Informe de evaluación de buenas prácticas a nivel local y global para sistemas de adquisición y gestión de datos para servicios de taxi eléctrico

PROYECTO:

Acelerando la transición al transporte público eléctrico en la Gran Área Metropolitana de Costa Rica

CRUSA | UN environment programme | gef | e-taxi CR | Ministerio de Ambiente y Energía, Gobierno de Costa Rica | Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Gobierno de Costa Rica

Proyecto:
Acelerando la transición al transporte público eléctrico en el Gran Área Metropolitana de Costa Rica

Redacción:
Julio Castro Fallas, Víctor Vega Garita, Mercedes Chacón Vásquez, Aramis Pérez Mora – Universidad de Costa Rica

Revisión y edición:
Karen Araya Varela, Juan Guillermo Murillo Chinchilla – Fundación CRUSA
Carolina Flores Valle – Ministerio de Ambiente y Energía
Luis Felipe Quirama Londoño – Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente
Arturo Steinvorth Álvarez– Proyecto GEF7 Costa Rica

Diseño gráfico:
Marvin Carballo Villalobos

Publicado por:
Fundación CRUSA

Implementado por:
Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)

Financiado por:
Global Environment Facility (GEF)

En cooperación con:
Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica (MINAE)

Sobre la alianza que permite el desarrollo de este proyecto:

La Fundación CRUSA:
Es una organización costarricense, independiente, apolítica y sin fines de lucro, que desde 1996 contribuye a la mejora en la calidad de vida de las personas y el desarrollo sostenible en Costa Rica.
comunidad.crusa.cr

Copyright: © 2023. Fundación CRUSA, PNUMA & GEF.

ÍNDICE

1. Resumen ejecutivo....5

2. Antecedentes....6

3. Objetivos....8

4. Metodología....8

5. Adquisición de datos en vehículos....12

5.1 Generalidades del protocolo OBDI....12

5.2 Protocolos....13

5.3 Conectores....14

5.4 Variables medidas mediante puertos OBDII....15

6. Recopilación de información de proyectos seleccionados....16

6.1 Proyecto Ruta Sustentable: Piloto de Taxis Eléctricos en Chile....16

6.2 Programa Mi Taxi Eléctrico: piloto de taxis eléctricos en Chile....21

6.3 Proyecto piloto de Vehículos Eléctricos para transporte público:

Piloto de Buses Eléctricos en Costa Rica....25

6.4 Proyecto de VEs para uso comercial: Piloto de Carga Liviana en Costa Rica....28

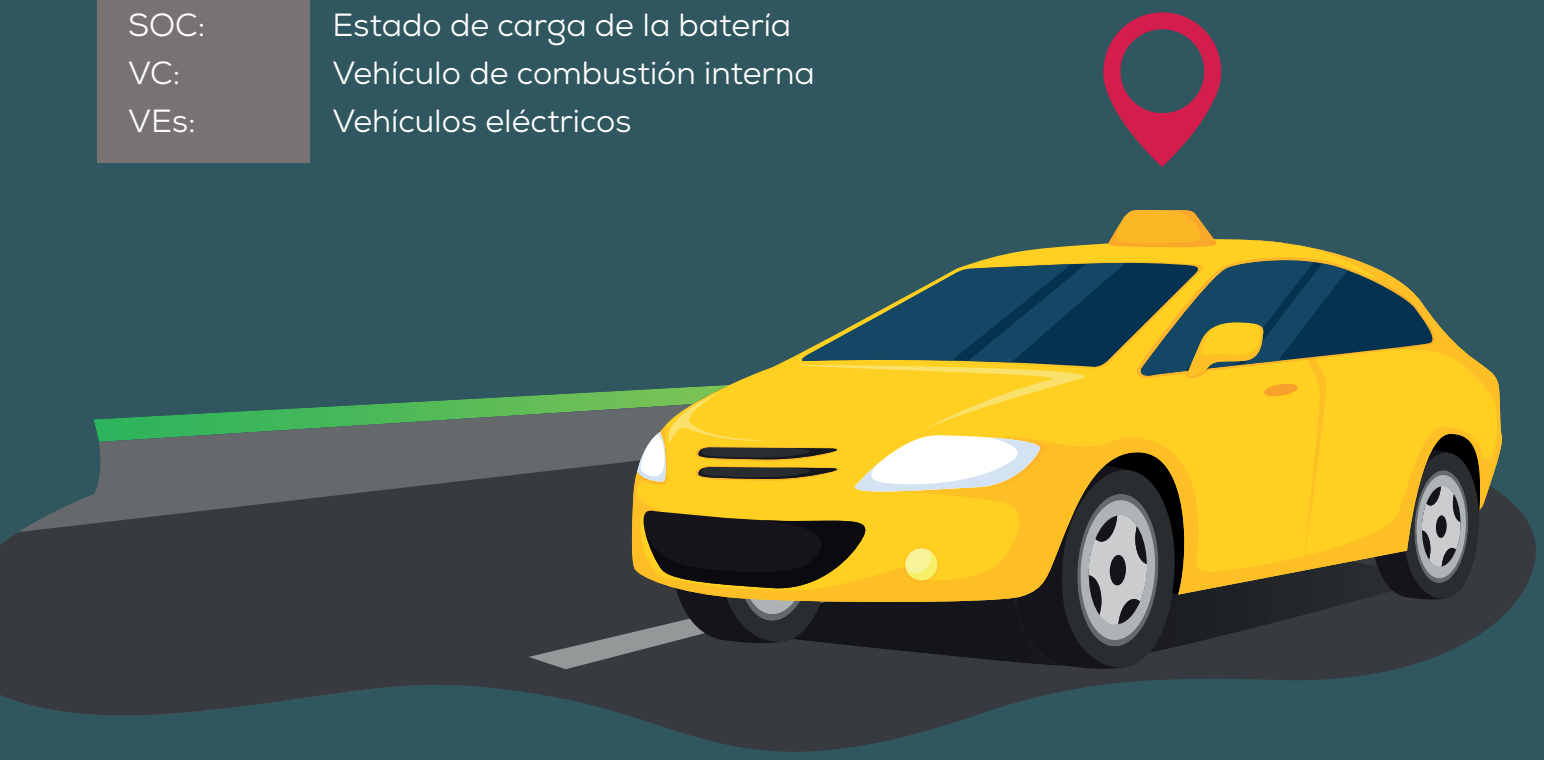
7. Análisis y aplicación de las buenas prácticas identificadas....32

8. Conclusiones....37

Bibliografía....39

ACRÓNIMOS

AgenciaSE:	Agencia de Sostenibilidad Energética de Chile
BMU:	Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania
CAN:	Central Area Network
CETP:	Comité para la Electrificación del Transporte Público
CO2:	Dióxido de carbono
CRUSA:	Fundación Costa Rica Estados Unidos de América para la Cooperación
CTP:	Consejo de Transporte Público de Costa Rica
GEF:	Global Environment Facility
GIZ:	Cooperación Alemana para el Desarrollo
GPS:	Global Positioning System
ICE:	Instituto Costarricense de Electricidad
IEA:	International Energy Agency
ITCR:	Instituto Tecnológico de Costa Rica
LIVE:	Laboratorio de Investigación de Vehículos Eléctricos
MINAE:	Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica
MNTRC:	Mineta National Transit Research Center
OBD:	On-Board Diagnostics
SOC:	Estado de carga de la batería
VC:	Vehículo de combustión interna
VEs:	Vehículos eléctricos



1. RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio ha sido desarrollado en el marco del Proyecto "Acelerando la transición al transporte público eléctrico en la Gran Área Metropolitana de Costa Rica", el cual se implementa en colaboración entre la Fundación Costa Rica Estados Unidos para la Cooperación (CRUSA), el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), y además, contando con el financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés).

El objetivo de este informe es brindar recomendaciones sobre los sistemas de adquisición y gestión de datos en la operación de vehículos eléctricos (VEs), utilizando como línea base las buenas prácticas observadas en estudios desarrollados con anterioridad tanto a nivel nacional como internacional. Para lograrlo, se realizaron dos tipos de investigaciones cualitativas: revisiones bibliográficas y entrevistas a personas expertas. En las revisiones bibliográficas se analizaron artículos científicos de estudios tanto independientes como gubernamentales, con enfoque en la adquisición y gestión de datos. Algunas de las variables de interés que se extrajeron de estos estudios son: la temperatura de operación de los paquetes de baterías, la energía almacenada y consumida en función de los recorridos, rendimiento en términos de energía por kilómetro, costos de operación, perfiles de velocidad y aceleración. Con respecto a las entrevistas, estas fueron del tipo semiestructuradas y se realizaron a personas calificadas en el área de movilidad eléctrica con experiencia previa en el desarrollo de proyectos piloto.

Ambos tipos de investigaciones permitieron reunir criterios y conocer detalladamente la manera en la que se pueden monitorear las distintas variables electromecánicas y operativas de los VEs. En este estudio se incluyen casos de vehículos livianos, así como de buses eléctricos y vehículos livianos eléctricos dedicados a la carga de mercancías. Todos estos tipos de VEs son ejemplos de proyectos finalizados de donde se rescata la importancia de contar con un sistema de gestión de datos que permita generar el conocimiento adecuado para todas las partes interesadas.

Finalmente, como resultado de esta investigación, se encontró que medir las variables eléctricas del VE como la potencia, torque, energía eléctrica, kilometraje, estados de salud y carga de la batería, duración de la carga, temperatura del paquete de baterías y las emisiones de CO2 evitadas (desde la clasificación tank to wheel) son fundamentales para el alcance del objetivo de demostrar la viabilidad técnica y financiera de uso de taxis eléctricos en Costa Rica. En términos de las características que los sistemas de adquisición y gestión de datos deben cumplir, sobresalen la importancia de contar con una plataforma en línea, registrar datos con un paso de tiempo de 10 segundos (valor recomendado), y ser capaz de interactuar con la red CAN del vehículo de manera no invasiva.

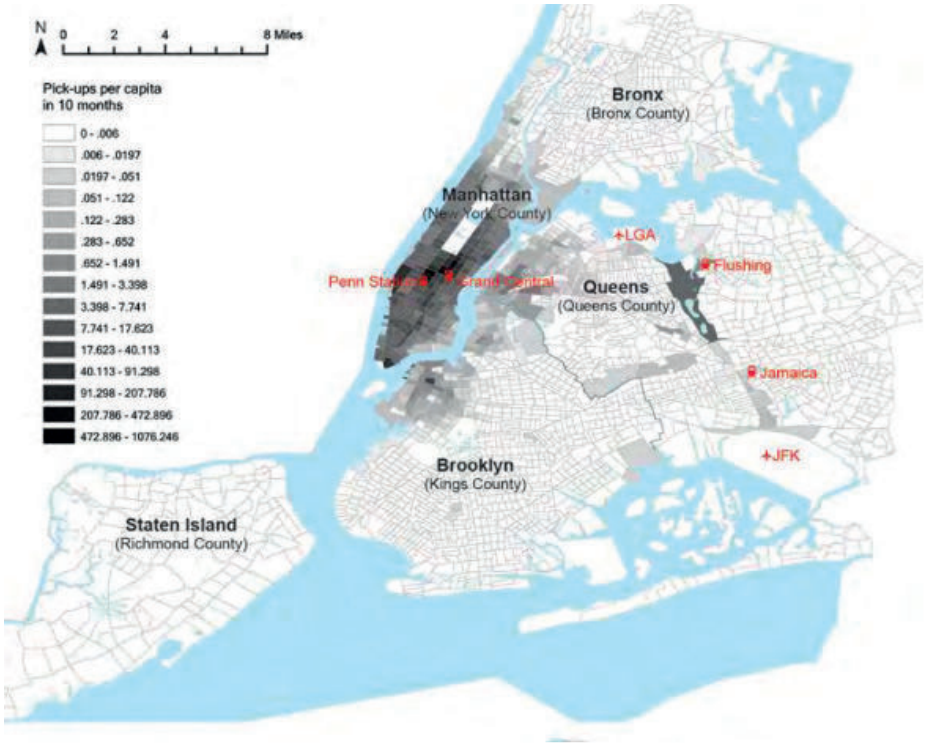
Adicionalmente, para la ejecución del proyecto piloto, se halló que es fundamental establecer una relación contractual y formal con las personas que manejen los vehículos, relación en la que se debe especificar que los equipos no deben ser desconectados en ningún momento con el fin de generar datos de operación confiables. En esa misma línea, la instalación oculta es una alternativa que permite prevenir interacciones no deseadas con el sistema de monitoreo.

