

NOTA TÉCNICA N° IDB-TN- 03041

Despliegue de la infraestructura de carga de vehículos eléctricos en Paraguay

Autores

Tamatiá R. Colmán Aveiro
Jorge Manuel Acuña Fretes
Ivo Augusto Benitez Cattani
Esteban K. Segovia Nishioka
Gustavo Jiménez
Josemaria Jiménez

Editores

Veronica R. Prado
Sergio Andrés Arguello
Juan Carlos Cárdenas Valero
Paula Melisa Cruz Moreno
Fernando Manuel Cuenca Mora

Banco Interamericano de Desarrollo
División de Energía
División de Transporte

Noviembre 2024



Despliegue de la infraestructura de carga de vehículos eléctricos en Paraguay

Autores

Tamatiá R. Colmán Aveiro
Jorge Manuel Acuña Fretes
Ivo Augusto Benitez Cattani
Esteban K. Segovia Nishioka
Gustavo Jiménez
Josemaria Jiménez

Editores

Veronica R. Prado
Sergio Andrés Arguello
Juan Carlos Cárdenas Valero
Paula Melisa Cruz Moreno
Fernando Manuel Cuenca Mora

Banco Interamericano de Desarrollo
División de Energía
División de Transporte

Noviembre 2024

Catalogación en la fuente proporcionada por la Biblioteca Felipe Herrera del Banco Interamericano de Desarrollo

Colman, Tamatia.

Despliegue de la infraestructura de carga de vehículos eléctricos en Paraguay /
Tamatiá R. Colmán Aveiro, Jorge Manuel Acuña Fretes, Ivo Augusto Benitez Cattani,
Esteban K. Segovia Nishioka, Gustavo Jiménez, Josemaria Jiménez; editores,
Veronica R. Prado, Sergio Andrés Arguello, Juan Carlos Cárdenas Valero, Paula Melisa
Cruz Moreno, Fernando Manuel Cuenca Mora.
p. cm. — (Nota técnica del BID ; 3041)
Incluye referencias bibliográficas.

1. Electric vehicles-Paraguay. 2. Infrastructure (Economics)-Paraguay. I. Acuña
Fretes, Jorge. II. Benites, Ivo. III. Segovia Nishioka, Esteban. IV. Jiménez, Gustavo. V.
Jiménez, Josemaria. VI. Prado, Veronica R., editora. VII. Arguello, Sergio, editor. VIII.
Cardenas Valero, Juan Carlos, editor. IX. Cruz Moreno, Paula Melisa, editora. X.
Cuenca Mora, Fernando Manuel, editor. XI. Banco Interamericano de Desarrollo.
División de Energía. XII. Banco Interamericano de Desarrollo. División de
Transporte. XIII. Título. XIV. Serie.
IDB-TN-3041

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2024 Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Esta obra se encuentra sujeta a una
licencia Creative Commons CC BY 3.0 IGO (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo/legalcode>).
Se deberá cumplir los términos y condiciones señalados en el enlace URL y otorgar el respectivo
reconocimiento al BID.

En alcance a la sección 8 de la licencia indicada, cualquier mediación relacionada con disputas que
surjan bajo esta licencia será llevada a cabo de conformidad con el Reglamento de Mediación de la
OMPI. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse
amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la Comisión de las Naciones
Unidas para el Derecho Mercantil (CNUDMI). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al
reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia y
requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones que forman parte integral de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta obra son exclusivamente de los autores y no necesariamente reflejan
el punto de vista del BID, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



**DESPLIEGUE DE LA
INFRAESTRUCTURA
DE CARGA
DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
EN PARAGUAY**

Editores

Veronica R. Prado
Sergio Andres Arguello
Juan Carlos Cardenas Valero
Paula Melisa Cruz Moreno
Fernando Manuel Cuenca Mora

Autores

Tamatiá R. Colmán Aveiro
Jorge Manuel Acuña Fretes
Ivo Augusto Benitez Cattani
Esteban K. Segovia Nishioka
Gustavo Jiménez
Josemaria Jiménez

Agradecimientos

Este informe es parte de la agenda de conocimiento desarrollada por la División de Energía y por la División de Transporte del Banco Interamericano de Desarrollo que tiene por objetivo desarrollar nuevos productos de conocimiento y programas de asistencia técnica para los países de América Latina y el Caribe. Los productos de conocimiento generados tienen la intención de informar, guiar y ofrecer un menú de recomendaciones a los hacedores de políticas y participantes activos en los mercados energéticos, incluidos los consumidores, las empresas de servicios públicos y los reguladores. El informe fue elaborado bajo la dirección general de Marcelino Madrigal (Jefe de la División de Energía) y Ana Maria Pinto (Jefa de la División de Transporte). Las líderes del equipo de trabajo son Veronica R. Prado (ENE) y Paula Melisa Cruz (TSP), y los miembros del equipo son y Sergio Andres Arguello, Fernando Manuel Cuenca, Juan Carlos Cardenas. Los principales autores del informe son los integrantes del equipo consultor Tamatiá R. Colmán Aveiro (FPTI), Jorge Manuel Acuña Fretes (FPTI-PY), Ivo Augusto Benitez Cattani (FPTI-PY), Esteban K. Segovia Nishioka (FPTI-PY), Gustavo Jiménez (E-mobilitas), Josemaria Jiménez (E-mobilitas). El editor principal es Juan Carlos Cárdenas. El equipo valora los comentarios y revisión de Lenin Balza y Gabriela Montes de Oca del Banco Interamericano de Desarrollo. Además, se agradece la colaboración de las entidades del sector público y privado que participaron en el trabajo, como ANDE, VMME, CADAM, AUTOMOTOR, DIESA, RIEDER, EVERGO y ENEX. También se extiende el agradecimiento a todo el equipo del FPTI-PY que contribuyó al desarrollo del trabajo, incluyendo a Raj Kumar Bhag Chandani Escobar, Clara Patricia Almiron Burgos, Sergio Enrique Morel Peralta y Juan Sebastian Zarate. Adicionalmente, los editores y autores agradecen a Adela Martinez por el diseño de la publicación. El equipo agradece el apoyo financiero de los Fondos de Climate Investment Fund (CIF) a través de la Cooperación Técnica regional "Movilidad eléctrica como oportunidad nacional para una recuperación económica ecológica y resistente" (ATN/SX-19097-PR- PR-T1321), y de fondos del plan de Acción C&D (ATN/OC-19878-PR-PR-T1347).

