para que sean analizadas por las autoridades a nivel nacional. Es necesario comenzar una discusión seria alrededor de los ajustes, cambios y adiciones normativas necesarias para afrontar los retos ambientales que presenta el futuro ante el país.

Se han identificado que los 3 principales actores que deben involucrarse en el proceso son:

- El Ministerio de Salud debido a su rol rector sobre temas de salubridad, política de gestión de residuos en conjunto con el MINAE y permisos de funcionamiento.
- Las Municipalidades al ser las responsables de la recolección y procesamiento de los residuos en los distintos cantones del país.
- Las empresas importadoras o productoras de baterías que al ser las que introducen el producto a Costa Rica son las que se verían afectadas por el concepto de responsabilidad extendida

Figura 1 . Actores clave en la gestión de residuos especiales



Debe existir una comunicación asertiva y cooperación entre estos actores para que estén claramente definidos los alcances legales, responsabilidades y limitaciones de cada uno de ellos. Es clave desarrollar estrategias enfocadas en distintas ventanas de tiempo con objetivos realistas pero progresivos. Las estrategias a corto plazo deben de ser aplicables bajo el marco normativo actual, mientras que estrategias a mediano y largo plazo posiblemente involucren distintos grados de intervención sobre la normativa, decretos o incluso leyes que regulan la gestión de residuos.

Inclusión de todos los tipos de almacenamiento electroquímico

Una de las principales falencias de la normativa de Reglamento General a la Ley para la Gestión Integral de Residuos (Decretos No. 37567, 37788) es que no incluye todos los tipos de baterías (recargables o no). El lenguaje utilizado debe ser lo suficientemente general y robusto para no quedar desactualizado con los rápidos cambios en la tecnología. Se recomienda sustituir a nivel normativo/legal las palabras “pilas” o “baterías” acompañados de las químicas utilizadas por el término más general “Sistema de almacenamiento de energía electroquímico”.

Aplicación de sanciones

Aunque existe todo un sistema estructurado de infracciones y sanciones, debe revisarse si los mecanismos de aplicación de estas sanciones son efectivos y expeditos. El ministerio de Salud y las Municipalidades deben trabajar en conjunto para mejorar la supervisión e inspección de los importadores/productores de baterías para verificar el cumplimiento de sus obligaciones.

Integración de INTECO para Unidades Certificadoras para los procesos de Segundo Vida

En el momento en el que un paquete de baterías termina su “primera vida” y se va a disponer para un segundo uso (donde posiblemente haya una venta de por medio) debe existir un ente que certifique que la batería que ha sido modificada, reconstituida, rearmada o intervenida de cualquier manera con el objetivo de que se desempeñe en una “segunda vida” cumpla con estándar mínimo de calidad. INTECO podría generar u homologar una norma técnica internacional que certifique el proceso de revisión de baterías. Los entes certificadores operarían aplicando esta norma técnica previamente definida bajo la dirección del ente rector. Este mismo proceso se puede replicar para las unidades de cumplimiento y su función de gestión de residuos o reciclaje.

Recomendaciones para ajustes de normativa

Los ajustes de normativa deben considerarse como puntos de inicio para una discusión entre las partes involucradas y no como una afirmación cerrada, la recomendación es que se discutan en una mesa técnica donde se puedan tener presente todas las opiniones de la mayor parte de los actores y que no se limite a los criterios de las instituciones estatales.

Una mejor definición de la Responsabilidad Extendida del Productor

Los vehículos usualmente tienen más de un dueño a lo largo de su vida útil. Es difícil exigir a un importador seguimiento de un bien que puede llegar a ser modificado al pasar por tantos propietarios o luego de una cantidad importante de tiempo. No es conveniente limitar la capacidad del propietario sobre sus bienes, sin embargo, es común que si no se siguen una serie de lineamientos los artículos pierden su garantía. Puede ser conveniente que el importador/productor tenga responsabilidad extendida por una cantidad de tiempo limitada bajo condiciones en las que el propietario del bien no intervenga el objeto sobre el cual se aplica la responsabilidad extendida (por ejemplo, que se desmonte la batería de un vehículo eléctrico para su uso como almacenamiento de energía en una casa) y exclusivamente sobre los productos que comercializa, una vez terminado este tiempo, el responsable de disponer de manera adecuada el residuo es el propietario del bien. Para que esto sea aplicable las municipalidades deben poner a la disposición de la ciudadanía puntos de recolección para este tipo de residuos.