2. ANTECEDENTES

El monitoreo de la operación de los vehículos eléctricos se ha utilizado como una herramienta en el análisis de la viabilidad financiera y técnica de esta tecnología en comparación con los vehículos de combustión interna. Para sustentar la apuesta por los vehículos eléctricos, deben existir estudios que respalden la funcionalidad y eficiencia de estos vehículos en los sectores dominados por los vehículos de combustión interna. Los datos obtenidos por medio de sistemas de monitoreo pueden ser utilizados para realizar, por ejemplo: estimaciones de emisiones de CO2 evitadas, ahorro de combustible, y caracterización del rendimiento o eficiencia durante su operación.

En un estudio realizado por el Mineta National Transit Research Consortium (MNTRC) utilizaron información obtenida por medio del monitoreo para modelar la demanda de taxis en Nueva York. La Figura 1.A muestra la cantidad de veces que se dieron servicios de taxi para diferentes regiones de Nueva York. Esta figura permite apreciar claramente las ubicaciones desde las cuales es más común y menos común que un taxi inicie sus viajes, encontrándose que la ubicación más frecuente es Manhattan. Así, con esta información se logró identificar la demanda de taxis existente por ubicación geográfica, permitiendo planificar de manera más adecuada la ubicación de los taxis, para así cumplir de manera efectiva con la mayor cantidad de servicios posibles. En la Figura 1.B se muestran los lugares en los cuales los viajes finalizan con mayor frecuencia. De manera similar a la Figura 1.A, se puede observar que el punto más frecuentado es Manhattan, por lo que se puede concluir que la mayor demanda que experimentan los taxis se ubica en esta zona. En el caso de este estudio, se incluyeron datos de 147 millones de viajes realizados entre el 1 de febrero de 2010 hasta el 28 de noviembre de 2010 (MNTRC & Rutgers, 2014). Durante este estudio, se registraron variables típicas de operación, como la latitud y longitud donde iniciaron y finalizaron los viajes, así como fecha, día, y hora. Otros aspectos, tales como la distancia recorrida por viaje, el monto desglosado del pago, método de pago y el número de pasajeros también fueron recopilados (MNTRC & Rutgers, 2014).

A)



B)

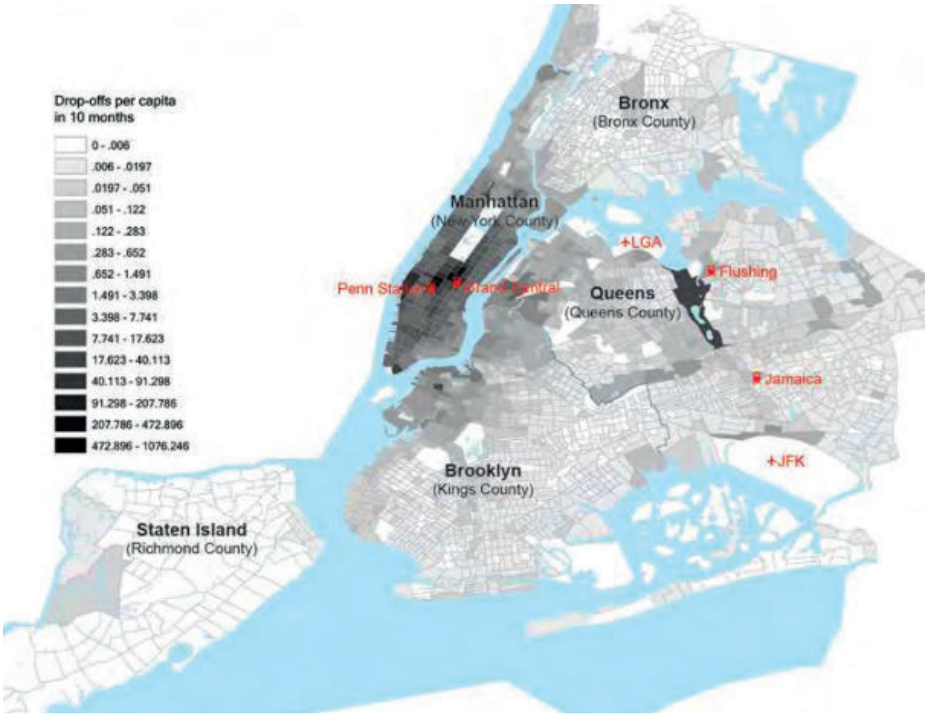


Figura 1. Análisis de desplazamiento realizado en la ciudad de Nueva York, **A)** diagrama de frecuencia de viajes finalizados al recoger a una persona usuaria a las 5:00 pm. **B)** diagrama de frecuencia de viajes iniciados al recoger a una persona usuaria a las 5:00 pm. Tomado de Modeling Taxi Demand with GPS Data from Taxis and Transit (p. 13,14), por MNTRC & Rutgers, 2014.

Otro caso ocurrió en Shenzen, China. En este caso, se propusieron estructuras de adquisición y procesamiento para el caso de 10 taxis eléctricos BYD E6. Dentro de los aportes de la propuesta se encuentra un prototipo de hardware capaz de realizar la adquisición de la información y enviarla por medio de redes 3G y por Wi-Fi a un centro de datos. Este prototipo cuenta con sensor de gases, sensor de temperatura, sensor de humedad, barómetro, GPS, acelerómetro, giroscopio, brújula y grabación de contenido audiovisual (H. Cen, Y. Xu, T. Yang & T. Li, 2018). En este estudio, los datos se ordenaron por medio de tuplas (secuencias finitas de elementos) que contenían la identificación del vehículo y fecha, hora, latitud y longitud del instante en el que se tomó el dato. Estas variables fueron medidas por medio de los sistemas de adquisición de datos de la empresa de vehículos BYD. Los autores de este estudio recalcan la importancia del preprocesamiento de los datos, por ejemplo, por medio de la comparación de las magnitudes medidas con las reales, con el objetivo de realizar ajustes (H. Cen, Y. Xu, T. Yang & T. Li, 2018).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar las prácticas llevadas a cabo a nivel local y global para adquirir y gestionar datos de los sistemas de comunicación de los VEs, con la finalidad de determinar cuáles pueden ser utilizadas como referencia para el Proyecto Piloto de Taxis Eléctricos en la base de operaciones del Aeropuerto Internacional Juan Santamaría.

3.2 Objetivos específicos

- Identificar los proyectos de electromovilidad desarrollados tanto en Costa Rica como en el resto del mundo con información técnica disponible para utilizar como referencia en la determinación de buenas prácticas en la adquisición y gestión de datos.
- Determinar las buenas prácticas relacionadas al manejo de sistemas de monitoreo en proyectos seleccionados de movilidad eléctrica a nivel local y global, prestando especial atención a los factores técnicos y humanos que inciden en el proceso, con enfoque especial en proyectos de taxis eléctricos.
- Definir las variables monitoreadas en proyectos de electromovilidad nacionales e internacionales para caracterizar la operación de flotillas, identificando las variables de interés en el contexto del Proyecto Piloto de Taxis Eléctricos en la base del Aeropuerto Internacional Juan Santamaría.

4.METODOLOGÍA

En esta sección se describe paso a paso cómo se ejecutaron las actividades que resultaron en la producción de este informe.

4.1 Primera etapa: Selección de los proyectos de movilidad eléctrica a considerar

Para esta etapa inicial, se utilizó principalmente el grado de información pública disponible como criterio de selección, por lo que se excluyeron todos aquellos estudios en los que no se brinde información técnica relacionada a los sistemas de monitoreo y la manera de extraer la información de operación de los VEs, con el fin de hacer énfasis en el análisis de proyectos que brindaran valor al caso de estudio presente.

•Proyectos a nivel internacional:

Para seleccionar los proyectos internacionales a incluir en este informe, se buscó experiencia en servicio de taxi en países con amplia penetración de vehículos eléctricos en su flota vehicular en Latinoamérica y en el resto del mundo. Sin embargo, no se logró tener acceso a reportes o documentos técnicos detallados que pudieran aportar la información buscada en este informe. Como primer paso para delimitar el estudio, se planteó analizar los países cuyo porcentaje de ventas de vehículos nuevos correspondiera principalmente a VEs, basado en los resultados del informe del IEA Global EV Outlook publicado en el año 2022. En la Figura 2 se puede observar que en Noruega un 86% de la totalidad de las ventas de los vehículos en el año 2021 corresponde a VEs (Olano, M.V., 2022).

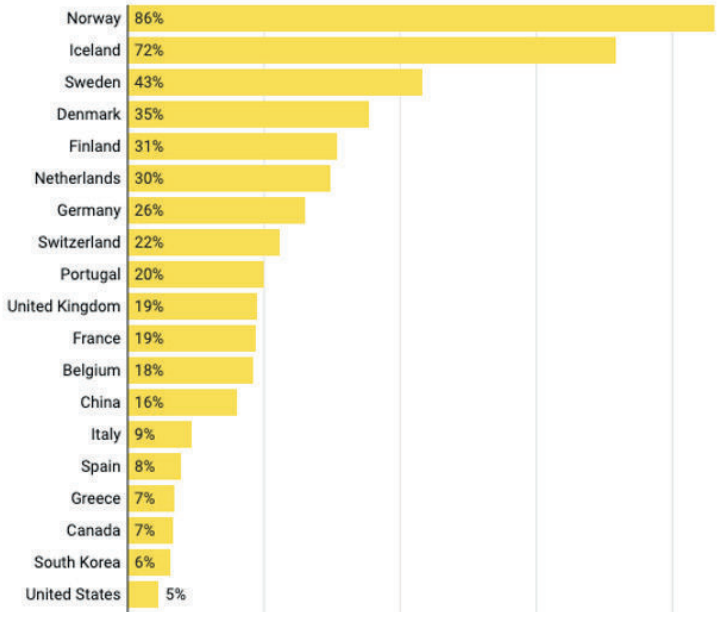


Figura 2. Países con mayor porcentaje de vehículos eléctricos vendidos. Tomado de Chart: Which countries buy the most EVs? Por Olano, M. V., 2022.

Otro aspecto clave, como se indicó antes, fue buscar proyectos piloto a pequeña o gran escala realizados en Latinoamérica, siendo México el país con la mayor cantidad de ventas anuales respecto a la totalidad de vehículos vendidos, alcanzando un 0,5% en 2021 (IEA, 2022).

Una vez identificados ambos países, se procedió a buscar proyectos de electromovilidad donde se publicara información detallada sobre sistemas de adquisición y gestión de datos para ser utilizados como referencia. Como se muestra en la Tabla 1, no fue posible conseguir informes de operación de vehículos que aportaran información alineada a los objetivos de este informe. Igualmente, se consultaron proyectos en otros países con alta penetración de VEs tanto a nivel mundial como en Latinoamérica, incluyendo Países Bajos, Islandia, y Brasil, pero no se logró encontrar informes de libre acceso como referencia para este trabajo.

Tabla 1. Información obtenida para dos países líderes en la venta de VEs a nivel mundial y regional.

PAÍS	GOOGLE	GOOGLE SCHOLAR	IEEE
NORUEGA NORUEGA	Se encontraron noticias acerca de la operación sin detalles técnicos. Como referencia, se puede revisar el texto: How Oslo became the world's electric vehicle capital (Crosse, G., 2018)	No se encontraron informes de proyectos piloto en taxis eléctricos	Se encontraron informes de infraestructura de carga y hojas de ruta, pero no informes de operación o gestión de datos. Como referencia, se pueden revisar los estudios: Norway, the most successful market for Electric Vehicles (Carranza, F., Paturet, O. y Salera, S., 2013) y Electric vehicles in Norway and the potential for demand respond (Saele, H. y Petersen, I., 2018)
MÉXICO	Se identificó que se utilizan iniciativas como Trolebuses y Beat Zero, pero no se encontraron informes de operación o sistemas de gestión de datos. Como referencia, se puede revisar el artículo:	No se encontraron informes de proyectos piloto en taxis eléctricos	Se encontraron informes de hojas de ruta, pero no de operación de los VEs. Como referencia, se puede consultar el estudio: Analysis of electric vehicle impacts in New Mexico urban utility distribution infrastructure (Arellano, B., Sena, S, Abdollahy, S., Lavrova, O., Stratton, S. y Hawkins, J., 2013)

Debido a la falta de información disponible de manera abierta, en este informe se incluyeron proyectos con información pública, con la posibilidad de consultar la documentación relacionada a la forma en que se gestionan y recopilan los datos de operación de las flotillas caracterizadas. En vista de lo anterior, el Programa Mi Taxi Eléctrico y el proyecto Ruta Sustentable ejecutados en Chile fueron seleccionados debido al alto grado de acceso a la información a través de documentación publicada en línea y al contacto directo con las agencias ejecutoras, según se puede ver en la Tabla 2.

Tabla 2. Proyectos realizados a nivel global seleccionados y personas de contacto.

