

Diciembre 2025

# Zero Emission Ecosystem: Solución integral para una transición eficiente hacia la movilidad sostenible

**Leandro Sinagra** (Green Mobility Labs, VEMO), **Martín Fialá** (Green Mobility Labs, VEMO) y **Mariano Cinquini** (Green Mobility Labs, VEMO)





## Resumen

Este artículo presenta una visión general de Zero Emission Ecosystem (ZEE), la solución integral desarrollada internamente por VEMO para la gestión de flotas de vehículos eléctricos (VE). Diseñado para abordar las complejidades de la transición hacia la movilidad sostenible, ZEE integra herramientas avanzadas para:

1. La adquisición de datos relativos a la operación de los vehículos (por ejemplo, velocidad o distancia recorrida);
2. Procesamiento de ellos para almacenarlos de manera lógica y ordenada;
3. Visualización de dichos datos en tiempo real para su fácil comprensión.

Al optimizar la toma de decisiones, mejorar la eficiencia operativa y extender la vida útil de los activos, ZEE permite a los operadores de flotas:

- a. Cuidar las baterías de sus vehículos;
- b. Tomar acciones para hacer la operación más eficiente en términos energéticos y, como consecuencia, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas a ella.

En un contexto de rápido crecimiento de la movilidad eléctrica, el artículo destaca cómo el enfoque innovador de ZEE puede respaldar una transición exitosa hacia la movilidad sostenible.

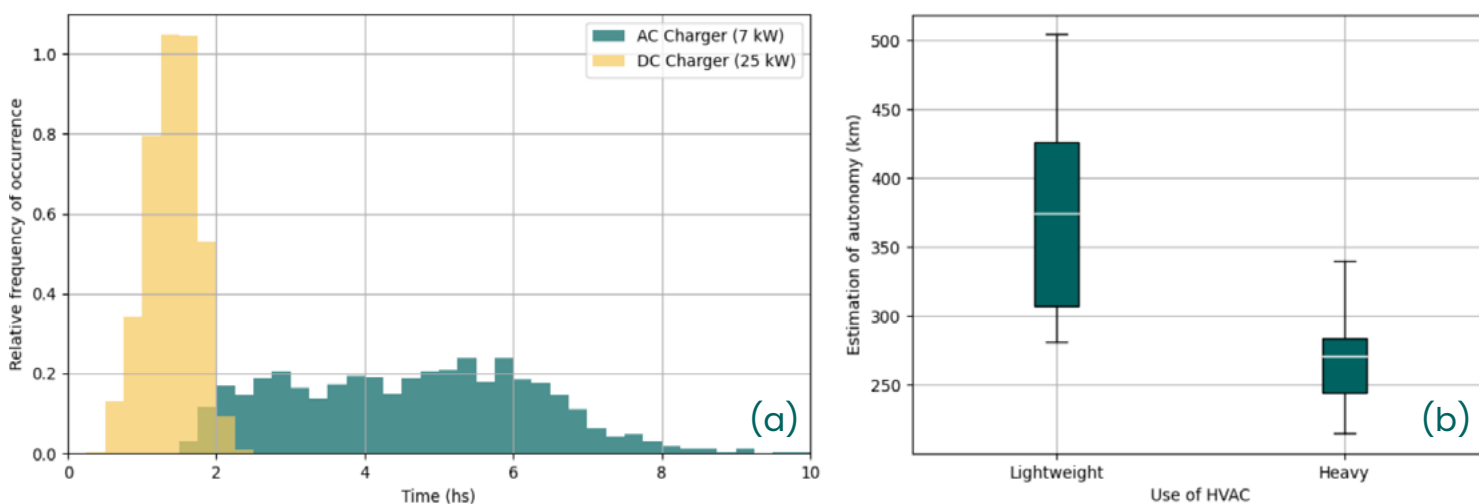


## Introducción: desafíos en la gestión de flotas de vehículos eléctricos

Las soluciones de movilidad sostenible están siendo ampliamente adoptadas en la mayoría de los escenarios de transporte. En América Latina, y particularmente en México, se ha observado un sólido crecimiento en ventas del sector, que alcanzó 44% entre los años 2023 y 2024 (vehículos híbridos y eléctricos).