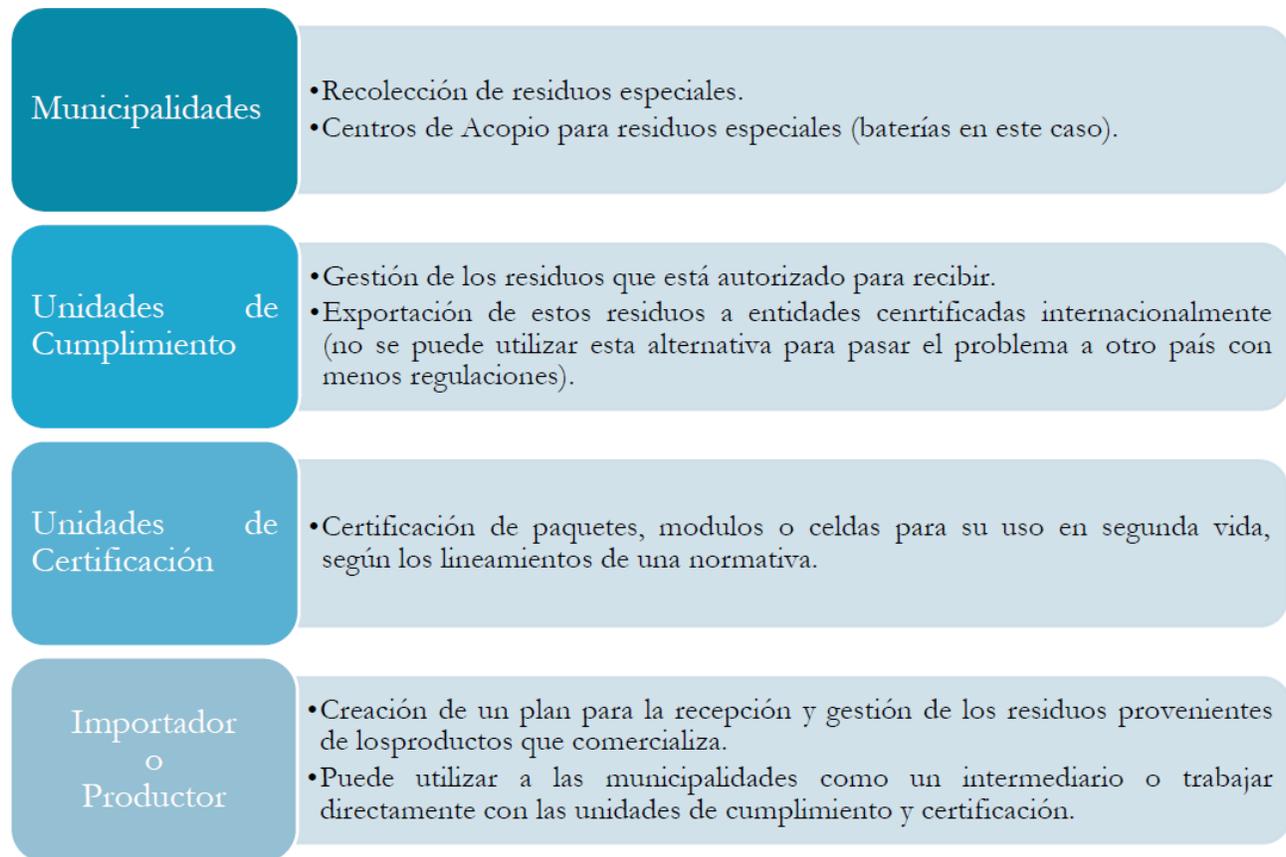
Las municipalidades como aliados estratégicos

Las municipalidades pueden funcionar como socios estratégicos de los importadores/productores, la ciudadanía, las unidades de cumplimiento y unidades certificadoras al ser los encargados de la recolección de los residuos, incluso podrían desarrollarse modelos de negocio alrededor de este proceso. Para esto las municipalidades deben brindar la infraestructura adecuada como centros de acopio para poder brindar este servicio.

Responsabilidades de los Actores

Basados en el marco legal actual y en los ajustes propuestos, es importante que las partes involucradas tengan claras las responsabilidades y competencias de cada uno de ellos para que puedan ser ejecutadas de la mejor manera posible. A continuación, presentamos un cuadro resumen los principales deberes de las municipalidades, antes del Ministerio de Salud (unidades de cumplimiento y unidades de certificación) y los importadores/productores de baterías.

Figura 2. Cuadro resumen de las distintas responsabilidades de los actores.



Está claro que el tema del manejo de baterías todavía presenta retos importantes incluso en países desarrollados con una infraestructura, logística y legislación de reciclaje de residuos de manejo especial bien establecida. El extenso trabajo de análisis de la Comisión Europea es testigo de lo mismo.

En una primera fase, se debe analizar el marco legal que regula el tratamiento de los residuos de manejo especial, así como el de residuos peligrosos. En el caso de Costa Rica, no está claro en qué categoría entrarían las baterías de litio. Luego se debe ajustar el marco legal. La experiencia de otros países dicta, que, para justificar estos cambios, se hace un análisis y una evaluación de la gestión de baterías de litio de otros dispositivos primero. En la mayoría de los casos, el resultado de esta es que los esfuerzos son deficientes- Costa Rica probablemente no sería la excepción.

En el caso de Costa Rica, con la implementación de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos y la Responsabilidad Extendida del Productor, la recolección y el tratamiento de residuos especiales ha aumentado. Hay empresas en el país certificadas para gestionar los residuos electrónicos de forma adecuada. Por lo general, recolectan baterías de portátiles en empresas y se les cobra. También hay campañas de recolección de electrónicos por parte de las municipalidades, sin embargo, estos residuos también dan al relleno sanitario. Tiendas de electrónicos como el Gollo, tienen programas de recolección como parte de su programa de responsabilidad social. No se les cobra a las personas por llevar sus residuos ahí. La tienda luego les paga a las empresas autorizadas por hacer la disposición correcta.

El estado costarricense debe generar estudios técnicos que determinen cual es la situación actual entorno al tratamiento de residuos especiales, esto permitiría definir líneas de trabajo más claras y precisar que áreas

necesitan especial atención. A través de organismos de cooperación internacional como la GIZ se pueden establecer alianzas clave que faciliten la comunicación y trabajo interinstitucional o que incluso puedan aportar financiamiento para estos procesos de investigación. Es imperativo generar la normativa adecuada y actualizada para manejar de forma eficiente la electrificación del transporte en Costa Rica.