PAÍS	PROYECTO	INSTITUCIÓN	PERSONA DE CONTACTO
CHILE	Mi Taxi Eléctrico	Agencia de Sostenibilidad Energética	Javier Rojas, Coordinador
CHILE	Ruta Sustentable	Universidad de Chile	Jorge Reyes, posición o cargo en el proyecto

• **Proyectos nacionales**

En el caso de proyectos nacionales, se seleccionaron proyectos piloto en movilidad eléctrica ejecutados en el marco del Proyecto MiTransporte de la Agencia de Cooperación Alemana - GIZ. Adicionalmente, se tuvo la posibilidad de contactar para entrevistas a algunas personas que formaron parte de los equipos que implementaron estos proyectos. Estos estudios se consideraron independientemente del tipo de vehículo, pero tomando en cuenta que se diera una recopilación y análisis de datos de operación. Es importante notar que se abrió el análisis a proyectos en electromovilidad en transporte público modalidad autobús y carga liviana, pues no se han realizado proyectos de electromovilidad en modalidad taxi en Costa Rica. Los proyectos analizados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Proyectos implementados en Costa Rica incorporados en el presente estudio.

PAÍS	PROYECTO	CONTACTO	INSTITUCIÓN
MITRANSPORTE	Transporte público modalidad autobús	Gerardo Guadamuz	Instituto Costarricense de Electricidad
MITRANSPORTE	Carga Liviana	Sergio Morales	Instituto Tecnológico de Costa Rica

4.2 **Segunda etapa:** Recopilación de información de los proyectos seleccionados

Para esta etapa se realizó una separación según se muestra a continuación:

- Investigación acerca del contenido del proyecto.
- Resumen de las buenas prácticas.
-

Para la investigación de los proyectos, se consultaron documentos publicados por las agencias ejecutoras de los proyectos y se realizaron consultas en línea en periódicos locales y páginas de instituciones estatales.

Adicionalmente, una herramienta de utilidad para la recopilación de información fueron entrevistas semiestructuradas a personas clave de los equipos técnicos encargadas de

la ejecución de los estudios. La metodología empleada para las entrevistas se basó en la elaboración de una lista de preguntas que funcionaran como hilo de conversación, pero manteniendo flexibilidad para generar comentarios adicionales que fueran considerados pertinentes.

La finalidad de esta segunda etapa consistió en documentar contenidos de los proyectos como: generalidades, metodologías, implicaciones para el país, y resultados. Por otro lado, se realizó un resumen al final de cada proyecto que contiene los hallazgos en sistemas de adquisición y gestión de datos consideradas de interés para el proyecto piloto de taxis eléctricos en el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría. Para esta parte se definieron buenas prácticas como aquellos factores técnicos y humanos que incidieran positivamente en la recopilación de la información del vehículo. Tomar en cuenta ambos factores es relevante debido a que en este proceso no influye únicamente cuál es el dispositivo de hardware y la plataforma más adecuados, sino también el manejo de estas herramientas por parte de la persona que utiliza el vehículo monitoreado.

4.3 Tercera etapa: Análisis y aplicación de buenas prácticas recopiladas

Esta etapa se abordó desde dos perspectivas. Primero, se realizó una comparación entre las metodologías y buenas prácticas identificadas en cada uno de los proyectos seleccionados. Segundo, se analizó cómo se pueden aplicar estas buenas prácticas en proyectos piloto de electromovilidad.

De los puntos clave identificados en etapas previas, fue fundamental contrastar la manera en la que se dio la adquisición y gestión de datos en cada uno de los proyectos seleccionados. Esta etapa se realizó mediante una discusión de los resultados obtenidos en la Sección 4.2.

Una vez realizado el análisis de lo obtenido, se determinó de qué manera las buenas prácticas señaladas en el apartado anterior se deben seguir para el caso del proyecto piloto de taxis, con el objetivo lograr la viabilidad técnica y financiera del uso de VEs en el servicio de transporte público de Costa Rica en modalidad taxi.

5. ADQUISICIÓN DE DATOS EN VEHÍCULOS

5.1 Generalidades del protocolo OBDII

En general, existen sistemas electrónicos capaces de diagnosticar el estado de un vehículo, lo cual se hace por medio de la medición de distintas variables que determinan si el vehículo está operando de manera correcta o no. El protocolo estándar es el llamado Diagnóstico a Bordo, del inglés On Board Diagnostics, o simplemente OBD. Este protocolo es utilizado por la mayoría de las empresas fabricantes de vehículos para obtener información del funcionamiento de un vehículo en tiempo real. La creación del OBD surgió como una manera de estandarizar todos los sistemas de adquisición de datos a nivel mundial, ya que, antes de su creación, cada fabricante de vehículos tenía su propia manera extraer información de las computadoras.

Actualmente, este sistema no solo se utiliza para el diagnóstico de problemas, sino también para extraer otro tipo de información, como por ejemplo el rendimiento. Existe una segunda generación del OBD, el OBDII, que, como su nombre lo indica, vino a resolver una de las principales limitaciones que tuvo la primera generación, pues la primera versión del OBD no podía realizar el monitoreo de variables relacionadas con las emisiones de los vehículos, lo

que resolvió en el caso del OBDII, puesto que ya se permite analizar la energía que consume el vehículo de manera precisa, así como también se pueden estimar las emisiones de CO2 (Kulkarni, P., Rajani, P. K. y Varma, K., 2016).

Muchos proyectos piloto en el mundo utilizan este puerto, lo que se muestra en la Figura 3, para acceder a la información del vehículo y así realizar análisis más avanzados.

Figura 3. Ubicación usual del puerto OBDII. Tomado de What is OBDII? History of on-board diagnostics. Por Ko, J., 2022.

Se han desarrollado dispositivos de hardware que son capaces de ser conectados al puerto y así transmitir información a plataformas externas al vehículo. Se puede tener acceso por medio del puerto OBDII a los siguientes sistemas del vehículo:

- Transmisión y motor.
- Sistemas de control de emisiones.
- Identificación del vehículo.
- Códigos de falla.
- Temperatura de operación.

Actualmente, esos datos pueden ser extraídos por medio de Bluetooth, WiFi, o USB, a través de aplicaciones que permiten la comunicación en tiempo real y el almacenamiento de variables de interés definidas por el sistema de monitoreo.

5.2 Protocolos

Existen distintos protocolos que se han desarrollado en todo el mundo para acceder a los datos del vehículo por medio del puerto OBDII. Las principales diferencias que existen entre uno y otro se basan en las necesidades de las compañías automotrices que han ido desarrollando estos protocolos propietarios a lo largo de los años. La Tabla 4 muestra los cinco protocolos principales que se implementan en la actualidad, así como también el método de adquisición que se utiliza, y los tipos de vehículos en los cuales se pueden ver (Ko, J., 2022).

Tabla 4. Protocolos OBDII.

PROTOCOLO	MÉTODO	UTILIZADO POR:
SAE J1850 PWM	Modulación por ancho de pulso	Ford
SAE J1850 VPW	Ancho de pulso variable	General Motors
ISO9141-2	Comunicación con vehículos con batería de 12 V	Vehículos europeos y asiáticos
ISO 14230-4	Protocolo por palabras clave	Marcas americanas, europeas y japonesas
ISO 15765 CAN	Red de control por área	Mayoría de vehículos fabricados después de 2008

Basado en: What Is the OBD-II Port and What Is It Used For? Por Ko, J., 2022.

Cada una de estas formas de acceder a los datos utiliza distintas interacciones con la computadora del vehículo. El ISO 15765 es el que se ha implementado en Estados Unidos en los últimos años, dejando atrás a la mayoría de los otros protocolos, debido a que el estándar es de cumplimiento obligatorio para vehículos fabricados en el país. Por lo tanto, una gran cantidad de VEs en el mercado requieren de esta norma para ser compatibles con equipos de hardware de monitoreo y gestión de flotillas. CAN Bus es un sistema de comunicación que presenta una serie de ventajas a la hora de transmitir datos de un nodo del vehículo a otro, ya que es capaz de comunicarse con todos los nodos del vehículo mediante un solo punto de acceso y presenta robustez ante perturbaciones electromagnéticas que puedan interrumpir la comunicación. Adicionalmente, su topología es sencilla y de bajo costo, por lo que muchos fabricantes la prefieren (Ko, J., 2022).

5.3 Conectores

Es importante recalcar que estos protocolos no son compatibles entre ellos, por lo que la identificación efectiva del protocolo que utiliza cada vehículo es una etapa fundamental del proceso de selección de un sistema de monitoreo adecuado para un VE o un vehículo de combustión (VC) en específico. La principal diferencia que se observa entre los puertos que utilizan un protocolo y otro son los pines de conexión con los que cuentan los adaptadores.
Para el caso de ISO 15765, el estándar SAE J1962 establece que existen dos tipos de conectores OBDII: el tipo A y el tipo B. El conector tipo A, mostrado en la Figura 4, es el que se encuentra más comúnmente en carros como sedanes y SUVs. Por otro lado, el tipo B es más frecuente encontrarlo en vehículos de carga pesada. El tipo de conector también afecta el baudaje, o número de unidades de señal (bits) que se pueden transmitir por segundo por medio del conector (Falch, M., 2022).

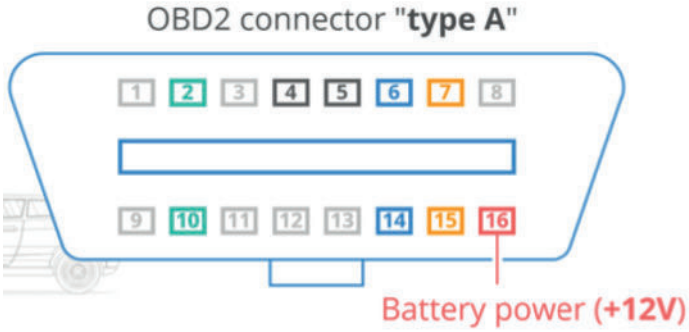


Figura 4. Conector OBDII tipo A. Tomado de CAN Bus, the ultimate guide. Por Falch, M., 2022.

El conector tipo A presenta algunas particularidades, de acuerdo con lo observado en la Figura 4:

- Una alimentación de 12 V.
- Un conector largo que va de lado a lado.
- Baudaje típico de 500K (Falch, M., 2022).

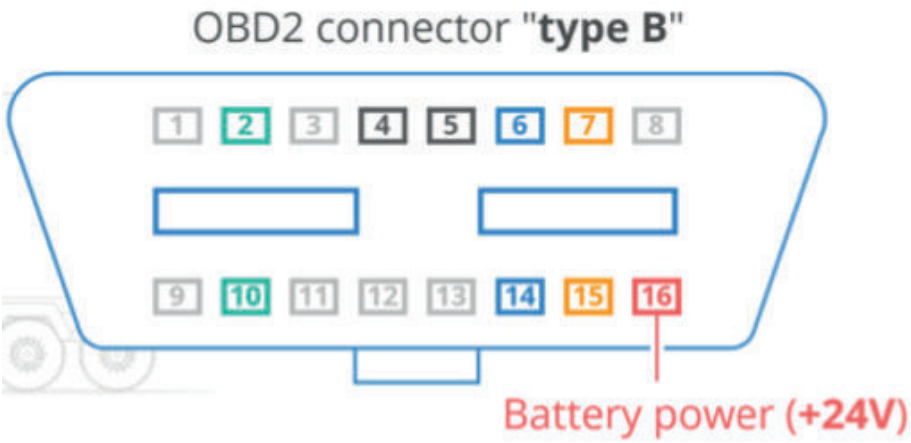


Figura 5. Conector OBDII tipo B. Tomado de CAN Bus, the ultimate guide. Por Falch, M., 2022.

El conector tipo B difiere en estos aspectos:

- Una alimentación de 24V.
- Un conector largo que es interrumpido justo en el medio.
- asa de baudios de 250 kBd (Falch, M., 2022).

5.4 Variables medidas mediante puertos OBDII

Concretamente, los dispositivos de adquisición de datos han sido una pieza clave en la operación tanto de vehículos eléctricos como de combustión, debido a que son capaces de generar registros de magnitudes mecánicas y eléctricas. Estas magnitudes son de gran utilidad a la hora de realizar estudios técnicos, pues permiten caracterizar cómo se utiliza el vehículo, cuánta energía consume, los costos de esta energía, qué tan eficientes son, las emisiones de CO2 producidas en el caso de vehículos de combustión interna y una estimación de las evitadas en VEs. A continuación, se mencionan algunas de las variables que se pueden medir mediante el puerto OBDII:

- Torque.
- Estimación del estado de salud de la batería de alta tensión.
- Estimación de estado de carga de la batería de alta tensión.
- Temperatura ambiente y del paquete de baterías.
- Velocidad.
- Nivel de combustible.
- Temperatura del aceite.
- Estado de los sensores del vehículo.

6. RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN DE PROYECTOS SELECCIONADOS

6.1 Proyecto Ruta Sustentable: Piloto de Taxis Eléctricos en Chile

El proyecto se realizó en un convenio directo entre el Ministerio de Energía de Chile con distintas universidades, entre ellas, la Universidad de Chile. Este convenio tuvo como iniciativa el uso y monitoreo de VEs como parte de la flota de servicio de transporte público, como lo son buses y taxis. Según el ingeniero Jorge Reyes del equipo consultor de la Universidad de Chile, con este proyecto se logró analizar la incidencia de distintas variables en la operación de vehículos eléctricos (distancia, altura, temperaturas, estacionalidad) y a partir de esos datos, determinar consumo energético, agresividad de conducción, y estimar si había cambios en el desempeño del vehículo eléctrico. La Tabla 7 muestra las generalidades del proyecto.

Tabla 5. Generalidades del proyecto Piloto de Taxis Eléctricos en Chile.

DURACIÓN	ALCANCE GEOGRÁFICO
Agosto 2019 a diciembre 2020 (16 meses)	Rutas en Santiago de Chile

Dentro de este proyecto se realizó un plan piloto, en el cual se tardó alrededor de 4 a 5 meses para habilitar el uso del sistema de telemetría, debido a complicaciones administrativas, y también, porque al ser VEs, las empresas contactadas no contaban, en ese momento, con el conocimiento necesario para monitorear este tipo de automóviles. Solventada esta situación, se analizó el comportamiento de los VEs por un periodo de 6 a 8 meses, y para este piloto en particular, se utilizaron 24 Hyundai Ioniq y 1 Nissan Leaf que fueron monitoreados diariamente para la sección de vehículos livianos. En el apartado de buses se utilizaron modelos de BYD y King Long. En este periodo de tiempo se realizaron cortes periódicos de datos, en los cuales se brindaban actualizaciones a las entidades interesadas, siendo la principal el Ministerio de Energía de Chile.

Durante este proceso, se recopilaron gran cantidad de datos que permitieron identificar momentos y condiciones clave que hacen que el rendimiento de los vehículos fuera el óptimo, recalcándose en las recomendaciones que se deben realizar mediciones cada 60 segundos en todas las variables. Asimismo, es importante notar que la adquisición de datos se realizó en todas las unidades mencionadas anteriormente, sin dejar por fuera a ninguna para efectos de estudio. La Tabla 6 muestra las variables que se procesaron en el informe.

Tabla 6. Variables para procesar en el Proyecto Ruta Sustentable.

VARIABLE	UNIDADES
Temperatura de la batería al inicio y final del viaje	°C
Capacidad de la batería al inicio y final del viaje	%
Estado de salud de la batería	%
Energía usada	Wh
Rendimiento energético	km/kWh

VARIABLE	UNIDADES
Velocidad	km/h
Aceleración	m/s^2
Distancia recorrida	km
Cantidad de viajes	-
Consumo energético	km/kWh
Energía de freno regenerativo	km/kWh
Altitud	m

Basado en: Informe Final del Proyecto Ruta Sustentable. Universidad de Chile & Ministerio de Energía de Chile, 2021.

Además, varias empresas fueron contratadas para llevar a cabo la adquisición y gestión de datos. Como consideración adicional de coordinación, la comunicación entre la empresa distribuidora de los vehículos y la de monitoreo fue clave. En este caso, las empresas distribuidoras de Nissan y Hyundai tuvieron comunicación constante con las empresas GPS Chile y GT Mart; además, para estas organizaciones también existió una curva de aprendizaje, y entre las empresas se daba la gestión interna necesaria para que el equipo tuviera disponible los datos (Universidad de Chile & Ministerio de Energía de Chile, 2021). Adicionalmente, se mencionó que el equipo consultor realizó copias en Google Drive de los datos entregados por las empresas proveedoras del servicio con el fin de contar con un respaldo de los archivos. Por lo tanto, es recomendable dedicar computadores exclusivamente a la recopilación de datos.

Es común hacer una revisión sobre los resultados obtenidos previamente por otros proyectos, para proyectar cuál sería el comportamiento aplicado al proyecto en estudio y así tomar decisiones. Sin embargo, en el informe final se hace énfasis en que las proyecciones basadas en estudios ajenos pueden no ser las más confiables, ya que no se toman en cuenta muchos factores propios de cada proyecto, particularmente en proyectos relacionados a transporte, pues la geografía de cada región es singular y posee muchas características que no pueden ser replicadas. Entonces, la implementación de un piloto contextualizado a cada país es la estrategia más recomendada (Universidad de Chile & Ministerio de Energía de Chile, 2021).
En el caso de la información que se puede obtener sin necesidad de operar el VE, se recomienda consultar distintas fuentes de información, tales como las mostradas en la Tabla 7, de acuerdo con Universidad de Chile & Ministerio de Energía de Chile (2021).

Tabla 7. Tipo de información que no requiere un sistema de monitoreo para su estimación

FUENTE DE INFORMACIÓN	DESCRIPCIÓN
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	Modelo, marca, tiempo promedio de carga, capacidad de almacenamiento de la batería, tiempo de vida útil aproximado, sistema de enfriamiento de batería, potencia, torque, peso, velocidad máxima, autonomía, y peso.
OPERACIÓN HISTÓRICA DE VEHÍCULOS	Gastos de operación como costos de combustible y mantenimientos, tipo de operación, cantidad de viajes, cantidad de cargas, duración de cargas, inversión inicial para adquirir los vehículos en comparación con las opciones de combustión, inversión a la hora de recambio y reciclaje de baterías (La manera de consultar estos datos es por medio de entidades regulatorias de tarifas y de servicios de transporte público).
RECORRIDOS	Tipo de ruta, distancias, y pendientes mínimas promedio.

Basado en: Informe Final del Proyecto Ruta Sustentable. Universidad de Chile & Ministerio de Energía de Chile, 2021.

En lo que se refiere a la adquisición de datos que se obtienen al operar el vehículo propiamente, el informe final cuenta con variables concretas que se deben medir y la manera en la que pueden ser recopiladas. Estas variables son las mostradas en la Tabla 8, de acuerdo con Universidad de Chile & Ministerio de Energía (2021).

Tabla 8. Maneras de adquirir información de un VE operándolo.

FUENTE DE INFORMACIÓN	DESCRIPCIÓN
GPS DEL VEHÍCULO	Se puede obtener la posición del vehículo, distancias recorridas, pendientes de las rutas y velocidad.
EMPRESA FABRICANTE DEL VEHÍCULO O SISTEMAS DE MONITOREO	Estado de carga de la batería (SOC) o consumo de combustible.

Basado en: Informe Final del Proyecto Ruta Sustentable. Universidad de Chile & Ministerio de Energía de Chile, 2021.

Estos datos estaban disponibles para ser revisados en tiempo real de manera parcial, y los datos completos eran compartidos día a día, pues la empresa facilitaba una copia de estos al servidor del equipo consultor, específicamente de la Universidad de Chile. Adicionalmente, los datos sobre el estado de carga y consumo, que eran obtenidos por medio de la empresa fabricante, también requirieron de un dispositivo comprado a una tercera parte para su obtención.

La Figura 6 muestra un esquema de todo el proceso.

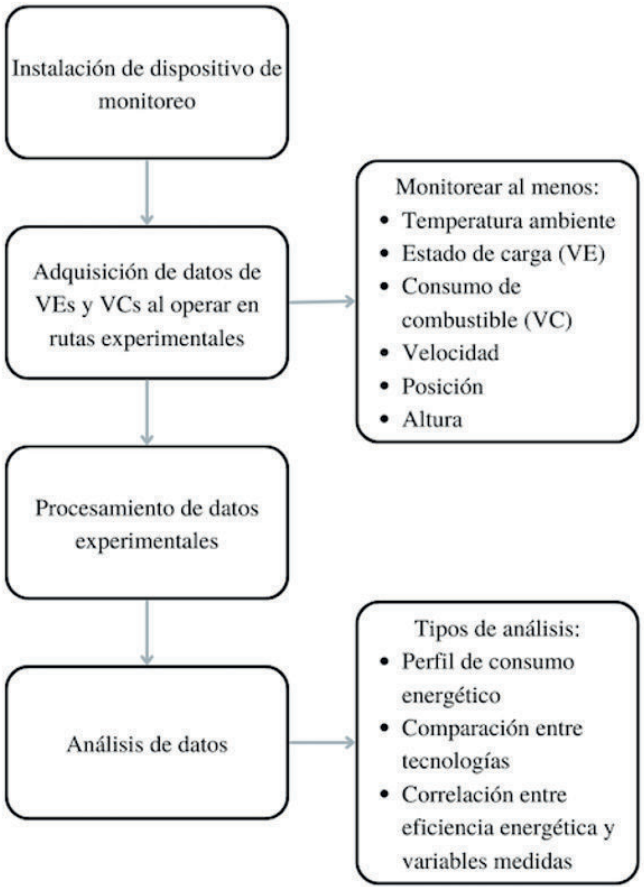


Figura 6. Diagrama de flujo del proceso para la adquisición de datos. Basado en Informe Proyecto Ruta Sustentable, por Universidad de Chile & Ministerio de Energía de Chile, 2021.

Para ilustrar el comportamiento de los VEs se utilizaron una serie de gráficos, que fueron las herramientas que permitieron obtener los resultados de la última sección del diagrama de flujo (Figura 6) como el perfil de consumo, comparación entre tecnologías, y correlación entre eficiencia y las variables. La Tabla 9 muestra un resumen de los gráficos analizados donde se puede observar, por ejemplo, cómo la topología asociada a ciertas rutas puede afectar el consumo de energía en viajes más exigentes; o por el contrario, la forma en la que se genera energía en rutas con pendientes negativas.

Durante el proceso experimental se presentaron dificultades para realizar la interrogación a la computadora del vehículo y extraer datos por medio del sistema de monitoreo, donde el principal inconveniente fue la compatibilidad entre el equipo que brindó la empresa y el vehículo. De acuerdo con la entrevista realizada a Jorge Reyes, no contar con el equipo adecuado generó atrasos significativos en la implementación del proyecto piloto.

Con el fin de solucionar el problema, se adquirió el dispositivo ELM327 mostrado en la Figura 7. Este dispositivo es capaz de conectarse al puerto OBDII presente en la mayoría de VEs y permitió monitorear los vehículos en este proyecto. Según Jorge Reyes, la principal diferencia entre este equipo y otros probados radica en que dicho equipo es capaz de interrogar a la computadora del vehículo por medio del protocolo OBDII completo, mientras que otros no podían solicitar los datos de manera que se pudieran registrar en la plataforma virtual (OBDII ELM327, 2022).

Tabla 9. Gráficos utilizados en el Proyecto Ruta Sustentable.

	EJE HORIZONTAL	EJE VERTICAL
1.	Distancia (km)	Rendimiento (km/kWh)
2.	Velocidad promedio (km/h)	Rendimiento (km/kWh)
3.	Ascenso (m)	Rendimiento (km/kWh)
4.	Descenso (m)	Rendimiento (km/kWh)
5.	Rendimiento (km/kWh)	SOC inicial (%)
6.	Rendimiento (km/kWh)	Temperatura (°C)
7.	Rendimiento (km/kWh)	Distancia (km)
8.	Rendimiento (km/kWh)	Velocidad promedio (km/h)

Basado en: Informe Proyecto Ruta Sustentable, Universidad de Chile & Ministerio de Energía, 2021.

Figura 7. Dispositivo ELM327 utilizado en el proyecto Ruta Sustentable para la adquisición de datos. Tomado de la página web de ELM327.

A pesar de que este equipo permitió tener compatibilidad con los vehículos Hyundai y Nissan, no fue posible realizar este mismo proceso con los buses eléctricos de la marca BYD, lo que representó un desafío importante para el equipo consultor del proyecto piloto de Chile, ya que no se tuvo un registro de la operación de estos buses. Por lo tanto, para efectos del análisis técnico, se generaron vacíos de información importantes debido a la falta de hardware compatible. Al considerar adicionalmente los atrasos descritos en el inicio del piloto, se evidencia la importancia de obtener el equipo de monitoreo adecuado como paso fundamental en la etapa de diseño del proyecto piloto.

Se destacó la relevancia del cuidado que se debe tener con el sistema de monitoreo a la hora de que se dé la operación. Para poder llegar a conclusiones acertadas, es necesario que los datos no cuenten con periodos de tiempo en los que no se recopile información, ya sea porque, por ejemplo, la persona que opera el taxi haya desconectado el equipo, caso que se dio en el Proyecto Ruta Sustentable. En ese sentido, se mencionó que es fundamental llegar a un acuerdo por escrito con el operador de taxi, en el cual se establezca que no se puede alterar el equipo instalado, y es importante comunicarle que el equipo brinda beneficios importantes a la hora de producir datos confiables.

