RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo - SP.
**Año VII, vol. 1 2026 | submissão: 09/08/2025 | aceito: 12/08/2025 | publicação: 15/08/2025**

# **Gobernanza de recarga y dimensionamiento de infraestructura para flotas eléctricas: fundamentos técnicos, gestión de la demanda y confiabilidad operativa** *Governança de recarga e dimensionamento de infraestrutura para frotas elétricas: fundamentos técnicos, gestão de demanda e confiabilidade operacional*
*Charging governance and infrastructure sizing for electric fleets: technical foundations, demand management and operational reliability*

Carlos Alberto Rocha Lopes – Pesquisador independente, Engenheiro Eletricista. Especialista em Engenharia Mecatrônica, Engenharia de Segurança do Trabalho e Gestão Empresarial. Pesquisador independente em mobilidade elétrica, telemetria veicular e gestão de baterias.

**Resumen:**
La recarga constituye el principal punto de acoplamiento entre las flotas eléctricas y el sistema eléctrico, convirtiendo un desafío de movilidad en un problema de energía, potencia y confiabilidad. En operaciones utilitarias, la infraestructura de recarga se configura como un sistema crítico, pues define ventanas operativas, condiciona la disponibilidad e influye en el costo total mediante inversiones, tarifas horarias y demanda coincidente. El análisis técnicooperativo requiere distinguir energía de potencia y reconocer que la potencia nominal del cargador rara vez coincide con la potencia efectivamente absorbida, dado que los límites del sistema de gestión de batería (BMS, battery management system) y la dinámica CC–CV (constant current–constant voltage) modulan el proceso, especialmente bajo variabilidad térmica. Se consolidan fundamentos de recarga en corriente alterna y continua (AC/DC) y se discuten implicaciones electrotécnicas, electroquímicas y de gestión de riesgos para el dimensionamiento. Se examina, además, la planificación integrada de infraestructura en flotas, con énfasis en modelos que consideran conjuntamente cronogramas de vehículos y cargadores, así como estrategias de recarga coordinada (smart charging) en régimen unidireccional (V1G) y bidireccional (V2G, vehicle-to-grid), considerando impactos en la red. La interoperabilidad y la comunicación se tratan como requisitos de ingeniería, destacando IEC 61851, ISO 15118 y OCPP. La confiabilidad, el mantenimiento y la seguridad cibernética se analizan como componentes de la disponibilidad a escala, culminando en un marco conceptual para decisiones técnico-operativas sin dependencia de casos propietarios.

**Palabras clave:**
infraestructura de recarga; flotas eléctricas; dimensionamiento; recarga coordinada; ISO 15118; OCPP; confiabilidad; V2G.

**Resumo:**
A recarga constitui o principal ponto de acoplamento entre frotas elétricas e o sistema elétrico, convertendo um desafio de mobilidade em um problema de energia, potência e confiabilidade. Em operações utilitárias, a infraestrutura de recarga configura-se como sistema crítico, pois define janelas operacionais, condiciona a disponibilidade e influencia o custo total por investimentos, tarifas horárias e demanda coincidente. A análise técnico-operacional requer distinguir energia de potência e reconhecer que a potência nominal do carregador raramente coincide com a potência efetivamente absorvida, dado que limites do sistema de gerenciamento de bateria (BMS, battery management system) e a dinâmica CC–CV (constant current–constant voltage) modulam o processo, sobretudo sob variabilidade térmica. Consolidam-se fundamentos de recarga em corrente alternada e contínua (AC/DC) e discutem-se implicações eletrotécnicas, eletroquímicas e de gestão de risco para dimensionamento. Examina-se, ainda, o planejamento integrado de infraestrutura em frotas, com ênfase em modelos que consideram

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo - SP.
**Año VII, vol. 1 2026 | submissão: 09/08/2025 | aceito: 12/08/2025 | publicação: 15/08/2025**

conjuntamente cronogramas de veículos e carregadores, e estratégias de recarga coordenada (smart charging) em regime unidirecional (V1G) e bidirecional (V2G, vehicle-to-grid), considerando impactos na rede. Interoperabilidade e comunicação são tratadas como requisitos de engenharia, destacando IEC 61851, ISO 15118 e OCPP. Confiabilidade, manutenção e segurança cibernética são analisadas como componentes da disponibilidade em escala, culminando em um arcabouço conceitual para decisões técnico-operacionais sem dependência de casos proprietários.