9/ Ejemplos de modelos de adquisición de flotas eléctricas.



1. Experiencia en Montevideo – Uruguay

En el año 2013, en los meses de noviembre y diciembre, la Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas (UTE) mediante convenio con BYD auto inició pruebas operacionales en diferentes del Sistema de Transporte Metropolitano de la ciudad de Montevideo.

Ante los resultados positivos de dichas pruebas, el Gobierno Nacional a partir del año 2019 en Uruguay establece un **SUBSIDIO A LA COMPRA DE BUSES ELÉCTRICOS** para los operadores del Sistema de Transporte Metropolitano de la ciudad de Montevideo.

ARTÍCULO 349:

Facultase al Poder Ejecutivo a implementar en forma equitativa entre Montevideo y el resto de los departamentos un subsidio destinado a apoyar la transición inicial hacia tecnologías más eficientes y sostenibles en el transporte público colectivo de pasajeros a nivel nacional mediante la sustitución de hasta 4% (cuatro por ciento) de su flota de ómnibus con motor diésel por ómnibus con motorización eléctrica.

El subsidio estará dirigido a los operadores de transporte público colectivo de pasajeros de todo el país que tengan interés en realizar la sustitución de un ómnibus diésel por un ómnibus con motorización eléctrica

Estos subsidios se establecen a partir de la reglamentación de la [Ley 19.670, artículo 349](#), que como se puede observar busca superar el que hasta hoy es el máximo obstáculo expresado por los diferentes operadores como es el mayor costo de los autobuses eléctricos comparados con sus homólogos diésel euro VI.

- El subsidio está destinado a operadores regulares de transporte público de pasajeros de todo el territorio nacional.
- Busca la sustitución de hasta el 4% de la flota a nivel nacional.
- Cubre la diferencia de costos entre un bus eléctrico con su cargador y el de un bus diésel de similares características.
- El subsidio de abonará en cuotas mensuales iguales durante 7 años.
- Primera convocatoria abierta hasta para un máximo de 50 unidades.

2. Experiencia en Santiago de Chile

El primer paso dentro del proyecto de electromovilidad pública líder en la región fue en el año 2016, con una iniciativa en conjunto entre la Municipalidad de Santiago y ENEL para la puesta en funcionamiento del primer autobús eléctrico en Chile, prestaba servicio de acercamiento gratuito por el centro de la capital. Este servicio gratuito se realizó hasta finales del año 2017. A partir de agosto 2018 el bus se trasladó a la ciudad de Concepción entregando este servicio libre de costo para los pasajeros.

Estas experiencias dieron pie para que Enel X en conjunto con el Gobierno de Chile y MetBus, pusieran en marcha el proyecto “Buses eléctricos para el Corredor Grecia”.

En total, fueron 100 vehículos eléctricos los que fueron adquiridos por Enel X y son operados de forma permanente por la empresa Metbus en su recorrido 516, integrándose al electrocorredor de Avenida Grecia en Santiago de Chile.

La evolución de la implementación de autobuses eléctricos y su crecimiento lo podemos observar en la siguiente gráfica:



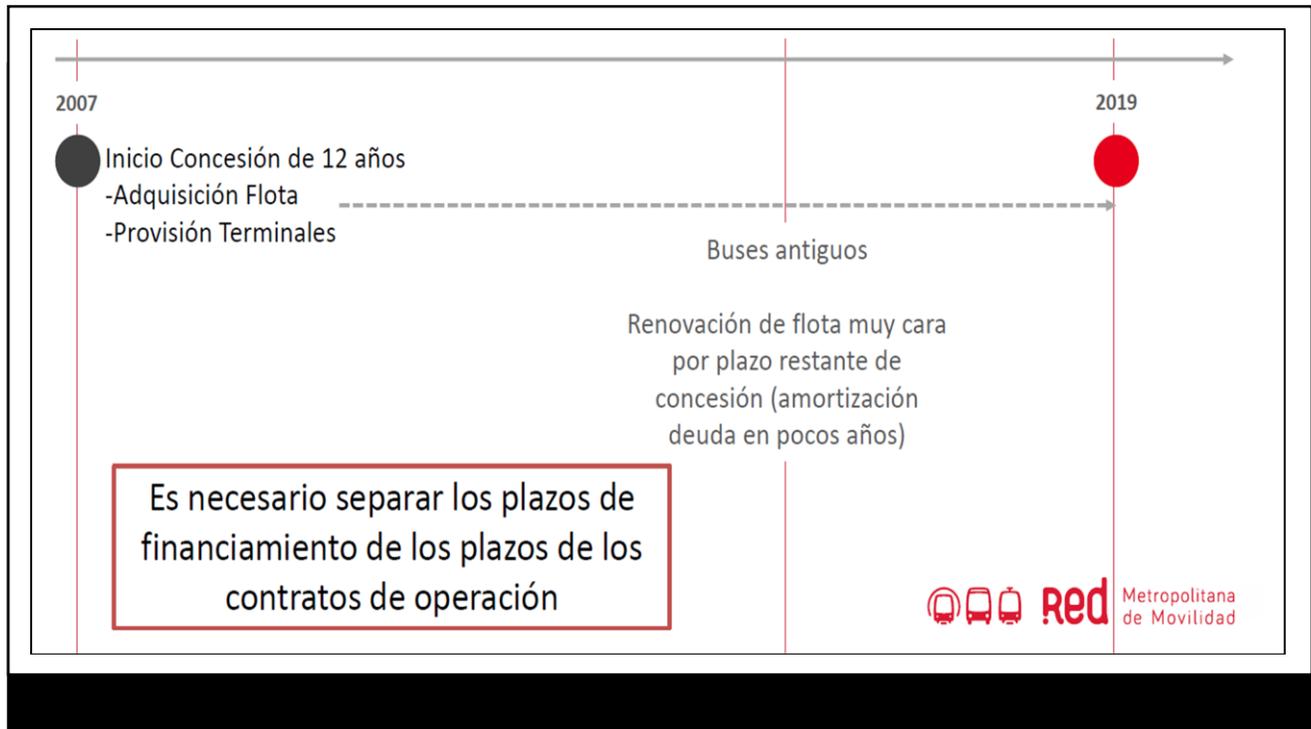
Figura 3 Modelo de Concesión Original de TRANSANTIAGO Fuente: BYD Chile.