En esa línea de contar con datos confiables, se destacó la importancia de realizar un pre-procesamiento de la información recopilada, pues existen otras causas que pueden llevar a contar con datos no confiables, como mediciones erróneas, o inclusive, datos faltantes que deberán interpolarse a causa de una mala comunicación en la red CAN.

La Tabla 10 enlista los principales hallazgos del piloto de taxis eléctricos en Chile:

Tabla 10. Lista de hallazgos del Piloto de Taxis Eléctricos en Chile Ruta Sustentable.

	EJE HORIZONTAL
1.	Para caracterizar la operación de VEs, se deben realizar mediciones de magnitudes electromecánicas como estados de salud y carga de la batería, velocidad, aceleración, y kilometraje.
2.	Es importante analizar la agresividad de conducción y los perfiles de consumo energético en proyectos piloto de VEs.
3.	Revisar resultados de proyectos piloto previos es una manera de garantizar la confiabilidad de los registros obtenidos.
4.	Asegurarse que la empresa que realiza el monitoreo tenga la capacidad de registrar las mediciones para la marca de vehículos que se esté utilizando.
5.	Se deben realizar mediciones cada 60 segundos en todas las variables.
6.	Dedicar computadores exclusivamente a la recopilación de datos.
7.	Se puede obtener información valiosa de los VEs operándolos, pero también existen datos que se pueden adquirir sin necesidad de operación.
8.	Para apreciar visualmente el comportamiento de los vehículos, es importante realizar gráficos que muestren las tendencias de las variables electromecánicas en distintas condiciones.
9.	Generar acuerdos por escrito con el operador de taxi es fundamental para garantizar que los sistemas de monitoreo no sean desconectados.
10.	Se contrataron 2 empresas para el monitoreo: GT Mart y GPS Chile.
11.	Limpiar y preprocesar datos es clave para verificar que los datos medidos sí corresponden con los fenómenos físicos estudiados.

6.2 Programa Mi Taxi Eléctrico: piloto de taxis eléctricos en Chile

El proyecto Mi Taxi Eléctrico consiste en un programa desarrollado por el estado chileno, con el financiamiento del Ministerio de Energía, y ejecutado por la Agencia de Sostenibilidad Energética (AgenciaSE). Esta última es una entidad que impulsa distintas iniciativas para contribuir al desarrollo de la movilidad eléctrica en el país.

La Tabla 11 resume las generalidades del proyecto Mi Taxi Eléctrico.

Tabla 11. Generalidades del proyecto Mi Taxi Eléctrico.

DURACIÓN	ALCANCE GEOGRÁFICO
12 meses (no finalizado a la fecha de elaboración del informe)	Santiago de Chile

En la entrevista realizada, Javier Rojas, coordinador del Programa Mi Taxi Eléctrico, mencionó que el proyecto consiste en brindar acompañamiento a la adquisición de 50 VEs que serán utilizados como taxi básico, (es la modalidad de taxi clásica utilizada en Chile). Los vehículos utilizados fueron marca BYD modelo E5, y los beneficios que contempla el proyecto son 3: aportes económicos (beneficio a la compra del vehículo y cofinanciamiento variable hasta por 9000 USD), infraestructura de carga, y reportes de monitoreo.

Para este caso, es importante resaltar que los resultados de operación del piloto aún no han sido difundidos de manera pública. Por lo tanto, la recopilación de información se dio principalmente con base en la entrevista realizada a Javier Rojas. Sin embargo, para aprender de las generalidades, se utilizó como recurso el documento de lecciones aprendidas desarrollado por la AgenciaSE y el Ministerio de Energía de Chile.

Adicionalmente, de manera paralela a la operación de estos vehículos, surgió la necesidad de trabajar un piloto adicional de 8 VEs (no especificados), los cuales fueron monitoreados para que la AgenciaSE se familiarizara con el proceso de adquisición y gestión de datos, y así poder implementarlo en Mi Taxi Eléctrico.

En términos del sistema de monitoreo, se utilizaron dos tecnologías: sensores CAN sin contacto y una conexión al puerto OBDII del vehículo, la cual se dividió utilizando un splitter. Se mencionó que existen distintas maneras de obtener variables electromecánicas en estos vehículos marca BYD. Por otra parte, el valor del uso de los sensores sin contacto radica en que no se debe intervenir el vehículo (el puerto OBDII) para adquirir información, por lo que es una manera de prevenir que el acuerdo de garantía se vea afectado por el proceso de adquisición y gestión de datos.

Asimismo, valores que pueden ser obtenidos mediante cálculos, como la potencia eléctrica, no son variables que el vehículo transmite, sino que la calcula utilizando ecuaciones matemáticas. Por otra parte, los sensores colocados son capaces de transmitir información de manera binaria para ser interpretada por una solución externa.

En la entrevista se hizo énfasis en la importancia de comprender adecuadamente la diferencia entre la frecuencia a la que el vehículo mide un dato y cada cuánto transmite ese dato por medio del sistema de comunicación CAN. En el caso de los vehículos BYD E5 del proyecto, el VE mide datos cada 100 milisegundos, sin importar cada cuánto se exporten esos datos al software. Por otro lado, ese dato se va a transmitir en periodos distintos, dependiendo de las configuraciones hechas por cada empresa. Por lo tanto, este último factor es parte de la oferta de valor que brinde la empresa al proyecto. Para este piloto se solicitó brindar los datos por vehículo al final de cada día de operación, y las variables para procesar se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Variables procesadas en el Proyecto Mi Taxi Eléctrico.

	VARIABLE	UNIDADES
1.	Lugar de carga	-
2.	Potencia de carga promedio	kW
3.	Potencia de carga mínima	kW
4.	Potencia de carga máxima	kW
5.	Energía consumida	kWh
6.	Energía cargada	kWh
7.	Energía regenerada por freno regenerativo	kWh
8.	Rendimiento promedio	km/kWh
9.	SOC mínimo	%
10.	SOC máximo	%
11.	SOC total de operación (%)	%
12.	SOC total de carga (%)	%
13.	SOC bajo 20%	-
14.	Tiempo total de carga	h
15.	Número total de cargas	-
16.	Distancia recorrida	km
17.	Velocidad	km/h
18.	Reducción de emisiones de CO^2	Ton CO^2
19.	Consumo de combustibles	l
20.	Ahorro energético	kWh
21.	Autonomía mínima	km

Nota: Las variables cuya unidad es "-" corresponden a cantidad de eventos.

Debido a que no se cuenta con un informe técnico detallado, no existe una propuesta metodológica publicada que mencione cómo se realizó la interpretación visual de estas variables enlistadas. Sin embargo, en la entrevista con Javier Rojas se mencionó que los gráficos de interés son los mencionados en la Tabla 13. De esta manera, usando, por ejemplo, un registro de la energía utilizada para cargar el VE y la frecuencia con la se carga cierta cantidad de energía, se pueden determinar los patrones de carga, lo que a su vez se correlaciona con otras variables, como la tasa de degradación del paquete de baterías de alta tensión.

Tabla 13. Gráficos utilizados en el Proyecto Mi Taxi Eléctrico.

	EJE HORIZONTAL	EJE VERTICAL
1.	Aceleraciones bruscas	Rendimiento promedio (km/kWh)
2.	Velocidad máxima (km/h)	Rendimiento (km/kWh)
3.	Velocidad promedio (km/h)	Rendimiento (km/kWh)
4.	Energía cargada	Frecuencia
5.	Energía descargada	Frecuencia
6.	Distancia	Frecuencia

Adicionalmente, el Señor Rojas destacó la importancia de la utilización de un acuerdo escrito entre personas operadoras de los VEs y las instituciones que llevan a cabo el monitoreo. Dentro de las principales consideraciones, se incluyó que las personas operadoras de los taxis, para participar en el proyecto, debían aceptar que el vehículo fuera monitoreado para eventualmente tener datos que pudieran ser publicados. Sin embargo, se hizo énfasis en mencionar que todo el análisis se realizaría desde el anonimato y las identidades de las personas conductoras no serían de interés para el proyecto piloto. Como ventaja adicional, se acordó brindarles reportes de operación a las personas conductoras para poder familiarizarse con la tecnología y cuantificar los beneficios.

Resumen de hallazgos

En la Tabla 14 se resumen los principales hallazgos del proyecto Mi Taxi Eléctrico. Es importante señalar, que para este proyecto de taxis se contrató a una empresa local que desarrolló un sistema de recolección de datos propio que se ajustaba a los requerimientos particulares del proyecto.

Tabla 14. Lista de hallazgos del proyecto Mi Taxi Eléctrico.

	HALLAZGOS
1.	Fue importante explorar la funcionalidad de los sistemas de adquisición y gestión de datos en los 50 VEs de Mi Taxi Eléctrico, previo a la implementación a gran escala.
2.	Se contrataron los servicios de un emprendimiento que desarrolló una solución específica para el equipo consultor.
3.	Contar con sensores para la red CAN sin contacto permite cuidar aspectos de garantía del vehículo.
4.	Algunas variables de interés no provienen de una medición como tal, sino que se utilizan cálculos para obtenerlas y eso tiene incidencias en la precisión de los datos.
5.	Existe una diferencia importante entre los tiempos de medición de las variables y los de registro de la medición en el software.
6.	Parte de lo que le brinda a una empresa la ventaja en el mercado de sistemas de monitoreo es la capacidad de registrar datos frecuentemente (en el orden de los milisegundos).

	HALLAZGOS
7.	Existen distintas variables que se pueden registrar de una misma magnitud física, como el caso de las velocidades máxima, mínima, y promedio.
8.	Observar qué tan frecuentemente un vehículo alcanza valores tanto altos como bajos de carga es valioso, porque brindan contexto acerca de los motivos de la degradación de la batería.
9.	Los sistemas de monitoreo pueden ser utilizados como un incentivo para participar en proyectos de electromovilidad, no como un aspecto negativo.

6.3 Proyecto piloto de Vehículos Eléctricos para transporte público: Piloto de Buses Eléctricos en Costa Rica

Contenido del proyecto

El proyecto se trata de una iniciativa de incorporación de la electromovilidad en el servicio de transporte público en el Gran Área Metropolitana de Costa Rica. El gobierno alemán realizó, por medio del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMU), la donación de tres autobuses eléctricos para ser utilizados en la implementación de un piloto enmarcado dentro del proyecto MiTransporte, ejecutado por la Cooperación Alemana para el Desarrollo – GIZ. La Tabla 15 resume las generalidades del proyecto, donde se indica la duración y área de cobertura del proyecto.

Tabla 15. Generalidades del proyecto Piloto de Buses.

DURACIÓN	ALCANCE GEOGRÁFICO
6 meses	Costa Rica Ruta 70: San José-Desamparados-San Rafael Ruta 200: San José-Alajuela

El piloto fue ejecutado en colaboración con el Comité para la Electrificación del Transporte Público (CETP), que está compuesto por distintas instituciones públicas del país relacionadas con la promoción del transporte eléctrico, así como con la participación de agencias de cooperación internacional. Durante el desarrollo del piloto, se conformó un equipo técnico conformado por GIZ, ICE y HEAT (empresa consultora contratada por GIZ).

Con el fin de realizar análisis comparativos, se tuvo la intención de analizar de manera paralela el comportamiento de buses de diésel. Según Gerardo Guadamuz, en la ejecución del piloto se utilizaron únicamente dos de los tres autobuses eléctricos donados por el gobierno alemán, dejando el tercero como reserva en caso de que sucediera algún imprevisto con los que se encontraban en operación. Al mismo tiempo, se monitorearon buses "espejo" de diésel, que realizaban las mismas rutas que sus contrapartes eléctricas. Esta iniciativa se llevó a cabo desde el 2018 y culminó en el 2022, dejando aportes importantes para pilotos futuros similares (GIZ y MINAE, 2021).

El diseño del piloto de buses eléctricos tomó en cuenta las características de Costa Rica, por lo que representa una referencia clave para el proyecto de taxis eléctricos, especialmente en cuanto a las variables registradas y la disponibilidad de equipos en el país. Para el proyecto se utilizaron buses eléctricos BYD K9FE 2020. Por otra parte, los buses de diésel monitoreados utilizados tienen chasis Mercedes Benz 0500M OH 1826, motor EUROV Mercedes Benz

OM926LA de 7.2 l y 260 kW, y carrocería Neobus MegaPlus 13,2 m modelo 2017 (GIZ & Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Obras Públicas y Seguridad Nuclear de la República Federal de Alemania, 2021).

Al inicio del proyecto, se propuso medir de manera específica cada variable identificada, utilizando métodos distintos según el tipo de variable. Las rutas en las cuales se llevó a cabo el monitoreo fueron la Ruta 70: San José - Desamparados - San Rafael, que es operada por el Grupo ATD, y la Ruta 200: San José - Alajuela por INVU, que es operada por la empresa TUASA (GIZ & Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Obras Públicas y Seguridad Nuclear de la República Federal de Alemania, 2021). En el informe, las entidades autoras muestran una tabla en la que especifican cómo se midieron los valores de las variables escogidas, y también mostradas en la Tabla 16.