La creciente adopción de VEs en servicios de ride-hailing, entregas de última milla y transporte público, junto con la creciente demanda de infraestructura de carga de alta potencia, demuestra un compromiso colectivo para reducir las emisiones de GEI y promover un uso más eficiente de la energía.

Los beneficios son prometedores, pero debemos comprender que la transición hacia la movilidad 'verde' implica una cuota extra de creatividad de nuestra parte, para brindar las mejores soluciones posibles y replicar las operaciones anteriormente realizadas por vehículos de combustión interna (ICE). Desafíos como la ansiedad de rango, los tiempos prolongados de carga (como se muestra en la Figura 1.a), el impacto de los hábitos de conducción, las condiciones ambientales y la potencia de carga en la vida útil de las baterías de iones de litio, entre otros, se presentan a la hora de utilizar esta nueva tecnología. Dependiendo del nivel de integración y



**Figura 1:** Estadísticas simples que muestran cómo los VEs pueden diferir de los vehículos ICE en aspectos clave del transporte:

- (a) Distribución del tiempo de carga utilizando cargadores de Corriente Continua (CC - amarillo) y Corriente Alterna (CA - verde) para usos de aproximadamente el 50% de la capacidad de la batería.
- (b) Diagramas de caja (boxplots) que muestran la variación de autonomías (medidas en kilómetros) de un determinado VE, para su uso intensivo y ligero del sistema de climatización (HVAC)

de la consideración de estas variables, los resultados operativos pueden mostrar soluciones adecuadas a una determinada operación, en mayor o menor medida. Como ejemplo, la Figura 1.b ilustra una estimación diaria de autonomía (en kilómetros) para usos intensivos y ligeros del sistema de climatización (HVAC) para un vehículo eléctrico liviano y pesado.

Uno de los principales desafíos en la gestión de flotas de VEs, es el acceso a datos en bruto desde la Controller Area Network (CAN), que es la fuente principal donde se generan las variables físicas, eléctricas y de estado a partir de las cuales se obtienen luego los datos relativos a la operación del vehículo, a través del puerto CAN. A diferencia de los ICEs, en los VEs los mensajes generados dentro del sistema CAN, que contienen datos como la corriente o el voltaje, no siguen un protocolo estándar y muchas veces emplean definiciones propietarias de cada marca. Esto obliga a aplicar técnicas de ingeniería inversa [2] para poder interpretarlos correctamente. Una vez que se obtienen esos datos, es clave procesarlos, realizar cálculos y visualizarlos adecuadamente para apoyar la toma de decisiones y mejorar la eficiencia operativa. He allí, la necesidad de una herramienta que ejecute de forma automática todos estos pasos, para poder trabajar con las diferentes visualizaciones y poder enfocar los esfuerzos en la toma de decisiones estratégicas basadas en datos.

Queda claro entonces que, las transiciones exitosas hacia la movilidad eléctrica dependen en gran medida de la capacidad de gestionar datos de manera eficiente e inteligente en todo el ecosistema, incluyendo los vehículos, la infraestructura de carga, las redes eléctricas y el entorno circundante. Un enfoque verdaderamente integrado y basado en ellos, es esencial para desbloquear todo el potencial de la movilidad sostenible, a partir de herramientas que los brinden de una forma amigable.

## Abordando cada aspecto de una transición exitosa hacia la movilidad verde

El enfoque distintivo de ZEE radica en su carácter integral. Aborda cuatro etapas principales de un sistema de gestión de flotas:

- a) Adquisición de datos en tiempo real
- b) Infraestructura en la nube para almacenamiento y procesamiento de datos
- c) Interfaces web para visualización de datos, análisis operativos, estimaciones basadas en algoritmos complejos
- d) Notificaciones de alertas por ocurrencia de eventos específicos (Por ejemplo, eventos de sobre velocidad)

Para garantizar que estas etapas se implementen y aprovechen de manera efectiva, es necesario contar con un equipo compuesto por profesionales especializados en movilidad sostenible, que brinde orientación a los operadores de flotas para comprender los análisis, optimizar las prácticas de mantenimiento preventivo y fomentar hábitos de conducción eficientes.