Para poder dar este salto tecnológico dentro de TRANSANTIAGO, se incluyó dentro del modelo de gestión del sistema conformado por el ENTE GESTOR, EL operador del RECAUDO y los OPERADORES DE TRANSPORTE, por parte de la RED Metropolitana de Movilidad de una nueva figura, como es el CONTRATO DE PROVISIÓN.

Con este cambio los existentes operadores de transporte adelantan la obligatoria renovación de la flota que debían adelantar por contrato, por nuevos autobuses eléctricos. Puesto que esta renovación es muy costosa para el tiempo remanente de concesión, los CONTRATOS DE PROVISIÓN permiten superar esta dificultad, pues son de mayor plazo y el estado/Ente gestor se obliga a traspasar los autobuses y los contratos a un nuevo operador.

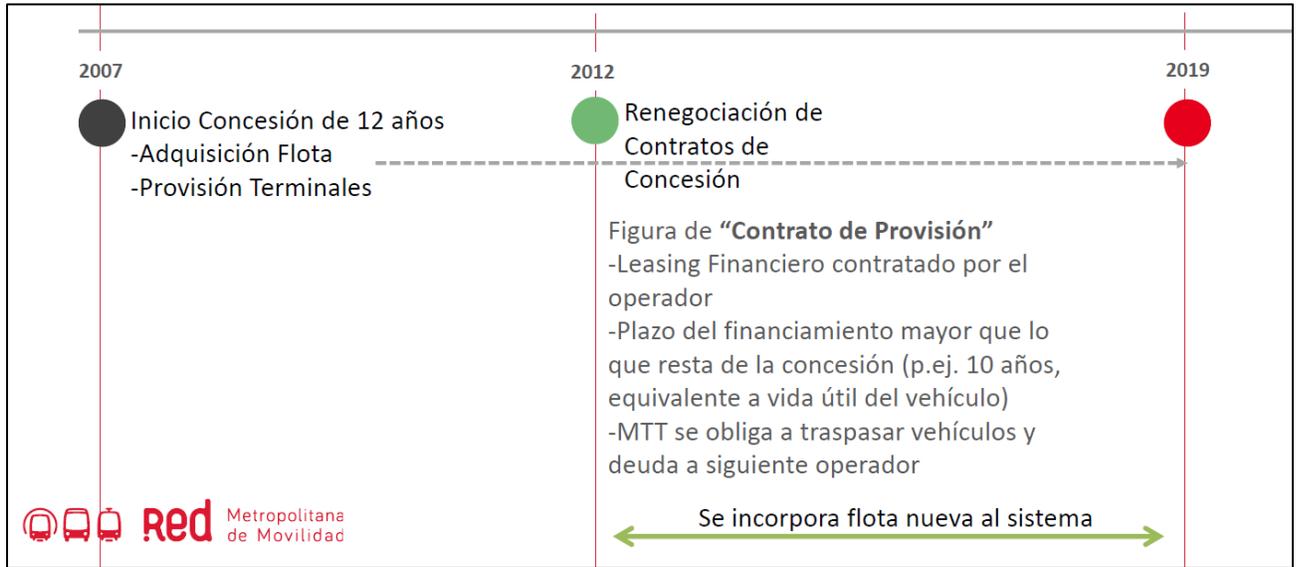
Para el caso Chileno estos CONTRATOS DE PROVISIÓN son suscritos entre los operadores de transporte (Privados) y las empresas de energía que junto con los autobuses y cargadores son también los encargados del suministro eléctrico.