Tabla 16. Variables recopiladas en el proyecto MiTransporte.

VARIABLE	MEDICIÓN
USO DE ENERGÍA	Es el consumo de diésel, que fue medido por el operador en el caso de los buses de combustión, y consumo de electricidad en los buses eléctricos. Kilometraje por mes, medido por medio de odómetro o GPS.
KILÓMETROS DIARIOS	Se midió tanto los kilómetros del recorrido en el que viajaron personas pasajeras, como los que el bus utilizó para movilizarse del plantel de estacionamiento, hasta el punto en el que inicia la ruta. Medidos por medio de GPS.
PASAJEROS DIARIOS	Se refiere a la cantidad de personas pasajeras que utilizaron el servicio por día. Medido por medio de equipos instalados en cada autobús.
USO DE LOS NEUMÁTICOS	Es la fecha de reemplazo utilizando el odómetro, cantidad de neumáticos reemplazados.
REPUESTOS USADOS	Son los días requeridos para obtener un repuesto específico, tipo del repuesto necesario, y su respectivo precio.
TASA DE DISPONIBILIDAD DE AUTOBUSES	Se documentó el periodo de tiempo, en horas o días, en el que algún autobús no pudo entrar en operación, registrado también con el respectivo motivo de su falla. Las causas de estas fallas fueron documentadas por el operador.
ESTADO DE CARGA DE LA BATERÍA	Se utilizaron los datos que se pueden extraer utilizando una plataforma de monitoreo específica para los dispositivos de carga instalados.
USO DE ENERGÍA Y ESTADO DE SALUD DE LA BATERÍA	Hace referencia a la electricidad utilizada para el movimiento del vehículo y la utilizada en sistemas auxiliares. Se mide por medio del sistema de monitoreo de las unidades cada 6 meses.
TASA DE DISPONIBILIDAD DE ESTACIÓN DE CARGA	Se utilizó para documentar el tiempo en el que un cargador se encuentra fuera de servicio junto con su respectivo motivo.
PATRÓN DE USO DE LA ESTACIÓN DE CARGA	Tiempo que tarda el vehículo por cada carga, consumo eléctrico en kWh, y demanda máxima en kW diaria.
MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE ESTACIONES DE CARGA	Fechas de mantenimiento, motivo, y piezas de repuesto. Estos casos fueron registrados por el operador e informados al ICE.

Basado en: Resultados del proyecto piloto de buses eléctricos en el GAM. Por GIZ & MINAE, 2021.

En el Informe Resultados del Proyecto Piloto de Buses Eléctricos en el GAM (Gran Área Metropolitana) (2021), el equipo consultor mostró los resultados obtenidos durante la etapa experimental. En esta etapa, se contrató a la empresa NAVISAF, que cuenta con la representación de la empresa Geotab, para que realizara el monitoreo de las distintas variables, y así gestionar los datos. Las variables utilizadas para realizar los gráficos mencionados en la Tabla 17 fueron:

- Cantidad de pasajeros.
- Cantidad de kilómetros recorridos por el bus.
- Velocidad en km/h.
- Rendimiento: kWh/km para los eléctricos y l/km para los de combustión.
- Consumo: kWh para los eléctricos y litros (l) de diésel para los de combustión.

Adicionalmente, se realizaron una serie de gráficos para tener representaciones visuales del comportamiento de los buses. De manera resumida, las variables de interés recopiladas durante este proyecto piloto se pueden observar en la Tabla 17.

Tabla 17. Variables recopiladas en el proyecto.

	HALLAZGOS
1.	Pasajeros transportados mensuales promedio en días laborales en comparación con fines de semana
2.	Consumo específico de energía promedio para los buses monitoreados.
3.	Porcentaje de energía regenerada promedio por las unidades eléctricas en el ramal San José-San Rafael.
4.	Porcentaje de energía regenerada promedio por las unidades eléctricas en el ramal San José-Aserrí.
5.	Emisiones de CO2 de la operación de los buses monitoreados.
6.	Consumo de energía de las unidades eléctricas en conducción y ralentí.
7.	Costo de operación promedio diario por mes asociado al combustible o energía de los buses monitoreados.
8.	Costo de operación promedio por kilómetro asociado al combustible o energía de los buses monitoreados.

Basado en: Resultados del proyecto piloto de buses eléctricos en el GAM. Por GIZ & MINAE, 2021.

En este proyecto, pionero en el país, la GIZ y el MINAE identificaron aspectos de mejora para futuras implementaciones de proyectos piloto, tanto factores legales como técnicos. En el informe final del proyecto piloto, en lo que se refiere a la adquisición de datos propiamente, se mencionan recomendaciones concretas, como contar con un sistema de equipos dedicado exclusivamente al monitoreo y control de operación de los buses, punto que se relaciona a su vez con la recomendación de incluir por escrito en los contratos y acuerdos legales que el operador se compromete a realizar las mediciones mencionadas en el diseño del piloto.

Otro factor clave corresponde a los posibles aumentos en la demanda causados por el interés generado por el proyecto. Al introducir una tecnología novedosa al país se crea expectativa por parte de las personas usuarias, y dichas implicaciones, en cuanto a la demanda del servicio, se deben contemplar al realizar proyecciones a futuro, considerando el aumento de la cantidad de VEs operando en transporte público. Esto es particularmente relevante, ya que tiene incidencia directa en el análisis y la gestión de los datos adquiridos (GIZ & MINAE, 2021).

Resumen de hallazgos

Los principales hallazgos identificados del Proyecto Piloto de Buses se presentan en la Tabla 18. En ella, se hace la recomendación de realizar análisis espejo para comparar, por ejemplo, el rendimiento energético de manera justa entre vehículos de combustión interna y VEs.

Tabla 18. Lista de hallazgos del proyecto Piloto de Buses.

	HALLAZGOS
1.	Es recomendable realizar un análisis paralelo en vehículos de combustión cuando se hacen estudios en VEs.
2.	Se dedicó un autobús a ser utilizado exclusivamente como reserva en caso de falla y para estudios de laboratorio.
3.	Es fundamental tener claridad antes de dar inicio al piloto acerca de cómo se pueden registrar las variables.
4.	No se pudo recopilar todas las variables que se tenían contempladas en el diseño del piloto.
5.	Es fundamental generar un compromiso escrito en el cual se especifique que la persona operadora del VE debe darle prioridad al registro de variables que se le solicite.
6.	Al modelar la demanda del servicio se debe tener en cuenta el efecto que tiene introducir una nueva tecnología y la curiosidad que eso despierta en las personas usuarias.
7.	A la hora de registrar las variables en el monitoreo es importante tomar en cuenta el ralentí, ya que permite caracterizar el consumo de energía en estos periodos de tiempo.

6.4 Proyecto de VEs para uso comercial: Piloto de Carga Liviana en Costa Rica

En este proyecto se realizó un análisis técnico-financiero del impacto que puede tener reemplazar vehículos de combustión por vehículos eléctricos en aplicaciones comerciales tradicionales como transporte de equipo y personas. Este piloto se enmarcó en el Proyecto MiTransporte ejecutado por GIZ, y se seleccionó al Laboratorio de Investigación de Vehículos Eléctricos (LIVE) del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR o TEC) para desarrollar la comparación de un vehículo carga liviana eléctrico con uno de combustión interna.

La Tabla 19 ilustra las generalidades de proyecto de carga liviana el país, que fue realizado en las empresas Multifrío, Coopetarrazú y Fortech.

Tabla 19. Generalidades del Proyecto de Carga Liviana.

DURACIÓN	ALCANCE GEOGRÁFICO
17 de enero a 26 de febrero de 2022 (2 meses).	Gran Área Metropolitana de Costa Rica, Perez Zeledón, San Marcos de Tarrazú, Limón, Liberia, Río Segundo.

El proyecto se implementó por medio de un proceso de selección de distintas empresas, en el cual el vehículo eléctrico tipo panel debía realizar los mismos recorridos realizados por los vehículos de combustión interna de estas empresas con características técnicas similares. Se seleccionaron compañías con operaciones en rutas que favorecieran la eliminación de mitos tradicionales que existen alrededor de vehículos eléctricos, como por ejemplo, su uso en topografía con pendientes pronunciadas. Otro factor que se consideró fue la conciencia ambiental para la selección final de las empresas mostradas en la Tabla 20.

Tabla 20. Lista de empresas participantes del Proyecto de Carga Liviana.

EMPRESA	PERIODO DEL ESTUDIO	MUESTRAS CAPTADAS
COOPETARRAZÚ R.L.	de enero al 2 de febrero de 2022	13
MULTIFRÍO S. A.	7 al 17 de febrero de 2022	9
FORTECH C. R.	23 al 25 de febrero de 2022	3 (no se considera suficiente)

Nota: las muestras captadas corresponden con los recorridos realizados.

Durante este proceso, se recopilaron una serie de datos, mientras los vehículos realizaban sus recorridos usuales, para así determinar las diferencias en términos de costos y beneficios para el medio ambiente. El equipo consultor definió que el modelo a utilizar fuera el que se muestra en la Figura 8, un BYD modelo T3, año 2022 (TEC, 2022).

Figura 8. BYD T3 2022 utilizada para el Proyecto de Carga Liviana. Tomado de Estudio de prefactibilidad técnico-financiero basado en el análisis del ciclo de vida útil, para la comparación de un vehículo tipo carga liviana eléctrico contra uno de combustible fósil, por el TEC (2022).

Una parte fundamental de esta iniciativa fue la implementación de un sistema de telemetría que permitiera obtener información acerca del comportamiento del vehículo en los recorridos que hizo. Según Sergio Morales, para lograr este monitoreo se contrató a la empresa NAVISAF, la cual provee la plataforma en línea MyGeotab que se observa en la Figura 9, junto con el dispositivo de hardware de Geotab. Se añadió que una de las ventajas de este dispositivo es que cuenta con una memoria de respaldo que podía ser accedida, incluso cuando el dispositivo perdiera conexión por internet y no pudiera guardar los datos en su respectiva plataforma en línea. De acuerdo con lo mencionado en el informe de resultados, la única conexión que se tuvo que realizar fue conectar el dispositivo que brinda la empresa Geotab al puerto OBDII (TEC, 2022).

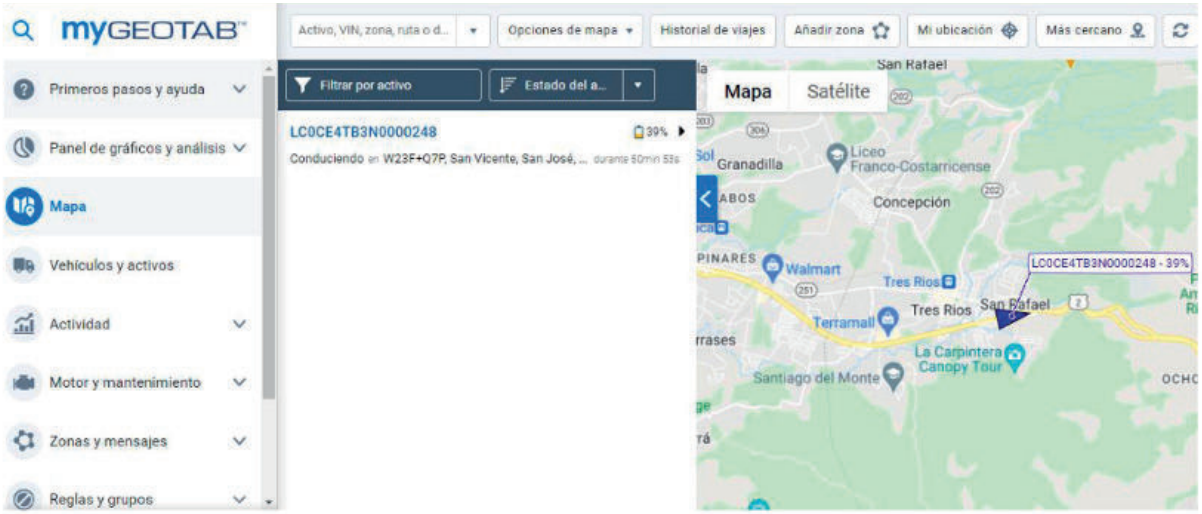


Figura 9. Interfaz MyGeotab utilizada para el monitoreo de operación de los vehículos utilizados en el Proyecto de Carga Liviana. Tomado de Estudio de prefactibilidad técnico-financiero basado en el análisis del ciclo de vida útil, para la comparación de un vehículo tipo carga liviana eléctrico contra uno de combustible fósil, por el TEC.