**Palavras-chave:**
infraestrutura de recarga; frotas elétricas; dimensionamento; recarga coordenada; ISO 15118; OCPP; confiabilidade; V2G.

**Abstract:**
Charging is the primary coupling point between electric fleets and the power system, turning a mobility challenge into one of energy, power, and reliability. In utility operations, charging infrastructure functions as a mission-critical system because it defines operational windows, constrains uptime, and shapes total cost through capital investments, time-varying tariffs, and coincident peak demand. A technical-operational assessment requires separating energy from power and recognizing that nominal charger ratings rarely match effective absorbed power, since battery management system (BMS) constraints and CC–CV dynamics (constant current–constant voltage) govern charging behavior, especially under thermal variability. Fundamentals of AC and DC charging are consolidated and electrical, electrochemical, and risk-management implications for infrastructure sizing are discussed. Integrated fleet planning approaches are examined, emphasizing models that jointly consider vehicle schedules and charger deployment, as well as coordinated charging (smart charging) under unidirectional control (V1G) and bidirectional operation (V2G, vehicle-to-grid), accounting for grid impacts. Interoperability and communication are treated as engineering requirements, highlighting IEC 61851, ISO 15118, and OCPP as complementary layers. EVSE reliability and maintenance, along with cybersecurity in connected charging ecosystems, are addressed as determinants of real-world availability at scale, leading to a conceptual framework for defensible technical-operational decisions without reliance on proprietary case studies.

**Keywords:**
charging infrastructure; electric fleets; sizing; coordinated charging; ISO 15118; OCPP; reliability; V2G.

## Introducción

La electrificación de flotas modifica el centro de control operativo al sustituir la recarga de energía rápida e ilimitada por un proceso condicionado por el tiempo disponible, la potencia instalada y las limitaciones del sistema electroquímico. En los vehículos eléctricos, la energía se recarga bajo restricciones simultáneas del vehículo, la infraestructura de carga y la red eléctrica local. Esta interconexión convierte la disponibilidad en un resultado sistémico: es posible contar con vehículos técnicamente adecuados y aun así operar con baja productividad

cuando el dimensionamiento, la coordinación de la carga y la interoperabilidad no se adaptan a la escala.

En la gestión de flotas, la limitación más crítica suele ser la potencia de salida en el peor de los casos, no el consumo energético diario total. La coincidencia temporal de múltiples operaciones de carga en breves periodos de inactividad aumenta la demanda máxima, ejerce presión sobre los transformadores y alimentadores, y amplifica los costes asociados a la demanda contratada y las tarifas por franjas horarias. Dado que las decisiones sobre infraestructura tienen un largo plazo de amortización, cualquier subestimación de la simultaneidad tiende a convertirse en un cuello de botella persistente, mientras que un sobredimensionamiento puede comprometer la viabilidad económica. Por lo tanto, el problema se define menos por «cuántos cargadores» y más por qué arquitectura y capacidad permiten ventanas operativas realistas bajo diversas condiciones de misión, clima y políticas tarifarias.

La planificación de la infraestructura de carga requiere considerar la ubicación, la potencia, los horarios y la estrategia de carga como variables interdependientes, ya que la decisión técnica depende de la intersección entre el tiempo operativo y la capacidad de entrega. En los sistemas de ruta fija, la literatura muestra que surgen soluciones más consistentes cuando la programación, la composición de la flota y la infraestructura se diseñan conjuntamente, dado que el tiempo de carga compite directamente con el tiempo operativo disponible. El mismo razonamiento se aplica a las estaciones de carga y depósitos: los objetivos de estado de carga al final de la sesión, las reglas de priorización y la asignación temporal de potencia reconfiguran la capacidad necesaria, la formación de colas y la exposición a la demanda máxima.

Más allá de las dimensiones electrotécnicas y electroquímicas, la recarga se ha convertido en un sistema digital. Los equipos de recarga (EVSE, *eléctricos) vehículo suministrar Los equipos* dependen de la comunicación, la autenticación y el control para operar con observabilidad y coordinación a gran escala. La interoperabilidad y la coherencia de la telemetría se convierten en requisitos operativos: sin datos fiables sobre el estado del cargador y sin capacidad de comando, las estrategias de carga coordinadas pierden eficacia; sin prácticas de mantenimiento adecuadas, la potencia instalada no se traduce en potencia disponible.