Figura 4 Modelo de Concesión Original de TRANSANTIAGO



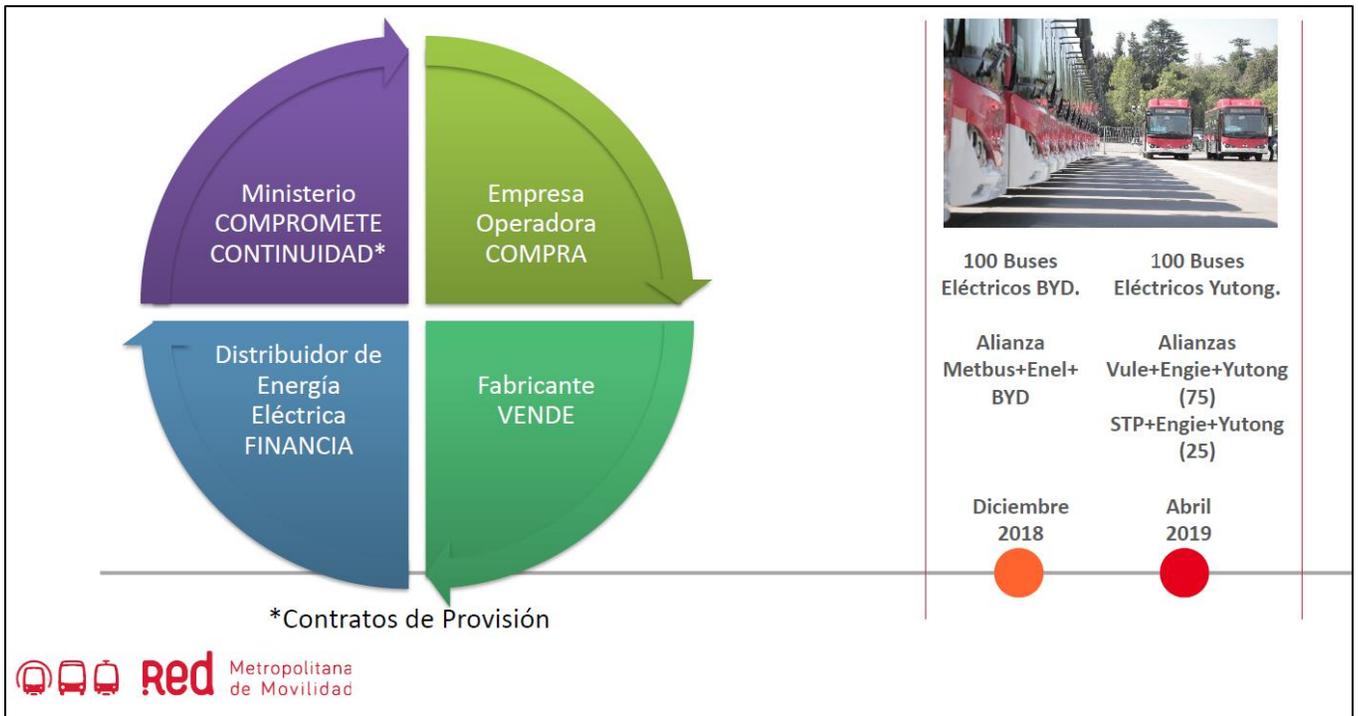
Fuente: Red Metropolitana de Movilidad – Santiago de Chile

Figura 5 Modelo de Concesión Renegociación TRANSANTIAGO



Fuente: Red Metropolitana de Movilidad – Santiago de Chile

Figura 6 Modelos de Financiación Transantiago



Fuente: Red Metropolitana de Movilidad – Santiago de Chile

Figura 7 Modelos de Negocio TRANSANTIAGO



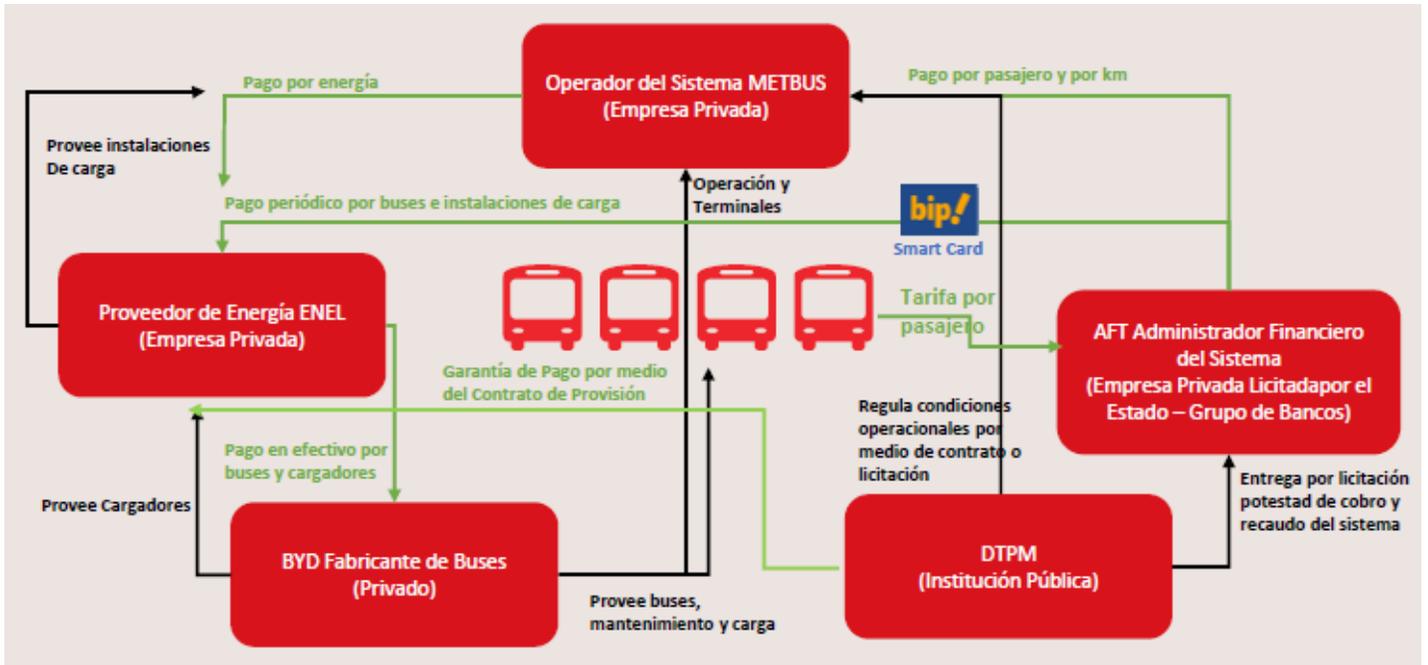
Fuente: Red Metropolitana de Movilidad – Santiago de Chile