Otro factor por tomar en cuenta es el periodo de duración del experimento. En este proyecto la toma de datos duró alrededor de dos meses. Para efectos de este proyecto se contó con una persona especialista en estadística, que indicó que ese periodo de tiempo era suficiente para los análisis que finalmente se realizaron. Este es un aspecto clave debido a que, dependiendo del tipo de estudio, la cantidad de muestras mínimas será distinta. Según Sergio Morales, como se pretendía desarrollar un estudio en las rutas tradicionales que recorren los vehículos, no se requería de una muestra de varios meses o años.

Una parte fundamental del análisis técnico de los datos realizado en el proyecto de carga liviana fue esa designación de una persona especialista en estadística, quien se encargó de generar parámetros que aseguraran que la cantidad de datos obtenida por medio del monitoreo fuera suficiente para llegar a conclusiones válidas. Los parámetros monitoreados fueron los siguientes:

- **Margen de mínimos:** la cantidad de muestras para el experimento realizado en conjunto con CoopeTarrazú fue de 13, para Multifrío S.A. fue de 9 y para Fortech fue de 3. Se determinó que el estudio realizado en conjunto con la empresa Fortech no reunió la cantidad de muestras necesarias para emitir un criterio válido (TEC, 2022).
- **Utilización del vehículo**: 3 veces a la semana.

- **Modelos estadísticos:** se analizó la media, desviación estándar, varianza y coeficiente de varianza para las variables que se registraron (TEC, 2022).

Los datos que se recopilaron, de acuerdo con el Informe de Resultados, mediante este sistema de adquisición de datos son los mencionados a continuación:

- Ubicación geográfica.
- Altitud.
- Distancia recorrida.
- Velocidad instantánea.
- Energía consumida.
- Energía regenerada.
- Emisiones evitadas y emitidas de CO2.
- Energía por unidad de distancia.
- Distancia por unidad de energía.
- Cantidad de litros de combustible utilizado por unidad de distancia.

En términos de los análisis que se realizaron, Morales mencionó que se graficó el rendimiento del vehículo según la cantidad de kilómetros recorridos para el vehículo eléctrico y el de combustión. Por lo tanto, para VEs se realizó kWh/km y para los de combustión en l/km. Adicionalmente, en el informe de resultados se presentaron diversos tipos de representaciones visuales de los datos, los cuales se muestran en la Tabla 21.

En especial, es importante notar que el costo asociado a la energía eléctrica está relacionado, fundamentalmente, con el tipo de tarifa eléctrica a la cual la persona o empresa dueña de los VEs tiene acceso por medio de su actividad económica.

TIPO DE REPRESENTACIÓN VISUAL	OBJETIVO
Diagrama de Pareto.	Definir los viajes más representativos de los realizados.
Tablas con costos del vehículo, mantenimientos e instalación eléctrica.	Cuantificar las implicaciones económicas que se deben considerar a la hora de adquirir un VE.
Costos de la energía dependiendo las distintas alternativas tarifarias posibles.	Determinar el ahorro que se da debido a la regeneración de energía eléctrica.
Proyecciones de montos por energía para distintos modelos tarifarios.	Determinar el efecto de las tarifas en vigencia en los modelos de negocios.
Valor del vehículo para venta luego de ocho años.	Comparar costos con vehículos de combustión.
Costos del ciclo de vida útil.	Comparar costos con vehículos de combustión.
Medidas de tendencia y variación.	Determinar la fluctuación en el comportamiento de los VEs en las operaciones realizadas.
Comparación de consumo en conducción y ralentí.	Determinar si los VEs cumplen con los estándares internacionales de rendimiento.
Energía consumida y recuperada en el tiempo.	Modelar el ahorro que se genera como consecuencia de la recuperación de energía.

Basado en: Informe de Resultados del Proyecto de Carga Liviana. Por ITCR, 2022.

Resumen de hallazgos

La Tabla 25 resume los principales hallazgos asociado al Proyecto de Carga Liviana. Entre ellos, se debe destacar la importancia de realizar pruebas a los VEs usando rutas habituales y en condiciones de operación normales, como las que se harían con vehículos de combustión interna. Lo anterior, con el objetivo de realizar estudios representativos.

Tabla 22. Lista de hallazgos del Proyecto de Carga Liviana.

	HALLAZGOS
1.	Llevar a cabo un análisis económico es fundamental si se desea justificar la viabilidad del uso de VEs.
2.	Se realizó un estudio espejo entre un VE y un VC.
3.	Es importante utilizar estos estudios para derrumbar mitos existentes con respecto a los VEs por medio de rutas difíciles y largas.
4.	Monitorear los vehículos en sus condiciones de uso habituales es clave para demostrar que son funcionales en aplicaciones diarias y no solo puntuales.
5.	Es valioso que el sistema de monitoreo cuente con una memoria de respaldo para no perder datos al desconectarse de internet.
6.	La cantidad de muestras que se obtengan define si un estudio puede brindar resultados confiables.
7.	Una persona especialista en estadística puede colaborar dando garantía de que la cantidad de muestras recopiladas permita llegar a conclusiones acertadas.
8.	Utilizar métricas clásicas como varianza y desviación estándar es importante en el análisis, debido a que brinda información acerca de la manera en que fluctúa el comportamiento del VE.
9.	Es valioso realizar la equivalencia entre consumo energético de VEs y VCs por medio de la cantidad de kilómetros recorridos por unidad de energía.

7. ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE LAS BUENAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS

7.1 Análisis de buenas prácticas de los distintos proyectos

Los proyectos analizados en este informe presentan similitudes en la manera en la que se implementó el monitoreo de datos, pero también se identificaron algunas diferencias. A partir de los hallazgos, se puede definir aquellas prácticas que pueden resultar más beneficiosas para el proyecto piloto de taxis eléctricos modalidad aeropuerto.

Para entender los motivos de las metodologías implementadas en los proyectos estudiados, es importante primero analizar los fines de cada uno. Los proyectos Ruta Sustentable y Mi Taxi Eléctrico cuentan con características similares, como lo son la puesta en marcha de VEs para ser usados como taxis tradicionales, a pesar de que Ruta Sustentable sí incluyó otros tipos de vehículos como autobuses en una cantidad limitada. Ambos proyectos también son similares en la escala que abarcaron, con 25 y 50 vehículos monitoreados respectivamente, por lo que

es esperable encontrar similitudes entre las buenas prácticas identificadas para estos pilotos. Adicionalmente, los proyectos MiTransporte (2 autobuses en operación y 1 en reserva) y el de Carga Liviana (solo 1 vehículo de carga liviana en operación) son drásticamente diferentes debido a que utilizan una escala mucho menor y otro tipo de vehículos con operaciones y condiciones totalmente distintas a las de los taxis tradicionales. Por ende, es esperable que algunas de las recomendaciones que se esperan obtener de estos sean distintas a los casos de Chile.

Estas discrepancias pueden ser observadas entre los proyectos de taxis tradicionales y los buses o carga liviana. En el último caso, se contó con rutas fijas (en el caso de buses) o semifijas (en el caso de carga liviana) de operación, en las cuales las rutas seguidas fueron similares cada vez que se registraron, y, por ende, no hubo mucha variabilidad. Sin embargo, para un proyecto de taxis es necesario diseñar un piloto que tenga en consideración la relativa aleatoriedad de los servicios de taxi. Por esta razón, una buena práctica a adoptar es registrar la posición geográfica del vehículo, ya que no se tiene certeza sobre las rutas a seguir cada día. En ese sentido, es importante realizar análisis con el fin de determinar si existen tendencias o distribuciones probabilísticas que puedan caracterizar la operación de los taxis.

En esa misma línea, uno de los aspectos más importantes respecto a buenas prácticas relacionadas a sistemas de adquisición y gestión de datos es determinar cuáles variables son fundamentales para el estudio a realizar. Un detalle particular que diferencia a ambos proyectos de Chile es el hecho de que solamente en Ruta Sustentable se tomó en cuenta la altimetría como una variable de relevancia. Para efectos de Costa Rica, que es un país con gran variedad de altitudes, es importante tener la capacidad de analizar el consumo energético en kWh a la hora de atravesar rutas con inclinación importante y el desgaste que puede ocasionar en la capacidad de almacenamiento de energía del paquete de baterías. Sin embargo, Mi Taxi Eléctrico llevó más allá el nivel de detalle de ciertas variables, como lo fue el tema de las cargas del vehículo. En este caso, se analizó el número de cargas que se realizó por día y las veces que el vehículo estuvo por debajo del 20% en su SOC, lo que resulta en un análisis más profundo que únicamente monitorear el valor porcentual del SOC a lo largo del día.

Otra diferencia marcada en las metodologías es que en Ruta Sustentable se recomendó registrar datos cada 60 segundos mientras que en Mi Taxi Eléctrico se llevó a cabo en periodos de 10 segundos. Para realizar un estudio riguroso de la operación, es ideal contar con una periodicidad más similar a la utilizada en Mi Taxi Eléctrico, o incluso menor, porque al contar con tal nivel de detalle se le da un grado de continuidad mayor a los datos, a pesar de seguir siendo discretos. En ese sentido, ambos proyectos coinciden en que la empresa proveedora del servicio de monitoreo deba tener la capacidad de registrar y procesar datos con esa periodicidad y de medir las variables mencionadas previamente. Contar con ese nivel de periodicidad implica una gran cantidad de datos que deben ser almacenados según se vayan transmitiendo a los servidores. Por lo tanto, lo mencionado por el equipo de Mi Taxi Eléctrico con respecto a la necesidad de contar con computadoras dedicadas a estos registros está justificado.

Una particularidad específica de los proyectos locales se pudo apreciar con MiTransporte en el registro de la cantidad de pasajeros que hacen uso del servicio a lo largo del día. Es claro que este estudio de pasajeros es propio de un autobús, lo cual demuestra la diferencia entre los distintos tipos de análisis que se pueden realizar dependiendo del tipo de VE en estudio. Esta se puede considerar una buena práctica a adoptar, debido a que puede tener efectos en el consumo energético del vehículo y las necesidades de recarga a lo largo del día. Sin embargo, es importante aclarar que este tipo de datos no son recopilados mediante un sistema de

monitoreo por medio del puerto OBDII como tal, sino que requiere de un sistema de medición adicional. En este proyecto es necesario determinar la cantidad usuarios que utilizan los taxis aeropuerto, y para ellos se debe desarrollar una metodología independiente del sistema de monitoreo basado en las lecturas a través del puerto OBDII.

Por lo tanto, tomando como base los estudios mencionados y las características propias de los taxis aeropuerto, la Tabla 23 muestra las variables medibles por medio de puerto OBDII consideradas de interés para este estudio.

Tabla 23. Variables a monitorear para el piloto de taxis en el aeropuerto.

	VARIABLE A REGISTRAR CADA 1-10 S	UNIDAD
1.	Energía consumida	kWh
2.	Energía cargada	kWh
3.	Energía regenerada	kWh
4.	Kilometraje recorrido	km
5.	Estado de carga de la batería	%
6.	Estado de salud de la batería	%
7.	Velocidad promedio	km/h
8.	Temperatura de la batería de alta tensión	°C
9.	Emisiones de CO^2	ton
10.	Rendimiento	kWh/100 km
11.	Tiempo de duración de carga	h
12.	Tipo de carga que realiza el vehículo	L1, L2, L3
13	Potencia consumida por el vehículo	kW
13.	Tiempo total de carga	h
14.	Potencia a la que se carga	kW
15.	Torque del motor	Nm
16.	Modo de operación	Aceleración, desaceleración, o ralentí

Otro factor fundamental en el que se hizo énfasis, particularmente en Ruta Sustentable y el proyecto de Carga Liviana en comparación con los otros pilotos, fue la confiabilidad, limpieza, y pre-procesamiento de datos. Como se ha mencionado, la principal motivación detrás de un estudio de este tipo es generar resultados que reflejen la operación real de los VEs, por lo que se debe contar con una cantidad de mediciones mínimas para generar conclusiones confiables. Esto implica que será necesario, en ciertos casos, eliminar datos no congruentes o vacíos de información.

Ambos proyectos de Chile presentan una diferencia fundamental respecto a la manera en que realizaron la contratación del servicio de monitoreo. El proyecto Ruta Sustentable contrató los servicios de empresas especializadas en este tipo de servicios como lo fueron GT Mart y GPS Chile. Por otro lado, en Mi Taxi Eléctrico lo que se hizo fue que un emprendimiento local chileno desarrolló una solución específica para las necesidades del proyecto. Este es un aspecto importante para considerar, a causa de la diferencia que pueda existir entre el servicio brindado al equipo consultor y el efecto que tiene en la manera de interpretar los datos. En términos generales, la trayectoria y experiencia en proyectos de movilidad eléctrica con la que pueda contar la empresa contratada es crucial, pues es un caso de estudio específico que requiere de conocimiento especializado. Por tanto, es preferible contratar los servicios de una empresa que haya monitoreado VEs en el pasado como se hizo en MiTransporte y el proyecto de carga liviana con Geotab.