## **Ingeniería inversa como soporte para la adquisición de datos**

La adquisición de datos robusta y confiable es la piedra angular para gestionar y mantener eficazmente las operaciones de VEs. Por ejemplo, el monitoreo en tiempo real del estado de carga (del inglés “State of Charge”, también conocido como “SoC”) permite una mejor toma de decisiones al prevenir descargas excesivas de la batería o evitar que opere en su rango menos eficiente. De manera similar, alarmas que indican cuando los conductores no usan el cinturón de seguridad pueden ayudar a los administradores de flotas a mejorar el desempeño de los conductores, mientras que indicadores de sobrecalentamiento de la batería pueden explicar una pérdida acelerada de capacidad.

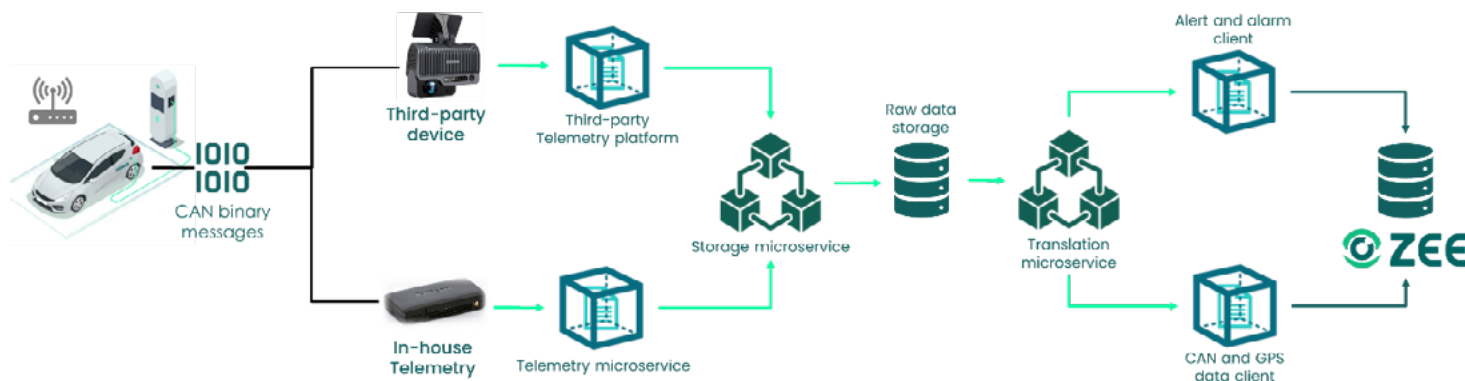
En todos estos casos, la etapa de adquisición de datos comienza con la conversión de los mensajes provenientes del CAN, en variables legibles. Este proceso no es simple, porque la manera en la que se envía la información (protocolo On-Board Diagnostics -OBD II) no siempre está documentada, y cada fabricante de VEs ordena los datos de forma diferente.

Aquí es donde aplica el uso de la ingeniería inversa, que implica hacer pruebas para entender cómo se envía la información que se genera en el CAN. Por ejemplo, se puede crear un protocolo de pruebas que ayude a identificar los mensajes del sistema CAN mientras se hacen acciones como acelerar, frenar o encender el aire acondicionado. Todo esto forma parte del proceso de homologación de un modelo de VE, lo que permite leer la información relativa al vehículo, para luego procesarla y ordenarla.

Debido a que ZEE admite diferentes formas de recopilar, transmitir, almacenar y usar datos en tiempo real desde dispositivos o vehículos a un sistema central, los datos en bruto pueden obtenerse alternativamente desde plataformas de almacenamiento de terceros o cargarse directamente desde dispositivos compatibles con redes móviles, los cuales ejecutan una serie de programas e instrucciones desarrolladas 100% internamente para poder ser leídos. Una vez adquiridos, se suben a bases de datos, donde varios procesos automatizados los convierten en casi tiempo real, basándose en el mapa construido tras la homologación.