Figura 8 Modelo de Negocio Implementado en las Concesiones del Nuevo Sistema de Transporte



Fuente: Red Metropolitana de Movilidad – Santiago de Chile

Figura 9 Modelo Chileno de Negocio Implementado en las Concesiones del Nuevo Sistema de Transporte



Fuente: BYD Chile

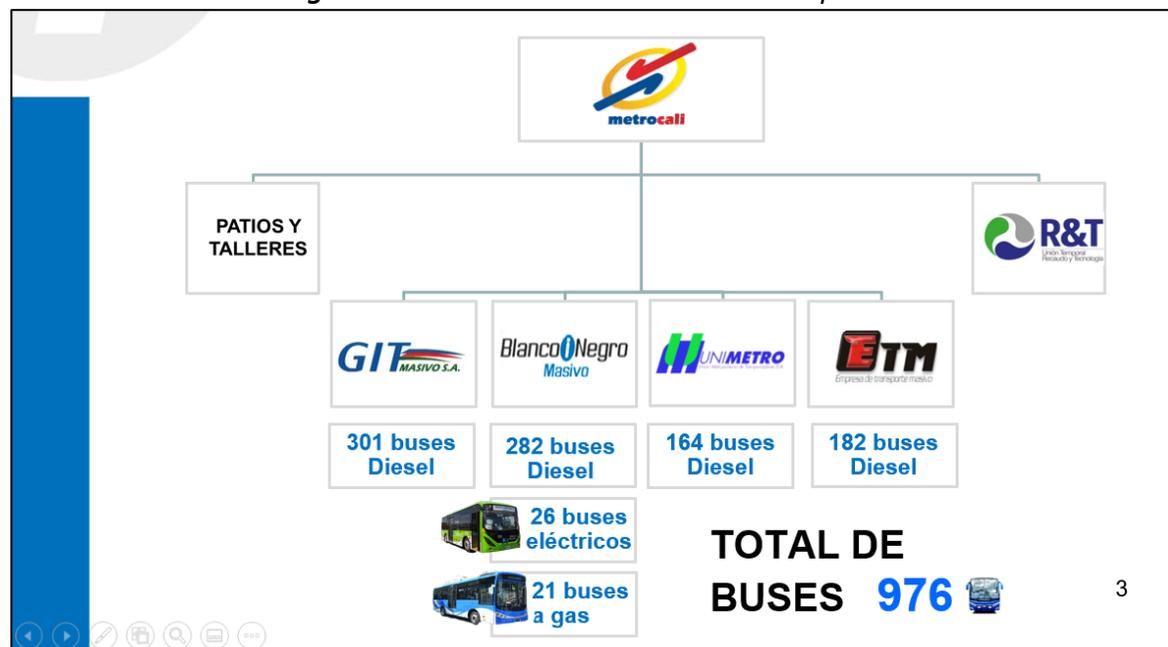
3. Experiencia en Cali - Colombia

MetroCali S.A., ente gestor del sistema de transporte masivo de la Ciudad de Cali, inició pruebas con un bus eléctrico desde el año 2017 en conjunto con uno (1) de los operadores (privados) y CELSIA.

El modelo negocio planteado en Cali se ejecuta en el año 2019 dentro de un operador privado del sistema MIO (Blanco y Negro Masivo S.A.), adquiriendo por su cuenta y riesgo un total de 26 buses 100% eléctricos, sin ajuste en la tarifa ni reconocimiento económico alguno por la diferencia entre buses eléctricos y buses diésel.

El esquema del sistema de Transporte de Cali es el siguiente:

Figura 10 Estructura del Sistema de Transporte Masivo MIO



Fuente: Blanco Y Negro Masivo

La adquisición de los 26 buses eléctricos se realiza a través de un financiamiento por parte de una empresa distribuidora de energía. El operador selecciona el bus a adquirir de acuerdo con sus requerimientos de operación y haciendo una evaluación privada de ofertas, una vez ha seleccionado el bus, realiza una invitación a ofertar a diferentes empresas distribuidoras de energía, esto con el fin de conseguir la mejor tarifa de electricidad y de financiamiento.

Esta financiación incluye la compra de los buses, la instalación de infraestructura necesaria en el patio de operación y una parte del mantenimiento.

El operador paga un cargo fijo mensual por el financiamiento de la flota y de la infraestructura y un cargo por demanda de electricidad basado en el consumo de los buses, tal y como funcionaría para el consumo de buses diésel.

Otro elemento poco reseñado pero muy importante dentro del proceso chileno es que la sustitución de autobuses diésel por eléctricos es fundamental para que la pobre imagen que del sistema BRT tenían los usuarios sea mejorada al ver estas nuevas inversiones, buses nuevos y de mejor tecnología.