A pesar de esto, en los cuatro proyectos existe una gran cantidad de similitudes en términos de las buenas prácticas observadas. La gran mayoría de variables monitoreadas fueron las mismas: velocidad del vehículo, potencia que consume, energía que recupera o demanda, rendimiento, temperatura, y emisiones. Adicionalmente, en 3 de los 4 proyectos se hizo énfasis en la importancia de contar con un estudio espejo, en el que se analizaran VCs de manera paralela para cuantificar las diferencias entre ambas tecnologías. Otro punto importante del cual se debe aprender es la generación de un acuerdo contractual entre instituciones ejecutoras del proyecto y las personas que manejaron los vehículos, ya que tener claridad en cuanto a los términos y condiciones que deben respetarse en la duración del piloto tienen un gran impacto en la calidad del estudio. Como se mencionó en la etapa de recopilación de información, garantizar el buen estado del equipo para que se dé una transmisión constante de información es la manera en la que se pueden evitar vacíos que lleven a contar con muestras que no reflejan el comportamiento real del VE.

7.2 Importancia de la aplicación de las buenas prácticas en el proyecto piloto de taxis

Una vez identificadas algunas de las buenas prácticas discutidas en esta sección, es importante analizar cómo estas pueden tener un efecto tangible en el piloto de taxis en el Aeropuerto Juan Santamaría. En esta sección, se hace referencia a cómo los datos obtenidos por los sistemas de monitoreo son fundamentales en el estudio de la viabilidad técnica y económica de incorporar VEs en el sistema de transporte público en Costa Rica.

Justificación de viabilidad técnica

La medición de las variables electromecánicas caracteriza la operación de los VEs, debido a que mediante la medición de variables electromecánicas se pueden generar criterios en torno a la viabilidad técnica de esta tecnología, y además, porque por medio de estos datos se puede caracterizar el perfil de consumo energético, el cual es un indicador de dos aspectos: el costo de operar el vehículo (se profundiza más en el siguiente apartado) y qué tan eficiente es utilizar un vehículo de este tipo. Además, por medio del análisis de la energía utilizada, es posible programar las sesiones de carga y tomar en cuenta las limitaciones propias de la capacidad de almacenamiento restringida de cada paquete de baterías. A su vez, esta información se puede utilizar para capacitar a los conductores de VEs y evaluar su progreso.

La energía eléctrica que requiere un taxi eléctrico para operar es muy distinta a la que requiere un VE para uso particular. En el caso de un vehículo para uso particular, las condiciones operativas son totalmente distintas a las experimentadas en un taxi, que se utiliza como herramienta de trabajo. En un taxi eléctrico, el uso que se le da al vehículo en las jornadas laborales es intensivo,

debido a la cantidad de personas que requieren del servicio a lo largo del día y a las distancias que se deben recorrer, lo que resulta en que ese uso prolongado tiene un efecto directo en la degradación que sufre la batería a lo largo del tiempo. Estas son precisamente algunas de las principales preocupaciones que han surgido históricamente en el sector taxista, lo cual resalta la importancia de monitorear la operación para verificar que el VE escogido pueda responder apropiadamente a las condiciones de uso de los taxis aeropuerto.

Justificación de viabilidad económica

Para llevar la electromovilidad en gran escala al transporte público, es necesario justificar los costos iniciales elevados que tienen estos vehículos, así como los costos adicionales para adquirir sistemas de monitoreo de calidad. La tecnología debe compensar ese costo inicial por medio de una reducción de los costos operativos a lo largo del tiempo. Por esta razón, contar con mediciones como rendimiento en unidad de energía por unidad de distancia permite realizar cálculos utilizando modelos tarifarios. Esta es la metodología más confiable para llegar a comparar los precios de VEs con los precios que pagan las personas operadoras de VCs y demostrar que hay una diferencia considerable en favor de las tecnologías limpias. Con ello se pueden cuantificar algunas métricas, como el tiempo de recuperación de inversión y el costo total de propiedad, que son de alta importancia.

Por otra parte, un componente a considerar son las implicaciones económicas que vienen con la adquisición de equipos para gestión de datos. Como se ha mencionado previamente, contar con estudios de operación de VEs es clave para la justificación técnica de utilizar la tecnología, y por tanto, se deben visualizar estos equipos como una herramienta indispensable para que se dé el escalamiento en el futuro.

8. CONCLUSIONES

La adquisición y gestión de datos es uno de los pilares de los proyectos piloto de electromovilidad. Se ha observado en experiencias previas que la información que se puede obtener por medio de los sistemas de monitoreo brinda credibilidad a la transición hacia las tecnologías limpias en el transporte público, pues el acceso a datos confiables y sin filtros subjetivos es la mejor fuente de información al evaluar la viabilidad de incorporar VEs en la flotilla vehicular. Este punto es particularmente relevante a nivel mundial, a causa del vacío de información pública y de fácil acceso que existe en torno a la operación de los vehículos.

Se encontró que en los proyectos estudiados es crucial la utilización de análisis espejo que permitan la comparación justa entre vehículos eléctricos y de combustión, de donde se puedan derivar comparaciones entre costos de operación y consumo de energía.

Asimismo, previo al inicio de cualquier piloto, se debe tener claro para qué se utilizará el sistema de adquisición de datos, ya que esa claridad orientará la búsqueda de un servicio que cumpla con esas necesidades, siendo la necesidad primordial realizar las mediciones definidas, dependiendo del enfoque que tenga el proyecto y lo que se quiera demostrar por medio de este. Adicionalmente, la periodicidad con la que se registran los datos es clave, dependiendo del enfoque que se quiera alcanzar en el estudio.

Otro aspecto influyente en la adquisición de datos es la selección adecuada de los dispositivos de hardware a utilizar. Cada empresa fabricante de vehículos utiliza la metodología que considera más apropiada para su producto, por lo que algunas no utilizan estándares internacionales como el puerto OBDII. Entonces, evitar situaciones como comprar sistemas de monitoreo sin tener conocimiento previo acerca de su compatibilidad con el VE puede resultar en pérdidas económicas importantes.

Por otro lado, se encontró que, en cuanto a sistemas de adquisición de datos, no solo es importante que se midan las variables relevantes y que se reporten con una periodicidad adecuada, sino que también el factor humano es igualmente importante. Asimismo, es relevante definir mecanismos que prevengan la desconexión de los equipos de medición, así como generar insumos que les permitan entender a los taxistas la importancia de la información recolectada por estos sistemas, mientras se genera una relación de confianza entre los concesionarios de taxi y los ejecutores del proyecto.

Adicionalmente, se identificó que la etapa de adquisición de datos es tan solo una parte del proceso de análisis del comportamiento de los VEs, siendo la otra etapa fundamental la de gestión, pre-procesamiento, y limpieza de datos, pues la idea es eliminar del estudio cualquier dato que pueda llegar a generar conclusiones erróneas acerca de la operación, al entender que los sistemas de medición no son perfectos y presentan datos no confiables de vez en cuando. Igualmente, se determinó que es muy crucial presentar los datos recopilados por los sistemas de monitoreo con cierta regularidad, para que las diferentes partes interesadas en el proceso tengan acceso a los insumos que generan este tipo de mecanismos.

Una desventaja que tienen los sistemas comerciales es que los datos se entregan procesados y en ocasiones los informes de resultados son definidos por las empresas, es decir, no se tiene acceso a los datos crudos o sin procesar, lo que implica que se dificulta poder realizar otros análisis que podrían ser de interés. Es recomendable, entonces, tener, en la medida de lo posible,

también otros softwares como Torque o Leaf Spy, que permiten acceder a la información no procesada de la computadora del vehículo. Incluso, hasta por temas de redundancia de la información, esto puede dar mayor confiabilidad a los análisis que se realicen a la hora de hacer los estudios respectivos.

En términos generales, tener una visión clara de la estrategia de monitoreo es lo que brindó mejores resultados a los estudios analizados, y por tanto, diseñar los detalles relacionados a esta parte del proyecto piloto y realizar pruebas en los equipos previo a la puesta en marcha es la mejor manera de evitar atrasos y pérdidas económicas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agencia de Sostenibilidad Energética y Ministerio de Energía del Gobierno de Chile. (2022). Lecciones del Programa MiTaxi Eléctrico.

2. Arellano, B., Sena, S, Abdollahy, S., Lavrova, O., Stratton, S. y Hawkins, J. (2013). Analysis of electric vehicle impacts in New Mexico urban utility distribution infrastructure. 2013 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), pp. 1-6, doi: 10.1109/ITEC.2013.6573495. Consultado octubre de 2022 de ***Analysis of electric vehicle impacts in New Mexico urban utility distribution infrastructure.***

3. Cen, H., Xu, T., Yang, T. y Li, T. (2018). A Novel Acquisition and Processing Framework of Electric Vehicles Wireless Sensory Data. [Sesión de conferencia]. 2nd IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2), Beijing, China, doi: 10.1109/EI2.2018.8582070. Consultado agosto de 2022 de ***https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/document/8582070.***

4. Carranza, F., Paturet, O. y Salera, S. (2013). Norway, the most successful market for electric vehicles. 2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27), 2013, pp. 1-6, doi: 10.1109/EVS.2013.6915005. Consultado octubre de 2022 de ***Norway, the most successful market for electric vehicles.***

5. Crosse, G. (2018). How Oslo became the world's electric vehicle capital. Consultado octubre de 2022 de How ***Oslo became the world's electric vehicle capital.***

6. Detektor. (2021). Detektor Central de Monitoreo. Gestión integral de flotas de manera inteligente. Consultado agosto de 2022 de ***Detektor.***

7. Falch, M. (2022). CAN bus, the ultimate guide. Recuperado agosto de 2022 de ***https://www.csselectronics.com/pages/confirmation-page-ultimate-guide.***

8. GIZ & Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Obras Públicas y Seguridad Nuclear de la República Federal de Alemania. (2021). Resultados del proyecto piloto de buses eléctricos en el GAM. HEAT International. ***https://energia.minae.go.cr/wp-content/uploads/2022/03/6.Resultados-del-proyecto-piloto-de-buses-electricos-en-el-GAM.pdf***

9. IEA. (2022). Global EV Outlook. Consultado octubre de 2022 de ***https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/global-ev-outlook-2022#global-ev-data-explorer.***

10. Instituto Tecnológico de Costa Rica (2022). Estudio de prefactibilidad técnico-financiero basado en el análisis del ciclo de vida útil, para la comparación de un vehículo tipo carga liviana eléctrico contra uno de combustible fósil.

11. Ko, J. (2022). What Is the OBD-II Port and What Is It Used For? Consultado agosto de 2022 de ***https://www.makeuseof.com/tag/obd-ii-port-used/.***

12. Kulkarni, P., Rajani, P. K. y Varma, K. (12-13 agosto, 2016). Development of On-Board Diagnostics (OBD) testing tool to scan emission control system. [Sesión de conferencia]. 2016 International Conference on Computing Communication Control and automation (ICCUBEA), Pune, India, doi: 10.1109/ICCUBEA.2016.7860098.

13. Mineta National Transit Research Consortium (MNTRC) & Rutgers-The State University of New Jersey. (2014). Modeling Taxi Demand with GPS Data from Taxis and Transit (CA-MNTRC-14-1141). Mineta National Transit Research Consortium. Consultado agosto de 2022 de ***https://transweb.sjsu.edu/mntrc/research/Modeling-Taxi-Demand-GPS-Data-Taxis-and-Transit.***

14. OBDII ELM327. (agosto, 2022). ELM327 Devices Information. Recuperado agosto de 2022 de ***https://obd2-elm327.com/elm327-devices-information***

15. Olano, M. V. (2022). Chart: Which countries buy the most EVs? Canary Media. Consultado octubre de 2022 de ***Canary Media***.

16. Saele, H. y Petersen, I. (2018). Electric vehicles in Norway and the potential for demand respond. 2018 53rd International Universities Power Engineering Conference (UPEC), pp. 1-6, doi: 10.1109/UPEC.2018.8541926. Consultado octubre de 2022 de ***Electric vehicles in Norway and the potential for demand respond.***

17. Tracklink. (2022). ControlCar+ Flotas – Tracklink GPS. TRACKLINK: Control y seguridad para tu tranquilidad. Consultado agosto de 2022 de ***Tracklink.***

18. Universidad de Chile & Ministerio de Energía. (2021). Informe Proyecto Ruta Sustentable. Universidad de Chile.

19. Vásquez, R. (2022). Movilidad eléctrica en la Ciudad de México: Claudia Sheinbaum. Consultado octubre de 2022 de ***Movilidad eléctrica en la Ciudad de México: Claudia Sheinbaum.***