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2024 Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons CC BY 3.0 IGO (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo/legalcode>). Se deberá cumplir los términos y condiciones señalados en el enlace URL y otorgar el respectivo reconocimiento al BID.

En alcance a la sección 8 de la licencia indicada, cualquier mediación relacionada con disputas que surjan bajo esta licencia será llevada a cabo de conformidad con el Reglamento de Mediación de la OMPI. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil (CNUDMI). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones que forman parte integral de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta obra son exclusivamente de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del BID, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



DESPLIEGUE DE LA INFRAESTRUCTURA DE CARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN PARAGUAY

Visión estratégica de expansión de Infraestructura de carga y estudios para el diseño de herramientas de monitoreo y evaluación de programas piloto de infraestructura de recarga para vehículos con tecnologías de cero y bajas emisiones en Paraguay



Prólogo del Presidente de la Administración Nacional de Electricidad (ANDE)

La movilidad eléctrica representa una oportunidad histórica para Paraguay, con su matriz energética basada 100% en la hidroelectricidad y su potencial para el desarrollo de energías renovables no convencionales, se encuentra en una posición privilegiada para liderar la transición hacia la movilidad eléctrica. Este informe “Despliegue de la Infraestructura de Carga de Vehículos Eléctricos en Paraguay”, un esfuerzo conjunto que refleja nuestro compromiso con la sostenibilidad y la innovación tecnológica es un paso decisivo hacia la transformación de nuestro sistema de transporte y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Teniéndose en cuenta que la estructura de la matriz energética del Paraguay del año 2023 presenta un consumo final del 40% de derivados del petróleo y la electricidad apenas un 22%, el sector transporte representa una parte significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero en nuestro país. La electrificación del transporte no solo contribuirá a mitigar los efectos del cambio climático, sino que también generará nuevos empleos y reducirá nuestra dependencia de los combustibles fósiles importados. Este informe es un paso crucial hacia la construcción de un futuro más limpio y sostenible para todos los paraguayos.

La implementación de una infraestructura de carga adecuada es esencial para fomentar la adopción de vehículos eléctricos. Este informe, respaldado por la Ley No. 6925 de 2022 y el Decreto No. 8840 de 2023, establece una hoja de ruta clara para el desarrollo de una red nacional de carga rápida. La colaboración entre el sector público y privado será fundamental para superar los desafíos y aprovechar las oportunidades que se presenten en este camino. En ese sentido, la ANDE que integra el Consejo Estratégico de Movilidad Eléctrica (CEME), como instancia de facilitación del proceso de transición hacia la movilidad eléctrica en Paraguay, establecido por el mencionado decreto, ha procedido a adquirir un primer lote de vehículos eléctricos (VE), y de manera a promover la utilización de VE tanto por el sector público como el privado y liderar la instalación de estaciones de carga a nivel país, la ANDE está adquiriendo 30 unidades de Cargadores Rápidos de Potencia de 150 kW.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento al Banco Interamericano de Desarrollo (BID) por su apoyo y financiamiento, sin el cual este proyecto no habría sido posible. También agradezco a las firmas consultoras Fundación del Parque Tecnológico Itaipú y al Grupo Emobilitas JV S.A de C.V. por su valiosa colaboración en la realización de los estudios que están resumidos en este informe. Sus esfuerzos han sido cruciales para el desarrollo de una visión estratégica y un plan de acción que guiará nuestros pasos hacia la movilidad eléctrica. Invito a todos los actores involucrados a unirse a este esfuerzo y a trabajar juntos para hacer realidad esta visión. La movilidad eléctrica no es solo una opción, es una necesidad para garantizar un futuro sostenible para Paraguay.

Ing. Félix Eladio Sosa Giménez

Presidente de ANDE

CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	9
INTRODUCCIÓN	11
1. Vehículos Eléctricos e Infraestructura de Recarga en Paraguay	12
1.1. Vehículos Eléctricos.....	12
1.2. Puntos de Carga (Tipo de cargadores y estándares de conectores).....	14
1.3. El marco normativo y regulatorio para la electromovilidad en Paraguay.....	17
1.4. Análisis multicriterio para ubicación óptima de estaciones de carga y sus resultados.....	20
Resultados del Análisis Multicriterio.....	25
1.5. Estudio de caso: Ubicación óptima para implementación de la red nacional de carga rápida para VE en Paraguay.....	28
2. Estimación de la Inversión/Infraestructura Necesaria a Nivel Nacional	33
2.1. Escenarios/Pronósticos de crecimiento de la flota de VE.....	33
2.2. Patrones de comportamiento del consumidor (patrones de recarga).....	36
2.3. Impacto estimado de la infraestructura de recarga sobre la red de distribución.....	40
2.4. Estrategias de mitigación del impacto de la inserción de VE y escenarios de costos/inversión estimados.....	42
3. Estrategia para el despliegue de la infraestructura	46
3.1. Los actores en el negocio de recarga de energía para VE.....	46
3.2. Enfoques adoptados por diferentes países y ciudades para desarrollar su red de carga.....	47
3.3. Tecnologías disponibles, opciones de homologación, interoperabilidad, ciberseguridad y habilitación para uso público.....	50
3.4. Recomendaciones en la estructuración de modelos de negocios para infraestructura de carga: institucionalidad, visión, roles del sector público y privado, y modelo Charging as a Service.....	53
3.5. Análisis de modelos de negocio conceptuales: público, privado y público-privado.....	54
CONCLUSIONES	58
Anexo I – Encuesta a Usuarios de Vehículos Eléctricos.....	60
Anexo II – Algoritmos de simulación de conexión a la red eléctrica.....	64
I.1. Algoritmo de carga Residencial de VE.....	64
II. 2 Algoritmo de carga de Buses y VE de Última Milla.....	66
II. 3 Algoritmo de Cargadores Públicos.....	67