Por lo tanto, un análisis técnico-operacional centrado en el dimensionamiento y la gobernanza debe articular tres dimensiones: los fundamentos de la carga de corriente alterna y continua y sus limitaciones mediante el sistema de gestión de baterías (BMS); la planificación integrada en condiciones de simultaneidad y variabilidad; y los niveles de interoperabilidad, fiabilidad y seguridad que determinan la disponibilidad real a gran escala. Esta base permite construir criterios de decisión sólidos sin depender de casos de estudio específicos.

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo - SP.
**Año VII, vol. 1 2026 | submissão: 09/08/2025 | aceito: 12/08/2025 | publicação: 15/08/2025**

## 2. Fundamentos técnicos de la recarga de flotas: energía, potencia, curva de carga y limitaciones del sistema de gestión de baterías (BMS).

La transferencia de energía de la red al sistema de almacenamiento electroquímico del vehículo implica el control de la electrónica de potencia y restricciones de seguridad. Para comprender el impacto en las flotas, es útil distinguir entre dos magnitudes que a menudo se confunden: **energía** y **potencia** . La energía mide el total suministrado durante un período y se expresa en kilovatios-hora (kWh). La potencia expresa la tasa de suministro y se expresa en kilovatios (kW). En las operaciones diarias, los kWh explican el volumen diario que se debe reponer; los kW determinan si esta reposición se ajusta al tiempo disponible en el depósito y, por consiguiente, orientan las decisiones relativas al suministro, la transformación, el cableado y la contratación de la demanda de energía.

Cuando la recarga se realiza mediante **corriente alterna (CA, *corriente alterna) . En corriente alterna (CA* )** , la conversión de CA a CC se realiza a bordo mediante el cargador integrado, y la velocidad de carga refleja entonces los límites del propio vehículo. En **corriente *continua (CC)* ,** la conversión se lleva a cabo en el equipo externo, y la energía entra al vehículo ya como corriente continua, lo que permite mayores potencias de salida, aunque con mayor coste y complejidad, y una mayor sensibilidad del sistema a las condiciones de la red eléctrica y al control térmico del cargador.

En las baterías de iones de litio, la curva de carga rara vez se comporta como una línea recta. El perfil más común sigue el modelo **DC-CV (corriente constante-voltaje constante *) . constante de corriente voltaje* )** : primero la corriente se mantiene aproximadamente constante; luego el voltaje se mantiene mientras la corriente disminuye. Esto resulta en una asimetría temporal: alcanzar un **SOC** ( *estado de efecto) El estado de carga intermedio (* STC) tiende a ser más rápido que la suma de los últimos puntos porcentuales, que se extienden según los límites de control y las condiciones internas del conjunto de celdas. Por lo tanto, los objetivos de SOC al final de la sesión deben definirse en función de la productividad y el riesgo, y no mediante una regla fija de "cargar siempre al máximo".

*sistema de gestión de la batería* ( **BMS )** regula el proceso . Limita la corriente y la potencia en función de la temperatura, los voltajes internos y la dispersión entre las celdas, lo que provoca que la potencia absorbida varíe a lo largo de la sesión. En la carga rápida de CC, el cuello de botella puede surgir en el propio **paquete** (el conjunto de celdas y módulos que

componen la batería del vehículo): los límites de voltaje en las celdas, las restricciones térmicas y la lógica de protección modulan la velocidad de carga real. Para el dimensionamiento, la potencia nominal impresa en el equipo es menos importante que la potencia efectiva en condiciones de funcionamiento típicas, ya que esta última determina la capacidad de servicio dentro de los intervalos de tiempo especificados.

También se tiene en cuenta el coste de la degradación de los activos a lo largo de su ciclo de vida. Las estrategias coordinadas reducen los picos y los costes, pero las tasas de consumo más elevadas y el mantenimiento en rangos de temperatura/estado de carga desfavorables modifican el equilibrio entre durabilidad y consumo. Es aquí donde prácticas como *V2G (vehículo a red* **,** operación *bidireccional ) requieren* una gestión económica y técnica: los ingresos potenciales deben sopesarse frente al desgaste incremental asociado a su uso como recurso flexible.