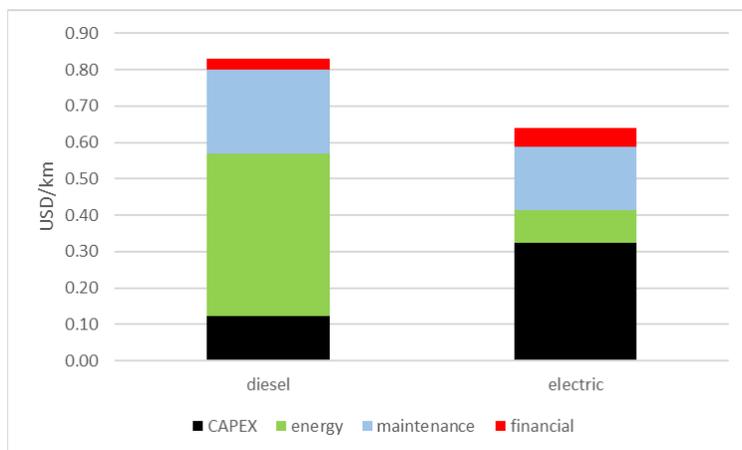
Para el Caso de Cali – Colombia, se trató de un **proceso de adquisición de flota normal** por parte de un operador a partir de la solicitud de aumento de flota hecho por el ente Gestor. El operador seleccionó el autobús que consideró más adecuado y negoció con un proveedor de energía un valor del Kw/h y la financiación de los autobuses y las adecuaciones del patio, así como la realización de los mismos. Con el cambio tecnológico no hubo ajuste en la tarifa por km que se le reconoce al operador por parte del Ente Gestor.

La experiencia de Bogotá se da en el marco de la licitación de nuevas concesiones ante el vencimiento de los contratos de transporte y operación de la fase I de Transmilenio, y aunque la licitación fue declarada finalmente desierta, se contempla dentro del modelo **dos (2) actores**, el proveedor de autobuses al sistema (quien compra los buses y busca la financiación correspondiente de ser necesaria) y el operador de los mismos, y el ente gestor remunera a cada uno de ellos de manera independiente.

Para Costa Rica, el modelo de tener un proveedor de flota puede resultar interesante dadas las condiciones actuales del sistema de transporte. Esto podría suponer, no tener que modificar las concesiones de operación actuales y mantener el tiempo de estas a 7 años, sin embargo, la figura del Proveedor de Flota si debiese tener una concesión por lo menos a 12 años.

Para el desarrollo del proyecto y con la información recopilada del mismo se realizaron algunos análisis de TCO (Total Cost Ownership) dando como resultado que los buses eléctricos son menos caros en la totalidad de la vida útil.

Figura 11 TCO por Kilómetro



TCO en bases de costos de Costa Rica incluyendo únicamente costos diferenciales entre buses diésel y buses eléctricos

- *Tasa Interna de Retorno de 11 a 14%*
- *WACC: 7-8%*
- *TIR es mayor al WACC, por ende la inversión en un bus eléctrico es más rentable que en un bus diésel*

Realizando los análisis correspondientes, bajo las condiciones de operación actuales y utilizando los parámetros de ARESEP se encuentran los siguientes datos sobre Rentabilidad:

Hay que hacer la aclaración que el cálculo realizado es un cálculo de inversión diferencial entre buses con diferentes tecnologías de tracción y no de la rentabilidad de ofrecer servicios de transporte en sí.

Los servicios de transporte con bus diésel o con bus eléctrico pueda que son o no son rentables: sin embargo, se puede concluir que es más rentable operar con buses eléctricos.

10/ Conclusiones, Recomendaciones y lecciones aprendidas

Durante los 4 meses en los que se realizó el piloto las sensaciones por parte del equipo técnico, la empresa operadora, los conductores y los pasajeros han sido positivas, las pruebas arrojan resultados satisfactorios en todos los parámetros analizados, especialmente los datos de rendimiento que demuestran que los buses cuentan con la autonomía adecuada para cubrir los recorridos típicos de una ruta urbana en Costa Rica.

La confiabilidad de los buses eléctricos ha sido excelente, sólo requiriendo de su mantenimiento regular. No se presentó necesidad de mantenimientos correctivos, sin embargo, las pruebas se realizaron sólo con 2 unidades durante un periodo corto de tiempo. Estos buenos resultados, si bien son un indicador positivo, no son estadísticamente representativos para una flota.

Uno de los resultados esperados era que el consumo de kWh/km disminuyese conforme los conductores se familiarizan más con los buses eléctricos y aprovechan aún mejor la función del frenado regenerativo, sin embargo, el rendimiento no ha presentado esta mejora y no obedece ningún patrón aparente. La energía regenerada durante las pruebas en la ruta de San José-San Rafael corresponde a un 37%, mientras que en la ruta de San José-Aserrí es de 44% de la energía neta consumida por los buses eléctricos. Durante este piloto la ruta tuvo un mayor impacto que el estilo de conducción de los conductores responsables de las unidades.

Para el costo aproximado de operación diario de los buses diésel se trabajó con las tarifas que paga ATD por la compra del diésel (que se ha visto afectada por un aumento paulatino del costo del diésel en 2021), en donde también se incluye el componente AdBlue (un aditivo para disminuir las emisiones de óxidos de nitrógeno) necesario para la operación de este tipo de buses. Para el costo de operación de los buses eléctricos se trabajó con la tarifa promocional decretada por ARESEP de ₡57,08 (más impuesto) por kWh. Los datos económicos arrojan un escenario favorable para los buses eléctricos, considerando el gasto del combustible, los autobuses eléctricos son 5 más económicos que los buses diésel.