ABREVIATURAS

ANDE	Administración Nacional de Electricidad
BEV	Vehículos Eléctricos con Baterías, por sus siglas en inglés
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CA	Corriente Alterna
CADAM	Cámara de Distribuidores de Automotores y Maquinarias
CC	Corriente Continua
CEME	Consejo Estratégico de Movilidad Eléctrica
CPO	Operador de Puntos de Carga, por sus siglas en inglés
DISCOMs	Empresas de Distribución de Energía
EE	Eficiencia Energética
eMSP	Proveedor de Servicios de Movilidad Eléctrica, por sus siglas en inglés
ENME	Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica
ER	Energía Renovable
EPC	Empresa de Ingeniería, Adquisición y Construcción, por sus siglas en inglés
EVSE	Fabricante de Equipamiento para Suministro de Vehículos Eléctricos, por sus siglas en inglés
FPTI-PY	Fundación Parque Tecnológico Itaipú - Paraguay
GEI	Gases Efecto Invernadero
GdP	Gobierno de Paraguay
ICVE	Infraestructura de Carga de Vehículos Eléctricos
kW	Kilo Watt
kWh	Kilo Watt hora
OEM	Fabricante de Equipos Originales, por sus siglas en inglés
PHEV	Vehículos Eléctricos Híbridos Enchufables
PMME	Plan Maestro de Movilidad Eléctrica para el Transporte Público Urbano y Logístico de Paraguay
SE	Subestaciones Eléctricas
VE	Vehículos Eléctricos
V2G	Vehicle-to-Grid (del vehículo a la red)

RESUMEN EJECUTIVO

Paraguay se encuentra en una posición privilegiada para promover la movilidad eléctrica al contar con una matriz de generación eléctrica basada en la hidroelectricidad y con potencial para crecer con energía renovables no convencionales. Actualmente, el sector transporte representa el 15% de las emisiones de GEI del país, y su electrificación permitiría mitigar los efectos del cambio climático. Además, la electrificación del transporte a través de la adopción de vehículos eléctricos también podría generar nuevos puestos de trabajo y reducir el impacto en la balanza comercial por importación de combustibles. El desarrollo de la movilidad eléctrica requiere de una visión estratégica que considere la expansión de la infraestructura de carga y ajustes regulatorios.

El Gobierno de Paraguay (GdP) ha dado los primeros pasos para promover el uso de los vehículos eléctricos (VE) a través de la aprobación de la Ley No. 6925 de 2022 sobre los Incentivos y promoción del transporte eléctrico y del Decreto No. 8840 de 2023 que aprueba la Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica (ENME) y crea el Consejo Estratégico de Movilidad Eléctrica (CEME); y la elaboración del Plan Maestro de Movilidad Eléctrica para el Transporte Público y Logístico (PMME).

No obstante, el impulso a la movilidad eléctrica en Paraguay requiere del establecimiento de un marco normativo y regulatorio sólido. Este marco debe abordar temas como la coordinación interinstitucional, las normativas técnicas, los compromisos políticos y la implementación de incentivos adecuados. Además, se requiere regular específicamente la gestión de la demanda eléctrica asociada con la carga de vehículos eléctricos, lo que incluye la implementación de tarifas diferenciadas por hora y la asignación de responsabilidades sobre los costos de infraestructura necesarios.

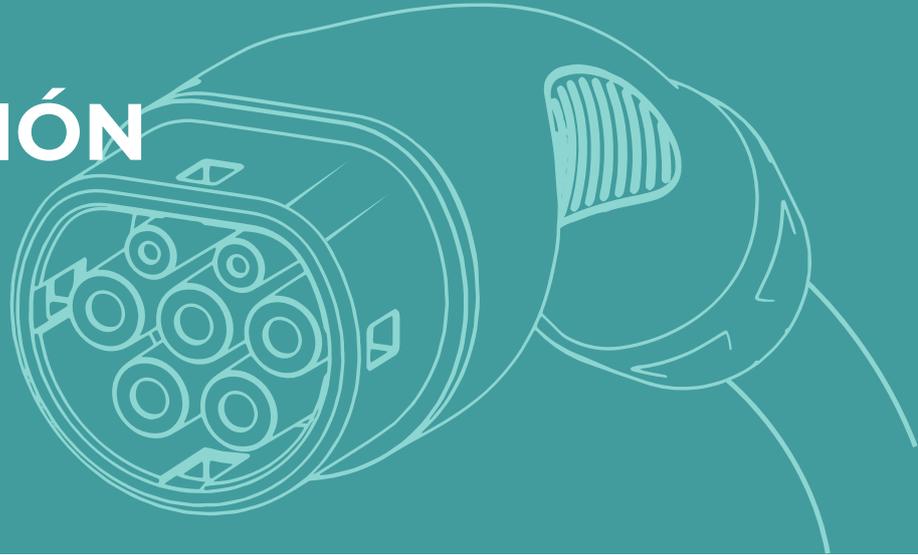
En lo referente al desarrollo de la infraestructura de carga de vehículos eléctricos, Paraguay enfrenta diversos desafíos y oportunidades. Se destaca la diversidad y falta de uniformidad en los tipos de cargadores y estándares de conectores disponibles en el país para el servicio de recarga, así como la inconsistencia en la información proporcionada por las aplicaciones de localización de puntos de carga, que son desafíos importantes que deben abordarse a corto plazo. Sin embargo, al estar en las primeras etapas del desarrollo un rápido ajuste regulatorio puede favorecer la adopción de estándares nacionales y/o regionales.

El establecimiento de una “Red Nacional de Carga Rápida” que proporcione información oficial y actualizada sobre la ubicación y el estado operativo de los cargadores es esencial para garantizar que los usuarios de VE pueden transitar por todo el territorio nacional, de norte a sur y este a oeste. El despliegue de esta red, independientemente de su propiedad debe considerar la infraestructura de carga existente, la densidad demográfica y los patrones de movilidad de la población.