Al cerrar el sistema, las condiciones de seguridad y disponibilidad de la instalación eléctrica —conductores, protecciones, puesta a tierra, dispositivos diferenciales y capacidad de los alimentadores— definen el rango operativo real. Dado que los cargadores son cargas de electrónica de potencia, pueden introducir **armónicos** (distorsiones en la forma de onda), afectar **el factor de potencia** (relación entre la potencia activa y aparente) y requieren atención a **la compatibilidad electromagnética (CEM)** , es decir, operar sin interferir ni ser interferido. La coherencia entre la infraestructura eléctrica, el control y los rangos operativos es lo que garantiza un funcionamiento predecible a gran escala.

## 3. Dimensionamiento y planificación de la infraestructura: desde el "número de cargadores" hasta el problema integrado de operación e inversión.

Elegir la infraestructura adecuada para las flotas implica garantizar que se puedan cumplir las misiones dentro de los plazos y limitaciones de energía, con costes controlados y niveles de fiabilidad compatibles con la operación. La dinámica que rige esta elección rara vez se comporta bien bajo reglas fijas, ya que la simultaneidad y la variabilidad modifican el panorama del problema en función de la ruta, las condiciones meteorológicas, la carga y la disciplina de la terminal. Por lo tanto, la literatura sobre planificación tiende a abordar el tema desde una perspectiva multiobjetivo: la solución debe conciliar la inversión, el coste operativo, el riesgo de cola, la disponibilidad y la capacidad de expansión, en lugar de optimizar un único criterio.

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber.
ISSN: 2675-9128. São Paulo - SP.
**Año VII, vol. 1 2026 | submissão: 09/08/2025 | aceito: 12/08/2025 | publicação: 15/08/2025**

En sistemas con horarios rígidos, el punto decisivo se vuelve evidente: el tiempo de carga compite con el tiempo operativo disponible. Cuando la programación, la composición de la flota y la infraestructura se planifican conjuntamente, la decisión se basa en el ***costo total*** **de propiedad (CTP).** ***de La propiedad se*** **define** a nivel de sistema, no a nivel de rendimiento de un equipo aislado. Esta perspectiva explica las denominadas elasticidades cruzadas: los ajustes de programación reducen la potencia máxima; el aumento de potencia disminuye la flota de reserva; los cambios en la flota modifican la necesidad de puntos; los objetivos de SOC al final de la sesión reposicionan los cuellos de botella. En otras palabras, la infraestructura y la operación se determinan mutuamente.

La misma lógica se aplica al análisis de la ubicación y la distribución de la capacidad. En las redes urbanas, las soluciones óptimas tienden a concentrar los recursos en nodos con mayor conectividad y flujo, maximizando el valor operativo por punto instalado. En flotas basadas en depósitos y cocheras, la "ubicación" se traduce en arquitectura interna: dónde ubicar los puntos, cómo reducir desplazamientos y maniobras, cómo evitar bloqueos y cómo disminuir los tiempos improductivos asociados con la circulación y el acoplamiento. Incluso cuando la red pública no forma parte de la estrategia, el principio se mantiene: la capacidad instalada debe coincidir con los patrones de permanencia reales.

El dimensionamiento eléctrico también está condicionado por un fenómeno específico: la demanda simultánea. Cuando muchos vehículos regresan al depósito a horas similares e inician sesiones simultáneas, se genera un pico de potencia que sobrecarga los transformadores y alimentadores, lo que se traduce en un aumento de costes. Las tarifas por franjas horarias ***( TOU )*** **,** en las que el precio del kWh varía a lo largo del día, y los cargos por demanda, donde el pico de kW más alto en un intervalo de tiempo puede determinar una parte significativa de la factura, hacen que este pico sea más caro que la energía total consumida. Incluso con kWh relativamente baratos, el consumo en el peor momento implica la contratación de infraestructura y compromisos tarifarios durante periodos prolongados, lo que convierte el control de la simultaneidad en un objetivo fundamental.

La incertidumbre operativa impide que el problema se aborde de forma determinista. El consumo de energía por ruta varía según el clima, la topografía, la carga transportada, el tráfico y el uso de vehículos auxiliares; los tiempos de espera varían según los retrasos y la disciplina de despacho; y la potencia de carga efectiva varía según las limitaciones del vehículo y las condiciones térmicas. Los enfoques que asumen valores promedio tienden a fallar por optimismo o a sobreestimar por conservadurismo. De ahí la relevancia de los modelos que incorporan explícitamente la incertidumbre, mediante optimización robusta o estocástica,

buscando planes que sigan siendo viables ante variaciones realistas, en lugar de ser "óptimos" solo en el escenario central.