Además, se aplican pasos de acondicionamiento y filtrado para eliminar valores atípicos y evitar duplicados. Tras este procesamiento, los datos acondicionados (es decir, traducidos) se transfieren a una segunda base

de datos para su posterior análisis y visualización. Este flujo de trabajo se ilustra en la Figura 2, donde se muestra cómo los datos fluyen desde los dispositivos de telemetría hasta los distintos microservicios de ZEE, garantizando información precisa, confiable y procesable.



**Figura 2:** Diagrama que ilustra el flujo de datos, que comienza con mensajes propietarios de CAN o GPS transmitidos desde los dispositivos de telemetría hacia distintos servicios que cubren diversos escenarios de telemetría. Luego, los datos se almacenan en bases de datos antes de ser traducidos. Posteriormente, un servicio de interpretación y traducción convierte los datos en bruto en magnitudes legibles, que se almacenan nuevamente para su posterior procesamiento y visualización.

## Transformación de datos en información de ciclos en tiempo real

Los datos traducidos del vehículo se almacenan típicamente como registros o conjuntos de información que nos dicen cómo cambian ciertas magnitudes (como temperatura, velocidad, etc.) en el tiempo. En lugar de simplemente mostrar curvas de lo que se lee del CAN en un panel de control, los datos no estructurados se transforman en información organizada por ciclos.

Para este propósito, se desarrolló un algoritmo (máquina de estados) embebido en ZEE que detecta ventanas de tiempo consecutivas, segmentando la operación de cada vehículo en distintas etapas o ventanas temporales (como se muestra en la Figura 3). Cada ventana de tiempo se asigna a un “estado” real del vehículo, dependiendo del comportamiento de las variables físicas que se analizan.

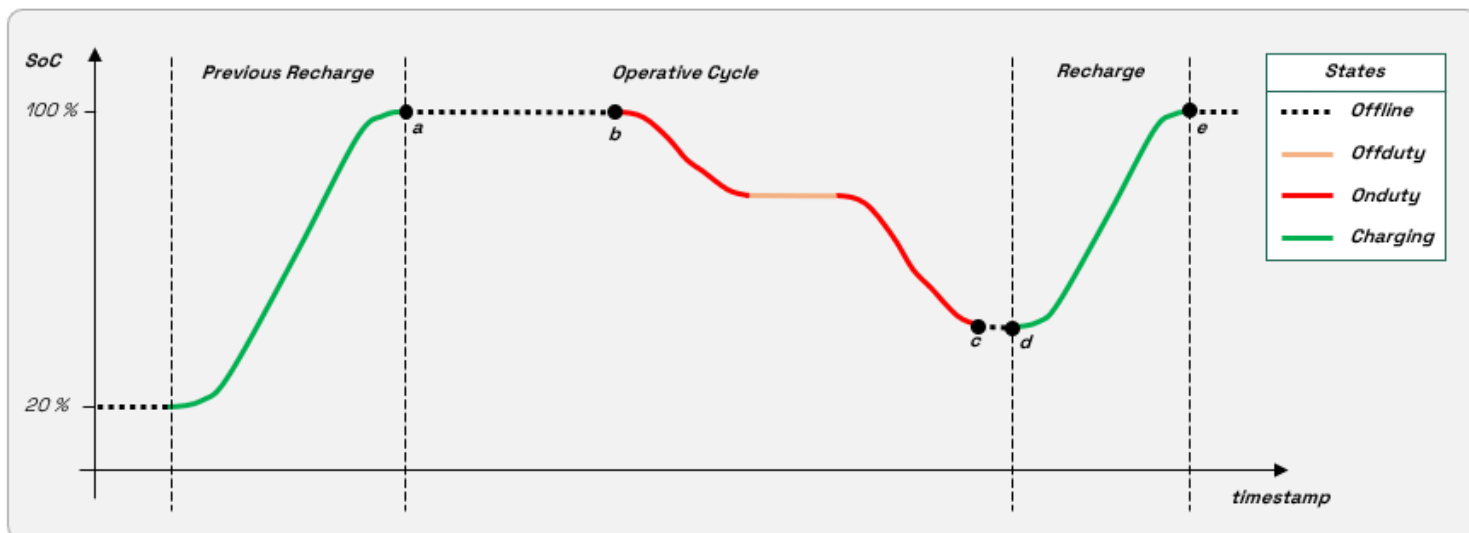


Figure 3: Segmentación de ciclos realizada por el microservicio de la máquina de estados.