En cuanto a los modelos de negocio para la infraestructura de carga, se destaca la importancia de la coordinación entre el sector público y privado, así como la necesidad de una gestión eficiente del espacio público y los procesos administrativos. Dado el diseño regulatorio actual del sector energético, la ANDE está llamada a jugar un rol fundamental en el despliegue en la infraestructura de recarga de VE. No obstante, ANDE no cuenta con la experiencia de negocio para asumir todas las responsabilidades, la adopción de un modelo público – privado parece la más adecuada para facilitar el rápido despliegue de la infraestructura de recarga de VE.

Estas consideraciones son el resultado del estudio **“Visión estratégica de expansión de Infraestructura de carga y estudios para el diseño de herramientas de monitoreo y evaluación de programas piloto de infraestructura de recarga para vehículos con tecnologías de cero y bajas emisiones en Paraguay”** fue contratado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y desarrollado por las consultoras Fundación Parque Tecnológico Itaipú PY y Grupo Emobilitas JV S.A de C.V.. El estudio buscó el desarrollo de una visión y plan estratégico de expansión de infraestructura de carga y herramientas de decisión para el diseño e implementación de sistemas de potencia requeridos a futuro.

INTRODUCCIÓN



Paraguay se encuentra en una posición privilegiada para promover la movilidad eléctrica al contar con una matriz de generación eléctrica basada en la hidroelectricidad y con potencial para crecer con energía renovables no convencionales. Actualmente, el sector transporte representa el 15% de las emisiones de GEI del País, y su electrificación permitiría mitigar los efectos del cambio climático. Además, la electrificación del transporte a través de la adopción de vehículos eléctricos también podría generar nuevos puestos de trabajo y reducir el impacto en la balanza comercial por importación de combustibles. El desarrollo de la movilidad eléctrica requiere de una visión estratégica que considere la expansión de la infraestructura de carga y ajustes regulatorios.

El presente documento sigue la siguiente estructura. El primer capítulo proporciona una visión integral del estado actual de la infraestructura de carga para vehículos eléctricos en Paraguay, junto con una perspectiva sobre los flujos vehiculares y la demanda futura, la ubicación óptima de estaciones de carga y escenarios para la implementación de una red nacional de carga.

El segundo capítulo presenta un análisis del impacto de la inserción de vehículos eléctricos en la red eléctrica de distribución del Paraguay. Se estudian distintos escenarios futuros para determinar si la infraestructura eléctrica estará preparada para soportar la transición hacia la movilidad eléctrica manteniendo la calidad y confiabilidad del suministro eléctrico. Así, se busca prever los desafíos que surgen a medida que se expande la flota de VE en el Paraguay y proponer estrategias para atenderlos.

En el tercer capítulo, con base en el análisis de experiencias internacionales, se presentan opciones de modelos de negocio que pueden desarrollarse Paraguay para impulsar el desarrollo de la infraestructura de carga para VE.

El documento finaliza presentando las recomendaciones más importantes del estudio con las cuales se espera apoyar el proceso de toma de decisiones para impulsar la electromovilidad en Paraguay.

1. Vehículos Eléctricos e Infraestructura de Recarga en Paraguay

La electrificación del parque automotor en Paraguay aún está en sus primeras etapas. Hasta el año 2023, los vehículos eléctricos (VE) representaron solo un 0,6% del total de vehículos que circulaban por el territorio nacional¹. Sin embargo, hay un creciente interés en la adquisición de VE, impulsado por varios factores: (i) El compromiso de Paraguay en su Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) de reducir en un 20% las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) a 2030². Actualmente, el transporte representa el 15% de las emisiones de GEI en Paraguay³ y la sustitución por VE permitiría aprovechar la matriz eléctrica del país basada en energías para el transporte. (ii) Avances tecnológicos: La infraestructura de carga y los propios vehículos eléctricos han mejorado significativamente, lo que facilita su adopción; y (iii) Apoyo gubernamental: el Gobierno del Paraguay ha adoptado la ENME, la elaboración del PMME, y además se creó el Consejo Estratégico de Movilidad Eléctrica (CEME) entre sus objetivos tiene la promoción de la reducción de emisiones del sector transporte, de cara a la movilidad eléctrica y el fomento de la industria de vehículos eléctricos dentro del territorio nacional⁴.

En este capítulo se presenta el estado actual de los VE en Paraguay, la infraestructura para su recarga, la regulación, los factores que impulsan su desarrollo y las barreras que lo obstaculizan. Con base esta información, y una revisión de las variables que pueden determinar el desarrollo de la electromovilidad en Paraguay se presenta el análisis multivariado realizado y sus resultados con los cuales se diseñó una propuesta de estrategia para el desarrollo de una red de carga rápida de VE de alcance nacional.

1.1 Vehículos Eléctricos

El mercado de vehículos eléctricos (VE) en Paraguay ha mostrado un crecimiento notable en los últimos años. Según la Cámara de Distribuidores de Automotores y Maquinarias (CADAM), entre enero de 2016 y julio de 2024, se importaron un total de 1264 vehículos eléctricos⁵ (Figura No. 1). De estos, el 55% fueron vehículos eléctricos con baterías (BEV) y el 45% fueron vehículos eléctricos híbridos enchufables (PHEV). Este aumento en la adopción de VE refleja una tendencia global hacia la movilidad sostenible y una mayor conciencia ambiental. Además, la diversificación de la oferta de VE y la mejora en la infraestructura de carga en Paraguay podrían contribuir a una aceleración aún mayor de esta tendencia en los próximos años.