A medida que un programa evoluciona desde la fase piloto hasta la escala real, la simultaneidad, las ventanas de tiempo disponibles y la disciplina en el patio cambian, alterando el régimen que sustentó el dimensionamiento inicial. La flota crece, las prácticas y la capacitación se ajustan, y la infraestructura comienza a operar cerca de la saturación; por consiguiente, los datos de la fase piloto ya no representan el comportamiento a escala real. Los modelos integrados ganan valor cuando permiten probar escenarios de crecimiento sin extrapolaciones lineales, preservando la coherencia entre la capacidad instalada, los cronogramas y los objetivos operativos, con el fin de reducir el riesgo de colas y una menor disponibilidad.

## 4. Gestión de la demanda y coordinación de recargas: inteligente Carga , optimización e integración de la red.

Con la infraestructura ya implementada, el desafío radica en la gestión de la carga: decidir **cuándo** y **con qué potencia** debe cargarse cada vehículo para completar sus misiones, reduciendo la demanda máxima y controlando los costos. Este campo se conoce como **carga coordinada** ( carga *inteligente ). ( carga* ), es decir, control deliberado de potencia y tiempo. Dos modalidades ayudan a organizar el tema. En **V1G** (control unidireccional), solo se ajusta la carga: tiempo y potencia de entrada. En *V2G (vehículo a red* **,** operación *bidireccional ) ,* también se permite la exportación de energía a la red bajo condiciones específicas, transformando la flota en un recurso flexible (KEMPTON; TOMIĆ, 2005).

La coordinación se formula a menudo como un problema de optimización sujeto a restricciones de misión, límites de potencia del sitio, capacidad de carga y requisitos mínimos de potencia por ventana. Dado que el consumo por ruta y los retrasos no son perfectamente predecibles, los enfoques robustos y estocásticos cobran relevancia al buscar planes que sigan siendo viables ante variaciones realistas, evitando que la solución "óptima" en un escenario se degrade en colas y picos de carga cuando cambia el régimen operativo. En la práctica, la coordinación genera valor al aprovechar la flexibilidad temporal: desplazando la carga fuera de los períodos pico, suavizando la demanda coincidente y mejorando el uso de la capacidad instalada, siempre que las ventanas operativas se definan explícitamente como restricciones del problema.

Esta coordinación depende de la comunicación y la interoperabilidad. La capa básica de control conductivo se aborda en la **norma IEC 61851** (requisitos generales y control fundamental de la carga). Para el intercambio avanzado de información entre el vehículo y la infraestructura, **la norma ISO 15118** define una interfaz de comunicación que admite la negociación de parámetros de sesión y funciones como **la conexión y carga** (autenticación y autorización automatizadas). El protocolo **OCPP** ( *Open Charge Point Protocol* ) estructura la comunicación entre el cargador y el sistema central del operador, lo que permite la observabilidad y el control a gran escala. Cuando estas capas fallan —debido a incompatibilidad, implementación inconsistente o telemetría incompleta— la coordinación pierde su elemento más importante: la capacidad de observar el estado real e imponer límites de potencia de forma predecible.

Además de la interoperabilidad, la operación a gran escala requiere abordar la ciberseguridad como parte del nivel de confiabilidad. En la norma ISO 15118, por ejemplo, la protección del canal depende de **TLS** ( *Transfer Logistics Service ). La seguridad por capas* y el **protocolo de enlace** definen la autenticación y el establecimiento seguro de la sesión; las debilidades en esta etapa pueden comprometer el control, la autorización y la disponibilidad del servicio (KILIC et al., 2024). En términos operativos, la idea es clara: la coordinación no se limita a los algoritmos; se trata de integrar la optimización, los protocolos, la integridad de los datos y la gestión de riesgos, de lo contrario, la inestabilidad es posible incluso con una infraestructura suficiente.

## 5. Fiabilidad, mantenimiento y seguridad: el lado “invisible” del dimensionamiento

Las fallas en los sistemas de carga y las flotas rara vez se explican únicamente por una potencia insuficiente. El tiempo de inactividad también se debe a un mantenimiento inadecuado, baja visibilidad , inconsistencias en el estado y deficiencias en la integración. Cuando un punto de carga queda fuera de servicio sin una detección rápida, el efecto no se manifiesta como un evento aislado; se acumula como un déficit de energía, genera colas, reduce los tiempos de espera y disminuye la puntualidad hasta provocar interrupciones operativas.