El proceso de carga de las unidades eléctricas se ha desarrollado sin mayores contratiempos. Si bien es cierto el proceso toma más tiempo que el llenado de diésel, la carga de los buses eléctricos no requiere mayor atención, rondando 2 horas en promedio para cargar aproximadamente la mitad de la batería.

Ya al mes de mayo se observó a los buses eléctricos completamente compenetrados con la flota regular de Autotransportes Desamparados. No existen variaciones significativas entre los pasajeros transportados, IPK o

Considerando el gasto del combustible, los autobuses eléctricos son 5 más económicos que los buses diésel.

carreras recorridas. Los conductores se muestran muy satisfechos con las unidades eléctricas y la percepción de los pasajeros según los testimonios recopilados

Las buenas experiencias también han venido acompañadas de obstáculos y riesgos que dificultan la electrificación del transporte público.

No todas las rutas cuentan con las condiciones para poder ser electrificadas. Topografía excesivamente empinada y pendientes críticas pueden provocar un rendimiento muy bajo en los buses eléctricos, un bajo rendimiento implica no sólo dificultades técnicas, sino que limita las opciones económicas al disminuir la rentabilidad de la operación. Además, no todos los planteles cuentan con acceso a red eléctrica trifásica con la potencia necesaria para la instalación de cargadores.

Las variables de costos de la energía, ya sea en combustible o energía, pueden tener asociada una variabilidad no deseada desde el punto de la inversión. Considerando el modelo de concesión del transporte público en Costa Rica, para disminuir este riesgo se pueden aplicar subsidios o estabilizadores de precios al costo de operación que brinden mayores garantías.

Para garantizar el éxito de experiencias de piloto similares, es imprescindible la flexibilidad y adaptabilidad a la operación, los operadores de ruta son empresas con una serie de obligaciones que no van a estar anuentes a participar de este tipo de iniciativas si implican compromisos demasiado restrictivos o limitantes para su forma de trabajar.

La electrificación del transporte es una tarea multidimensional, que tiene componentes técnicos, económicos, regulatorios y sociales. Apalancar entre todas las partes interesadas es clave para que existan avances sustanciales en el tema, se deben realizar compromisos y estar abiertos a cambios sistemáticos para darle cabida a sistemas y dinámicas disruptivas que implican un cambio de paradigma.

No es posible casarse con una sola tecnología, es decir, la electrificación del sistema de transporte pasa por analizar todas las tecnologías posible, carga lenta, carga rápida. La utilización de los buses BYD en la ruta de TUASA dio lecciones de que rutas con kilometrajes altos, deben ser atendidas con buses de carga rápida y ajustar la operación de las empresas, pero la electrificación del sistema si es posible, solo que se debe analizar cada uno de los casos en particular.

Los buses eléctricos tienen menores costos en la totalidad de su vida útil, por lo tanto son mas rentables y no requieren de una subida de tarifa, sin embargo, con el actual modelo de operación es poco probable que pueda implementarse por barreras existentes como:

- Alta inversión inicial: 2 a 3 veces mas que un bus diésel
- Paybak muy largo
- Los riesgos de la tecnología ya son menores, la prueba piloto a logrado eliminar muchos mitos sobre los buses eléctricos y conocer la tecnología en un ambiente de operación diaria de rutas de transporte público.

Como se mencionó anteriormente, un modelo de negocio basado en separación de propiedad y operación con esquemas de leasing debe ser estudiado con detalle.

Sin concesiones mas largas, dificilmente se podrán ver buses eléctricos en Costa Rica.

La modernización del sector transporte es clave para mejorar los ingresos del sistema, es necesario aumentar la cantidad de kilómetros al día de los buses, esto redundará en un mejor aprovechamiento de la tecnología y mejores prestaciones de la misma, generando ahorros significativos en la operación.

Dar ventajas en los contratos para buses eléctricos pueden ser buenos instrumentos pero llegarán a costos mayores de transporte público, pudiendo afectar la tarifa al usuario, lo que lleve a tener que subsidiar dichas tarifas.

- Riesgos de la tecnología ya son menores al poder efectuar la prueba piloto con los buses eléctricos donados por el Gobierno Alemán, en conclusión, los Buses eléctricos son rentables y no requieren de una subida de tarifas. Sin embargo, con el actual modelo de operación es poco probable que se puedan implementar.
- Dentro de las barreras que pueden retrasar la implementación de buses eléctricos está el tiempo de concesión, pues la inversión inicial, al ser dos o tres veces más que un bus diésel necesitará mayor tiempo para poder recuperarse.
- Recaudo (Pago) Electrónico: tema muy importante para lograr conseguir el financiamiento, se debe asegurar el repago de la deuda y la forma de hacerlo es a través de este sistema de cobro, pues bajo esta figura se crea el “Administrador Financiero” y se crea la Fiducia desde donde saldría el pago directamente hacia el financiador.
- En la experiencia de todos los países, sobre todo acotado para la región, la participación del gobierno es indispensable y esa participación incluye subsidios, este es un tema que tendrá que abordarse si o si y generar una discusión sobre este punto en particular.



MiTransporte

COSTA RICA