1 CADAM, "Informe estadístico: Importación de Vehículos Híbridos y Eléctricos", Asunción, Paraguay, 2024

2 Actualización primera NDC Paraguay 2021, disponible en: <https://unfccc.int/documents/497853>

3 MADES-DNCC/PNUD-FMAM, "Tercer Informa Bial de Actualización sobre Cambio Climático ante la CMNUCC. Proyecto IBA3", Asunción, 2021

4 El CEME creado por decreto del Poder Ejecutivo N° 8.840/23, "por el cual se aprueba la Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica y se crea el Consejo Estratégico de Movilidad Eléctrica", y Lanzamiento del Sistema Nacional de Gobernanza de la Política de Movilidad Eléctrica. Ver: <https://www.mic.gov.py/primer-reunion-del-ceme-para-fortalecer-avances-hacia-la-movilidad-electrica-en-paraguay/>

5 CADAM, 2023

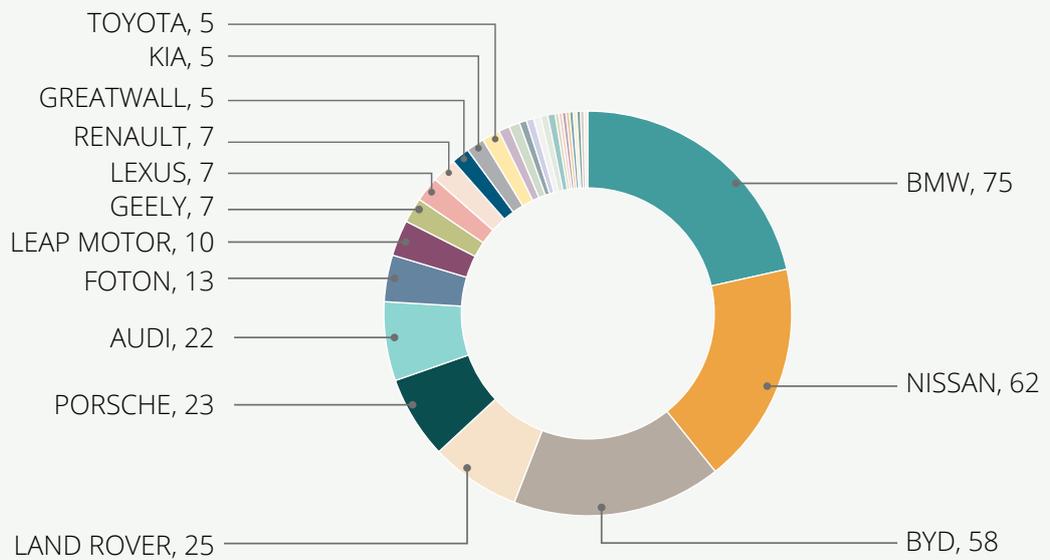
Figura No. 1 Importación de VE en Paraguay 2016 a julio de 2024



Fuente: CADAM, “Informe estadístico: Importación de Vehículos Híbridos y Eléctricos”, Asunción, Paraguay, julio 2024

La oferta de VE en Paraguay es variada, a julio de 2024 se importaron 349 VE, siendo BMW, Nissan y BYD, quienes lideran el mercado. Se destacan el creciente interés de las marcas chinas como Zhongtong, DFSK, Fotón, Maxus, BYD, BAIC, entre otras, que están haciendo esfuerzos significativos en la América Latina y el Caribe para establecerse y promover sus VE. Ver Figura No. 2.

Figura No. 2 - BEV & PHEV Importados de enero a julio 2024



Fuente: ADAM, “Informe estadístico: Importación de Vehículos Híbridos y Eléctricos”, Asunción, Paraguay, 2024

1.2 Puntos de Carga (Tipo de cargadores y estándares de conectores)

Los estándares de los conectores para carga de VE varían según la región geográfica en la que se han desarrollado y por tanto reflejan las particularidades eléctricas de cada región. Además, se debe considerar que se utilizan diferentes conectores para recarga en Corriente Alterna (CA) y Corriente Continua (CC). La variada oferta de VE en Paraguay se refleja en una variedad de conectores y cargadores, lo cual es un factor que dificulta integrar la red de recarga de VE en Paraguay. La Figura No. 3 presenta los tipos de conectores por tipo de corriente de carga y región de origen.

Figura No. 3 Conectores para vehículos eléctricos utilizados por región

TIPO DE CORRIENTE	PAÍS/REGIÓN				
	Japón	Estados Unidos	Europa	China	Estados Unidos
CA					
Corriente Alterna	J1772 o Tipo 1	J1772 o Tipo 1	Mennekes o Tipo 2	GB/T	
CC					
Corriente Directa	CHAdeMO	CCS1	CCS2	GB/T	TESLA

Fuente: EnelWay, “The different EV Charging Connector Types”⁶

En Paraguay, como en el resto de América Latina, se ha confirmado una fuerte tendencia por la adopción del estándar Tipo 2 para cargas en CA y CCS2 para cargas CC⁷. La tabla No 1 presenta los diferentes tipos de conectores y la cantidad existente en las estaciones de carga públicas instaladas en Paraguay.

6 Disponible en línea: <https://evcharging.enelx.com/ca/en/resources/blog/552-ev-charging-connector-types>

7 País por país: “Hitos 2022” de la infraestructura de carga en Latinoamérica, disponible en línea: <https://portalmovilidad.com/pais-por-pais-hitos-2022-de-la-infraestructura-de-carga-en-latinoamerica/>

Tabla No. 1 - Tipos de Conectores para VE instalados en estaciones públicas en Paraguay

Conector	Corriente	Cantidad
J1772	CA	5
CHAdemo	CC	20
CCS1	CC	2
Tipo 2	CA	29
CCS2	CC	34
GB/T Lento	CA	27
GB/T Rápido	CC	9
Tesla	CA	3
	Total	106

Fuente: Reporte "Visión De Expansión De Infraestructura De Carga En Paraguay", entrevistas realizadas diciembre 2023

En cuanto a los cargadores, en este documento se utilizan las definiciones del Departamento del Transporte de los Estados Unidos de América (EUA), que clasifica los cargadores de VE por niveles con base en: (i) la velocidad de carga; (ii) el tipo de corriente de carga, CA o CC; y (iii) la ubicación típica del cargador⁸:

- **Cargadores Nivel 1 CA Lentos:** Operan dentro de un rango de potencia relativamente bajo, que va desde 1 hasta 3,5 kW. Estos cargadores son especialmente convenientes ya que no requieren una instalación eléctrica especial y pueden conectarse a cualquier toma residencial. Son ampliamente utilizados por PHEV, ya que, en la mayoría de estos vehículos y dependiendo el fabricante, representan la máxima potencia aceptada para cargar la batería. Actualmente, en Paraguay no se disponen de cargadores de nivel 1 para uso público, solo residencial.
- **Cargadores Nivel 2 CA Semi rápidos:** Son los más comunes en áreas públicas dentro de las ciudades. Un ejemplo de esto es Inglaterra, donde el número de cargadores de nivel 2 duplica a los de nivel 1 instalados en espacios públicos. Este nivel de carga opera en un rango de potencia de 7 a 19 kW y utiliza como el Tipo 1 (SAE J1772), Tipo 2 (Mennekes) o GB/T en CA. Dependiendo de la cantidad y tipo de cargadores en el lugar, la instalación eléctrica requerirá una mayor sofisticación en comparación con los cargadores de nivel 1, por la cantidad de potencia requerida y por la ruta de implementación por ciudades. En el caso de Paraguay, sigue la misma tendencia que otros países en Latinoamérica y del mundo, con una mayor cantidad de cargadores de nivel 2 instalados en espacios públicos con la característica que los mismos en su mayoría son de 7kW monofásicos lo que minimiza el costo de instalación.

⁸ En este documento seguimos la clasificación del DTEUA, la Unión Europea cuenta con su propia clasificación <https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/general-information/recharging-systems> y la International Electrotechnical Commission.

- **Cargadores Nivel 3 CC Rápidos:** Estos cargadores se utilizan principalmente en tres situaciones: en patios de carga para flotas públicas o privadas, en áreas urbanas para taxis y vehículos ligeros particulares o de última milla, y en estaciones de servicio en carreteras. Este nivel de carga opera en un rango de potencia de 50 a 350 kW y utiliza conectores de CC, como el CHAdeMO, CCS y el Tesla. La instalación eléctrica para estos cargadores es compleja debido a la alta potencia que demandan, lo que requiere una verificación de la infraestructura eléctrica por parte de la ANDE. Actualmente, Paraguay cuenta con **31 estaciones de carga de nivel 3**, ubicadas principalmente en la Ruta Verde, estaciones de servicios asociadas con representantes de marcas de VE y en shoppings. Además, se observa la incursión de empresas especializadas en operar infraestructuras de carga, como EVERGO, que está expandiendo su presencia a nivel nacional.

La tabla No. 2 resume los tipos de cargadores y sus características de acuerdo con la clasificación del Departamento del Transporte de EUA.

Tabla No. 2 Niveles de Carga con potencia de salidas típicas para Cargadores de VE

	Nivel 1 Lentos	Nivel 2 Semi rápidos	Carga Rápida en CC
	Aproximadamente 5 millas de alcance por cada 1 hora de carga	Aproximadamente 25 millas de alcance por cada 1 hora de carga.	Aproximadamente de 100 a más de 200 millas de alcance por cada 30 minutos de carga
Tipo de electricidad	CA	CA	CC
Potencia de salida	1 kW	7 a 19 kW	50 a 350 kW
Ubicación típica	Residencial	Residencial, Oficina y Público	Público

Fuente: Reporte "Visión De Expansión De Infraestructura De Carga En Paraguay", entrevistas realizadas

El panorama actual de las estaciones de carga para VE en Paraguay revela una diversidad de tecnologías y estándares de conectores (Ver Tabla No. 3). Se observa la presencia de cargadores de diferentes niveles de carga, tanto públicos como privados, lo que ha generado una variedad de opciones para los usuarios. Sin embargo, se identifican desafíos como la falta de uniformidad en los estándares utilizados y la inconsistencia en la información proporcionada por las aplicaciones de localización de puntos de carga.

En este contexto, se destaca el crecimiento acelerado de la infraestructura de carga rápida en el país, con la instalación de cargadores de nivel 3 en ubicaciones estratégicas por parte de actores privados como la empresa Automotor (cinco ubicaciones con un cargador de 100 kW que ofrece dos salidas independientes para permitir cargas duales de hasta 50 kW cada una). Además, la ANDE adquirió treinta (30) cargadores rápidos de 150 kW, cada uno con tres tipos de conectores CCS2, GBT y tipo 2, con potencia de salida de 22 kW. La tabla No. 3 proporcionada muestra la distribución de los diferentes niveles de carga en las estaciones públicas, destacando la prevalencia de los cargadores de nivel 2 con una potencia promedio de 7 kW en CA.

Tabla No. 3 Niveles de carga de cargadores públicos en Paraguay

Nivel de Carga	Potencia (kW)	Cantidad
Nivel 2	7	42
	11	9
	22 ⁹	9
Nivel 3	50	20
	60	6
Carga Rápida en CC	100	5
	150	0

Fuente: Reporte "Visión De Expansión De Infraestructura De Carga En Paraguay", entrevistas realizadas diciembre 2023

1.3 El marco normativo y regulatorio para la electromovilidad en Paraguay

El Marco Normativo en Paraguay es esencial para el avance de la movilidad eléctrica, proporcionando un contexto que define oportunidades, plazos y necesidades. Este marco incluye la coordinación interinstitucional, normativas técnicas, compromisos políticos y la implementación de incentivos. Estas medidas son fundamentales para el desarrollo y despliegue efectivo de la movilidad eléctrica en el país.

Comprender los avances en el despliegue de la infraestructura eléctrica es esencial para evaluar los modelos de negocio utilizados, su efectividad, resultados y áreas de mejora. Esto proporciona una visión integral de cómo se ha desarrollado la infraestructura de carga para VE y permite identificar tanto las oportunidades como las brechas en este campo. Ver Tabla No. 4

Tabla No. 4 Normas y regulaciones relacionadas a la movilidad eléctrica en Paraguay

Año	Instrumento	Contribución a la movilidad eléctrica
2006	Ley No. 3009/06 De la Producción y transporte independiente de energía eléctrica (PTIEE)	Define las políticas nacionales de integración y complementación energética regional, la diversificación de las formas de energía disponibles para el desarrollo sustentable, la apropiación de nuevas tecnologías en la materia y la confiabilidad y seguridad del abastecimiento energético regional en el largo plazo, con el mínimo impacto ambiental (Art. 1, 2, 5, 12, 13, 14-19).