La ampliación de la infraestructura pone de relieve la naturaleza híbrida de **los EVSE** ( *eléctricos). vehículo suministrar (equipo* ), es decir, un sistema electrotécnico acoplado a una capa digital. Los modos de falla eléctrica involucran contactores, módulos de conversión y fuentes auxiliares; las fallas de interfaz aparecen en cables y conectores; las fallas de protección incluyen dispositivos de puesta a tierra y diferenciales; las fallas digitales surgen en software,

autenticación, comunicación y back-end . Esta diversidad requiere un mantenimiento impulsado por la disponibilidad y el tiempo medio de reparación, con la criticidad del componente, la modularidad, el inventario de piezas y la capacidad técnica de campo como variables de diseño y operación, no como consideraciones posteriores (POWELL; JOHNSON, 2024).

La coordinación de la carga, a su vez, depende de datos fiables. Un estado incorrecto — por ejemplo, informar de la disponibilidad cuando hay un fallo en el conector, un bloqueo de sesión o una pérdida de comunicación— compromete la distribución de energía y lleva a tomar decisiones basadas en suposiciones erróneas. La auditoría del estado del cargador debe aplicarse con el mismo rigor que al estado del vehículo: coherencia en la telemetría, alarmas verificables y registros de eventos que expliquen por qué falló una sesión, en qué etapa y cuánto tiempo se perdió.

Operar con **corriente continua a altos niveles de potencia** implica corrientes más elevadas y, en muchas configuraciones, niveles de tensión más altos, lo que aumenta la sensibilidad del sistema a la degradación de los contactos, el calentamiento localizado y las fallas de aislamiento. Estas condiciones requieren una coordinación de protección adecuada, criterios de instalación consistentes y rutinas de inspección compatibles con el régimen de uso, especialmente en los puntos de conexión y los elementos sujetos a desgaste mecánico y térmico. En patios y almacenes, las decisiones de diseño también entran en juego como una variable técnica: el enrutamiento de cables, la protección mecánica, la ergonomía de los acoplamientos y la circulación interna influyen en los tiempos de conexión, la incidencia de daños y la disponibilidad efectiva de los puntos a lo largo del tiempo.

La capa digital amplía el alcance del riesgo cuando protocolos como **ISO 15118** (comunicación vehículo-infraestructura) y **OCPP** ( *Open Charge Point Protocol* , comunicación cargador- sistema backend ) rigen la autenticación y el comando. En esta configuración, el cargador se comporta como un nodo de red con una superficie de ataque; las debilidades de implementación y configuración pueden afectar el control y la continuidad del servicio, con un impacto operativo directo (ALCARAZ; LOPEZ; WOLTHUSEN, 2017). Para mitigar este riesgo, es necesario tratar la seguridad como un requisito de ingeniería: control de versiones, endurecimiento , registros consistentes y pruebas de integración que preserven la previsibilidad operativa.

La disponibilidad sostenible en las flotas se basa en la resiliencia: la capacidad de absorber fallos sin un colapso sistémico. La redundancia planificada, la observabilidad suficiente para un diagnóstico rápido y las reglas de degradación controladas permiten mantener las misiones críticas incluso con una pérdida parcial de puntos. La coherencia entre el

mantenimiento, los datos, la seguridad y la política de contingencia es lo que transforma la capacidad instalada en capacidad disponible efectiva.

## 6. Consideraciones finales

Considerar los vehículos, la infraestructura y las redes como un sistema acoplado es fundamental para tomar decisiones operativas y de capacidad coherentes en flotas eléctricas. A gran escala, las limitaciones relevantes surgen menos del volumen diario de energía y más de la entrega de potencia dentro de ventanas de tiempo reales, en condiciones de operación simultánea, variación térmica e incertidumbre en el consumo. Las proyecciones basadas en promedios o escenarios estáticos tienden a fallar debido al optimismo (colas y picos) o al conservadurismo ( exceso de inversión ), ya que no representan el peor escenario ni el régimen operativo dominante.