Algunos ejemplos de lo que hace el algoritmo se nombran debajo:

Ejemplo nº1) Si no se detecta movimiento del vehículo (velocidad igual a cero), pero hay corriente siendo inyectada desde la manguera del cargador hacia la batería, el estado correspondiente se etiqueta como “carga”.

Ejemplo nº2) Si la velocidad es mayor a cero o se observan variaciones en la posición del GPS o en las lecturas del odómetro, el estado se define como “en operación”. Criterios similares se aplican para definir otros estados adicionales.

Dentro de cada estado, se calculan automáticamente grupos de métricas clave para describir la operación. Estas incluyen métricas como ser:

- a) Distancia recorrida;
- b) Profundidad de descarga (del inglés, Depth of Discharge ó “DoD”);
- c) Los valores promedio, mínimo y máximo de corriente eléctrica entregada / recibida por la batería y su temperatura;
- d) Estimaciones de consumo eléctrico y más.

Estas métricas pueden visualizarse de manera gráfica e intuitiva, como se ilustra en la Figura 4, agregando valor a la información adquirida y mostrando su correlación cuando es relevante:

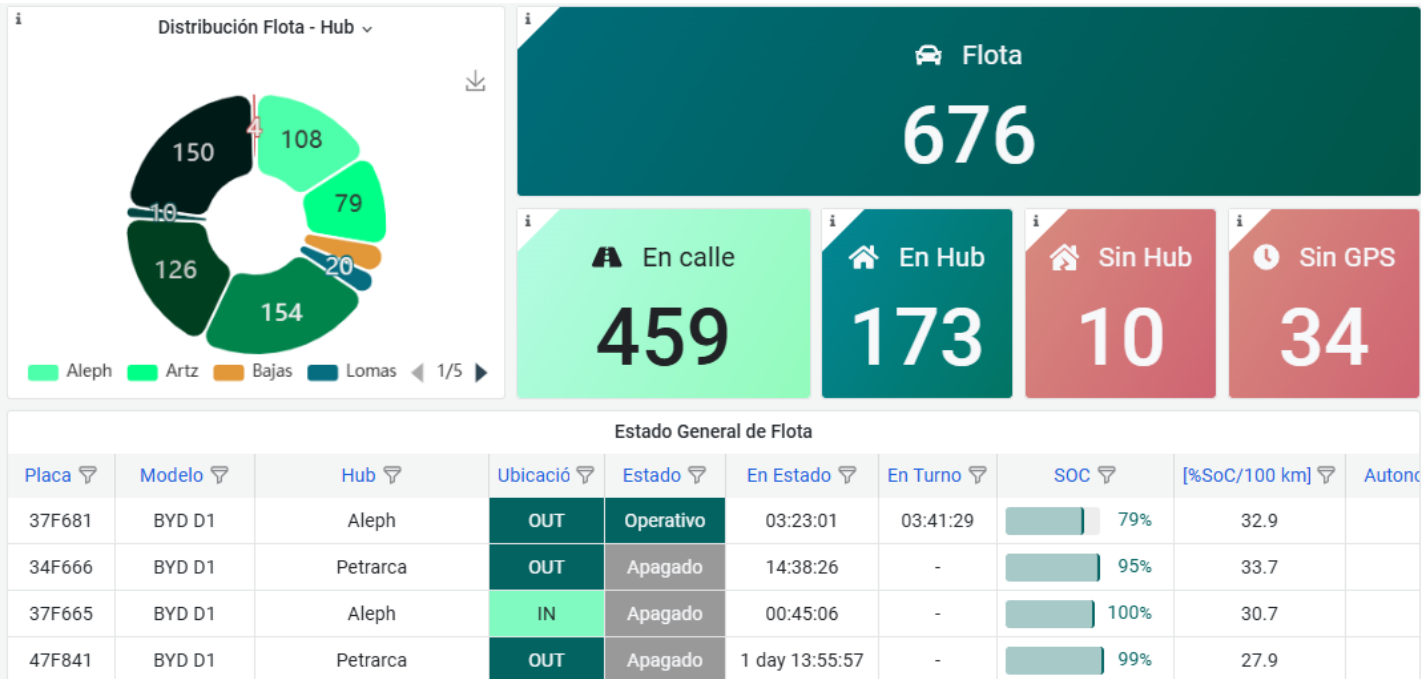


Figura 4: Pestaña de estado de la flota en el monitor web principal de ZEE.