⁹ Los cargadores de 22kW de potencia se han clasificado como Nivel 2 dado que ofrecen un alcance aproximado de 75 millas por hora de carga, por debajo de las 100 a más de 200 millas por 30 min de carga de los cargadores Nivel 3 o de carga rápida.

Año	Instrumento	Contribución a la movilidad eléctrica
2012	Ley No. 4838/12 "Política Automotriz Nacional"	Crea incentivos fiscales para la inversión de capital de origen nacional y extranjero, que otorga beneficios fiscales a la importación para estimular la fabricación y/o ensamble de vehículos motorizados y no motorizados, autopartes y autopiezas en general (Art. 1-11).
2014	Plan Nacional de Desarrollo Paraguay 2030	Objetivo de aumentar un 60% el consumo de energías renovables y reducir 20% el consumo de derivados de petróleo para el año meta.
2014	Ley No. 5183 Que modifica a la ley No 4601/12 de Incentivos a la Importación de VE	Exime de impuestos a la importación de VE, los define como aquellos impulsados por motores eléctricos (incluyendo híbridos con energía eléctrica) Además, el Estado debe establecer gradualmente puntos de recarga rápida con tarifas preferenciales en las principales ciudades del país.
2016	Decreto No. 6092/16	Aprueba la política energética de la República del Paraguay que Establece el fomento a la sustitución de hidrocarburos importados por bioenergía, electricidad y otras fuentes de origen nacional.
2016	PNA-ISO/TR 8713. Vehículos de carretera impulsados por electricidad. Vocabulario	Esta Norma establece un vocabulario de términos y definiciones asociadas, utilizado en las normas ISO/TC 22/SC21. Estos términos son específicos de sistemas de propulsión eléctrica de vehículos de carretera impulsados por electricidad, por ejemplo, vehículos VE, vehículos eléctricos híbridos (VEH) y vehículos con celdas a combustible (VCC en inglés FCV).
2018	PNA-IEC 61851	Los tópicos que trata la norma incluyen términos y definiciones, requisitos generales, valor nominal de la tensión de alimentación, interfaz y requisito del sistema general, protección contra descarga eléctrica, conexión entre la alimentación y el vehículo, requisitos específicos de conexión de entrada, conector, enchufe y toma de corriente, cable de carga ¹⁰ .

10 J. Sosa, M. Sacco, E. Buzarquis, D. Ríos, J. Suárez, M. Scavone (2020). Guía para la Estandarización de la Movilidad Eléctrica en Paraguay. Para Vehículos Terrestres. BID. [En línea] Disponible en: <https://publications.iadb.org/es/guia-para-la-estandarizacion-de-la-movilidad-electrica-en-paraguay-para-vehiculos-terrestres>

Año	Instrumento	Contribución a la movilidad eléctrica
2020	Agenda Energética 2019-2023	<p>Dos de sus pilares hacen importantes contribuciones para la detonación de la movilidad eléctrica:</p> <p>Pilar 2. Fuentes renovables y desarrollo eléctrico, Objetivo 2 “Caracterizar y potenciar el uso de los recursos energéticos renovables y alternativas, y la eficiencia energética (EE) en el sector transporte”, en el que se destacan: elaborar normativas y estándares para movilidad eléctrica; el establecer puntos de recarga y estacionamientos gratuitos para VE; e implementar programas de actualización de flota vehicular.</p> <p>Pilar 5. Ambiente y sociedad, Objetivo 1 “En los proyectos energéticos, fomentar la mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático, así como la implementación de servicios ambientales” donde se resalta como meta prioritaria el contar con una ENME que incentive el uso de la energía eléctrica, incluyendo VE, híbridos y de hidrógeno.</p>
2020	Decreto No. 3978	<p>Autoriza la ampliación de la potencia limitada máxima de los suministros de las categorías 373, 413 y 833 establecida en el pliego de tarifas n° 21, anexo del Decreto N° 6904, «por el cual se autoriza a la ANDE, a realizar el rebalanceo de las tarifas para el servicio de Energía eléctrica», de fecha 10 de marzo del 2017.</p>
2020	PNA-IEC 62196-1. Parte 1	<p>Parte 1. Requisitos generales: Aplica a los enchufes, a las tomas, a las tomas móviles para vehículos eléctricos, a los enchufes fijos de VE y a los cables de carga de VE.</p>
2020	PNA-IEC 62196-2 - Parte 2	<p>Parte 2. Compatibilidad dimensional y requisitos de intercambiabilidad para accesorios de clavija de C.A. y de tubo de contacto generales: Aplica a las clavijas, bases de toma de corriente, conectores de vehículo y entradas de vehículo con espigas y alvéolos de configuraciones normalizadas, en adelante denominadas accesorios.</p>
2020	PNA-IEC 62196-3 - Parte 3	<p>Parte 3. Compatibilidad dimensional y requisitos de intercambiabilidad para acopladores de vehículo de espigas y alvéolos en corriente continua y corriente alterna/continua: Aplica a los conectores de vehículo con espigas y alveolos de configuración normalizada, destinados a utilizarse en sistemas de carga conductiva de VE que incorporan medios de control, con una tensión de funcionamiento asignada de hasta 1.500 V en CC y una corriente asignada de hasta 250 A y 1.000 V en CA y una corriente asignada de hasta 250 KWh</p>
2021	Plan Nacional de Desarrollo Paraguay 2030 (Actualizado)	<p>Objetivo de reducir las muertes atribuibles a la contaminación del aire a través del fomento de acciones que contribuyan a reducir las emisiones de GEI, enfocándose en sectores de mayor emisión; y el impulso al desarrollo de la movilidad eléctrica.</p>