Se logra robustez al tratar la coordinación de carga como despacho bajo restricciones de misión explícitas, potencia del sitio y objetivos mínimos por ventana. Al transformar la flexibilidad temporal en una variable de control, es posible reducir la demanda coincidente, estabilizar el perfil de potencia y proteger la puntualidad sin aumentar la capacidad instalada. Sin embargo, mantener esta coordinación requiere interoperabilidad y observación: comunicación coherente, telemetría confiable y capacidad de mando efectiva; condiciones sin las cuales las estrategias de control se degradan rápidamente a excepciones y decisiones reactivas.

Se concluye que las decisiones de dimensionamiento y gobernanza justificables requieren la integración de potencia, ventanas operativas, coordinación de carga, interoperabilidad, confiabilidad y seguridad dentro del mismo marco de ingeniería. Sin una observabilidad confiable y un mantenimiento basado en la criticidad, la capacidad instalada no se traduce en capacidad disponible; sin coordinación, los picos y las colas comienzan a determinar el costo y la puntualidad. Por lo tanto, la operación escalable depende de criterios de diseño y control verificables, y es esta coherencia sistémica la que mantiene la disponibilidad, la previsibilidad y el costo total ante la variabilidad del campo.

## Referencias

DEB, Sanchari ; TAMMI, Kari; KALITA, Karuna ; MAHANTA, Pinakeswar . Revisión de tendencias recientes en la carga infraestructura planificación para la electricidad vehículos . *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energía y Medio ambiente* , vol. 7, n.º 6, e306, 2018. DOI: 10.1002/wene.306.

ROGGE, Matías; VAN DER HURK, Evelien ; LARSEN, Allan; SAUER, Dirk Uwe. Flota de autobuses eléctricos tamaño problema de mezcla y mezcla con mejoramiento de cargando infraestructura . *Applied Energy* , vol. 211, págs. 282–295, 2018. DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.11.051.

XYLIA, María; LEDUC, Sylvain; PATRIZIO, Piera ; KRAXNER, Florián; SILVEIRA, Semida . Ubicación cargando infraestructura para la electricidad Autobuses en Estocolmo. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* , vol. 78, págs. 183–200, 2017. DOI: 10.1016/j.trc.2017.03.005.

MANZOLLI, JA et al. Flota de autobuses eléctricos gestión de carga : una solución robusta marco de optimización que aborda batería envejecimiento , tarifas por tiempo de uso y energía consumo incertidumbre . *Applied Energy* , vol. 381, art. 125137, 2025. DOI: 10.1016/j.apenergy.2024.125137.

SONG, Shuhan ; QIU, Yin; COATES, Robyn Leigh; DOBBELAERE, Cristina Maria; SELES, Paige. Optimización del programa de carga en depósitos para camiones eléctricos de batería de servicio mediano y pesado . *World Electric Vehicle Journal* , vol. 15, n.º 8, art. 379, 2024. DOI: 10.3390/wevj15080379.

SANTOS, Jóni B.; FRANCISCO, André MB; CABRITA, Cristiano; MONTEIRO, Jânio; PACHECO, André; CARDOSO, Pedro JS Desarrollo y Implementación de un inteligente Sistema de carga para vehículos eléctricos Basado en Norma ISO 15118. *Energies* , vol. 17, n.º 12, art. 3045, 2024. DOI: 10.3390/en17123045.

KILIC, Ahmet. Protocolo TLS para la función Plug and Charge en comunicaciones vehiculares . *Computer Networks* , vol. 243, art. 110281, 2024. DOI: 10.1016/j.comnet.2024.110281.

HAMDARE, Safa et al. Ciberdefensa en OCPP para carga de vehículos eléctricos seguridad riesgos . *Internacional Diario de Seguridad de la Información* , vol. 24, art. 134, 2025. DOI: 10.1007/s10207025-01055-7.

ELTOHAMY, M. Saber et al. Una revisión exhaustiva de la tecnología Vehículo a Red (V2G) : perspectivas técnicas , económicas , regulatorias y sociales. *Conversión de Energía y Gestión: X* , vol. 27, art. 101138, 2025. DOI: 10.1016/j.ecmx.2025.101138.

POWELL, Bonnie; JOHNSON, Caley . Impacto de carga de vehículos eléctricos Estación Confiabilidad , Resiliencia y Ubicación sobre la adopción de vehículos eléctricos . Golden, CO: National Laboratorio de Energías Renovables , 2024. Informe técnico NREL/TP-5R00-89896. DOI: 10.2172/2432350.