Además, la información del GPS se procesa para representar el área cubierta en un mapa de la ciudad, lo que permite un monitoreo integral de la flota y la posibilidad de rastrear cualquier VE en tiempo real. Información clave, como las distancias recorridas por un vehículo, están alineadas con los requisitos del negocio, si el comportamiento operativo pone en riesgo la salud de la batería o si la estrategia de carga compromete los objetivos operativos puede ser consultada en cualquier momento.

### Procesamiento de datos para una mejor toma de decisiones

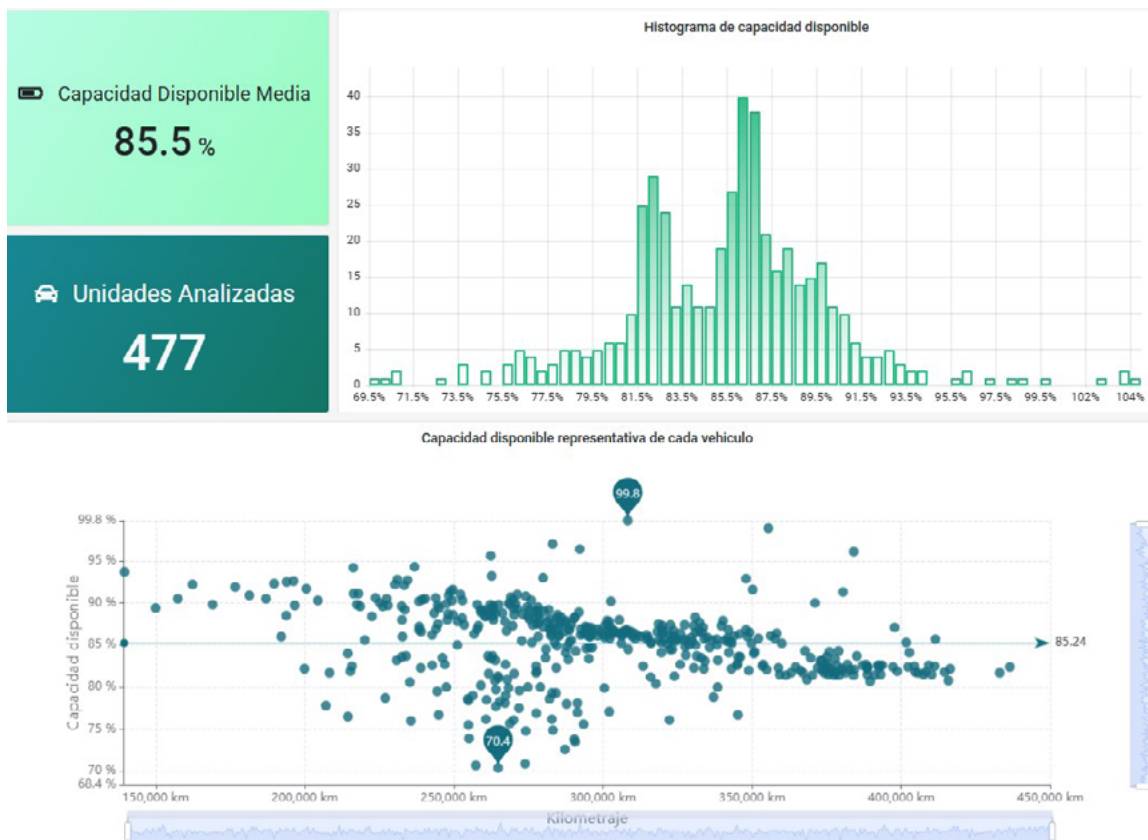
De todas las métricas calculadas por ZEE durante la operación, algunas merecen especial atención debido a su complejidad. Un subgrupo se centra en el monitoreo del estado de salud del paquete de baterías y en la evaluación del impacto operativo sobre su degradación.

Diversos algoritmos de estimación y diagnóstico se ejecutan automáticamente para calcular el estado de salud (SoH) de la batería, así como su capacidad disponible o utilizable. Es importante destacar que la capacidad utilizable difiere del estado de salud real, ya que esta última métrica considera una subestimación impuesta por la computadora integrada del vehículo para prevenir la descarga completa de la batería. En otras palabras, el estado de salud que se visualiza como métrica difiere de la capacidad real utilizable de la batería (mayor) ya que el sistema de gestión de la batería protege a ella ante descargas profundas.

Un ejemplo de estimaciones representativas de la capacidad utilizable de



toda la flota de VEMO Conduce durante el período Septiembre – Noviembre 2025 en la Figura 5.



**Figura 5:** Estimación de capacidad utilizable dentro de la pestaña Salud de la Batería en el monitor web principal de ZEE (versión en español). Cada punto corresponde a la última estimación representativa de cada vehículo de la flota en función de su kilometraje.

También se calculan métricas adicionales relacionadas con el proceso de degradación, como la autonomía o rango esperado, la carga específica y una serie de análisis de impacto. Estos, proporcionan una visión cualitativa de cómo las condiciones operativas —como la tasa de carga promedio (C-rate), la temperatura y el DoD— pueden acelerar potencialmente los fenómenos de degradación [3]. El SoH real se estima utilizando información de ciclos completos de descarga-recarga, conocidos como “recalibraciones”, que se realizan a baja corriente para diferenciar entre la degradación física y las predicciones realizadas por la computadora del vehículo [4] [3] [5].

Un segundo subgrupo se centra en la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) [6] [7]. ZEE proporciona análisis sobre las emisiones de GEI evitadas, es decir, aquellas que se previenen al utilizar VEs en lugar de vehículos ICE, agrupando los resultados por placa, centro de carga, ventana de tiempo o la flota completa. Además, ZEE calcula las emisiones de GEI generadas por el consumo de electricidad durante

los eventos de carga (cuando la fuente de energía no es 100% renovable, ya que en ese caso no se generarían emisiones). Un ejemplo de esta visualización de datos de emisiones se muestra en la Figura 6.



**Figura 6:** Pestaña Ambiental del monitor web principal de ZEE, donde se proporciona la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero evitadas, entre otros datos (versión en español).

## Consideraciones finales

Se han presentado las principales capacidades de ZEE y cómo esta solución respalda la transición hacia un ecosistema de movilidad más limpio y sostenible. En un contexto global donde empresas, gobiernos y organizaciones consideran la electrificación como una realidad tangible y un camino sin retorno, las soluciones para optimizar las operaciones de VEs en términos de confiabilidad, rentabilidad y escalabilidad se han convertido en un pilar fundamental. Al transformar datos brutos en información procesable y proporcionar herramientas avanzadas para la toma de decisiones, ZEE aborda los desafíos de la movilidad eléctrica, permitiendo operaciones sostenibles y rentables. Este enfoque innovador, impulsado por un equipo sólido e interdisciplinario de expertos, garantiza que los actores del sector puedan adaptarse a las crecientes demandas de la movilidad verde, contribuyendo así a un ecosistema de transporte más limpio y eficiente.

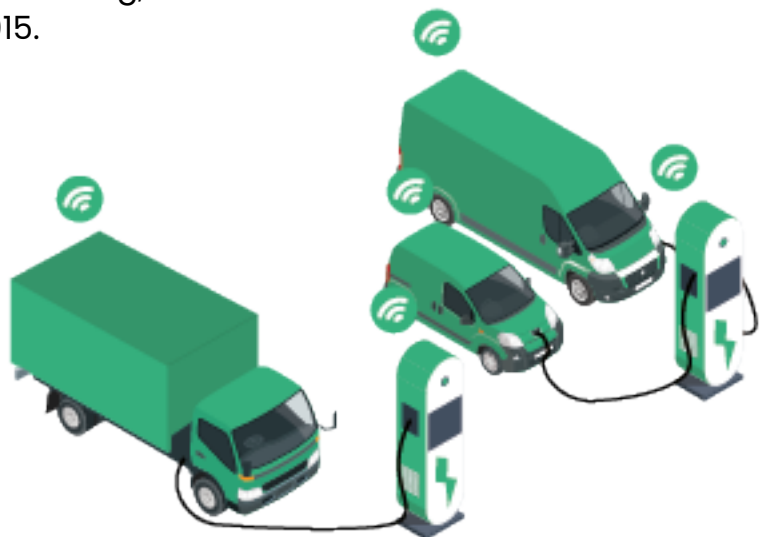
## Glosario de términos

- CAN (Controller Area Network): Comunicación utilizado en la industria automotriz para la comunicación entre unidades de control electrónico.
- C-rate: Medida de la corriente eléctrica relativa a la capacidad de la batería. Por ejemplo, una batería con una capacidad nominal de 100 Ah que suministra una corriente de 10 A está operando a un valor de C-rate de 0.1, o, en notación alternativa, 0.1 C.
- DoD (Depth of Discharge - Profundidad de Descarga): Proporción de la capacidad de la batería que se ha utilizado durante un evento operativo o de ciclo. Se determina como la diferencia entre los valores inicial y final del SoC en un escenario operativo dado.
- OEM: Original Equipment Manufacturer.
- ICE ó ICEV: Vehículo con un motor de combustión interna (Internal Combustion Engine Vehicle).
- VE: Vehículo eléctrico 100% (Electric vehicle).
- SoC (State of Charge - Estado de Carga): Medida instantánea en porcentaje de la carga eléctrica restante en una batería, relativa a su capacidad actual.
- SoH (State of Health - Estado de Salud): Una de las magnitudes más importantes en la industria automotriz para describir la salud general de una batería de iones de litio. Se determina como la relación entre la capacidad actual y la capacidad inicial de la batería.
- Capacidad utilizable (o capacidad disponible): Estimación de la capacidad actual de la batería que la computadora a bordo del vehículo permite utilizar. Puede diferir de la capacidad física real, incluso considerando los efectos de degradación, ya que depende del cálculo instantáneo del SoC.



## Referencias

- [1] I. López, “<https://www.bloomberglinea.com/>,” Bloomberg, 11 Abril 2024. [Online]. Available: <https://www.bloomberglinea.com/latinoamerica/mexico/venta-de-autos-electricos-en-mexico-inicia-2024-al-alza-ante-retos-en-el-mercado-global/>.
- [2] SAE, “<https://www.sae.org/>,” [Online]. Available: [https://www.sae.org/standards/content/j1979\\_201702/](https://www.sae.org/standards/content/j1979_201702/).
- [3] J. Wang, P. Liu, J. Hicks-Garner, E. Sherman and S. Soukiazan, “Cycle-life model for graphite-LiFePO<sub>4</sub> cells,” *Journal of Power Sources*, p. 3942–3948, 2011.
- [4] Z. Lin, Y. Cai, W. Liu, C. Bao, J. Shen and Q. Liao, “Estimating the state of health of lithium-ion batteries based on a probability density function,” *International Journal of Electrochemical Science*, vol. 18, no. 6, 2023.
- [5] Y. Preger, H. Barkholtz, A. Fresquez and D. L. Campbell, “Degradation of Commercial Lithium-Ion Cells as a Function of chemistry and cycling conditions,” *Journal of The Electrochemical Society*, 2020.
- [6] United Nations – Framework Convention on Climate Change, “<https://cdm.unfccc.int/>,” 08 2022. [Online]. Available: <https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/HLOH5R7J6M96A23TFECTQ1BVIE24CK>.
- [7] D. Huisingh, Z. Zhang, J. C. Moore, Q. Qiao and Q. Li, “Recent advances in carbon emissions reduction: policies, technologies, monitoring, assessment and modeling,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 103, pp. 1–12, 2015.





## Contacto



[www.vemovilidad.com/esg](http://www.vemovilidad.com/esg)



[esg@vemo.com.mx](mailto:esg@vemo.com.mx)



[www.linkedin.com/company/vemovilidad/](http://www.linkedin.com/company/vemovilidad/)