Año	Instrumento	Contribución a la movilidad eléctrica
2022	Ley No 6925 De incentivos y promoción del transporte eléctrico en el Paraguay	Busca regular el transporte eléctrico en el país, fortaleciendo su promoción en el sector público y entre la ciudadanía. Establece normativas administrativas, competencias institucionales, exenciones fiscales y políticas de estímulo para la producción de VE y partes, así como la promoción del transporte eléctrico.
2023	Decreto No. 8840	Aprueba la ENME y se crea el Consejo Estratégico de Movilidad Eléctrica. Se desarrolló mediante un proceso participativo que involucró a diversas instituciones públicas interesadas en el avance de la electromovilidad. Este enfoque se alinea con el Plan Nacional de Desarrollo 2030 y la Política Energética Nacional.
2023	Resolución No. 47762 de la ANDE	Por la que se modifica el numeral 11.1.3 del reglamento para instalaciones eléctricas de baja tensión para atender el suministro a centros de recarga. En donde la ANDE puede proporcionar múltiples servicios a una propiedad si las instalaciones sirven a partes claramente diferenciadas y separables de la propiedad, siempre que no superen una carga que deba ser atendida en Media Tensión. En casos excepcionales, y con la certificación de la ANDE, se puede proporcionar un segundo servicio en Media Tensión con una acometida independiente para alimentar un Centro de Recarga.

1.4 Análisis multicriterio para ubicación óptima de estaciones de carga y sus resultados

El Paraguay se encuentra en una etapa inicial de desarrollo en movilidad eléctrica y puede capitalizar el conocimiento obtenido por otros países para tomar decisiones fundamentadas en la implementación de su infraestructura de carga. Experiencias de regiones como Europa, Asia y Norte América revelan que la ubicación estratégica de las estaciones de carga debe tener en cuenta aspectos como la disponibilidad de infraestructura eléctrica y energética, la densidad demográfica y los patrones de movilidad locales.

Igualmente, la ubicación de futuras estaciones de recarga debe considerar aspectos geopolíticos (corredores fronterizos para la integración con otros países de la región), socioeconómicos y de desarrollo territorial a fin de impulsar el desarrollo de regiones estratégicas del país por medio de la conectividad haciendo uso de VE.

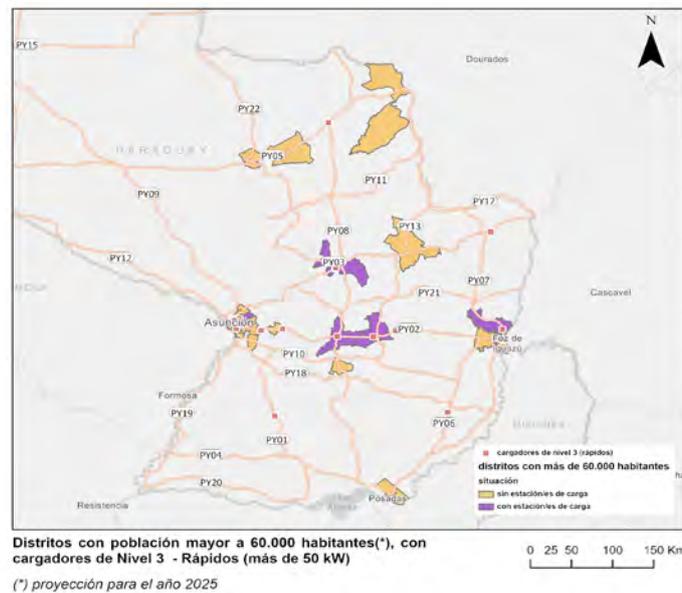
El estudio, con el fin de proponer una estrategia de despliegue óptimo de estaciones públicas de recarga rápida, realizó un análisis multicriterio. Esta es una metodología utilizada para la toma de decisiones que implica la evaluación de múltiples criterios o factores que son relevantes para un problema o situación particular, como es en este caso la electromovilidad.

El análisis multicriterio siguió los siguientes pasos:

- Identificación de las variables (capas) significativas: se determinaron los factores clave que deben considerarse en la toma de decisiones.
- Recolección de datos: se recopiló la información relevante sobre cada una de las variables identificadas.
- Valoración de las capas de entrada: se asignó un peso o importancia relativa a cada variable en función de su relevancia para el problema en cuestión.
- Evaluación de las alternativas: Se analizan las diferentes opciones o alternativas disponibles en función de los criterios establecidos.
- Análisis de resultados: se comparan las alternativas en función de los criterios y se selecciona la opción más adecuada o favorable.

La tabla No. 5 presenta la caracterización de las variables identificadas para realizar el análisis multicriterio de las estaciones públicas de carga rápida en Paraguay. Las Figuras No. 4 a 12 presentan la representación de estas variables en mapas de las regiones oriental y occidental del Paraguay.

Figura No. 4 Mapa de isócronas de tiempo en la Región Oriental

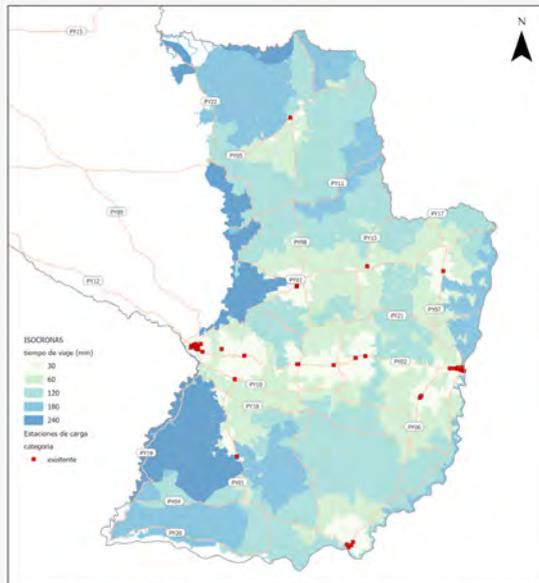


Fuente: Reporte "Visión De Expansión De Infraestructura De Carga En Paraguay", basado en proyección INE

Tabla No. 5 Caracterización de las variables a utilizarse para el análisis de la ubicación de estaciones de carga

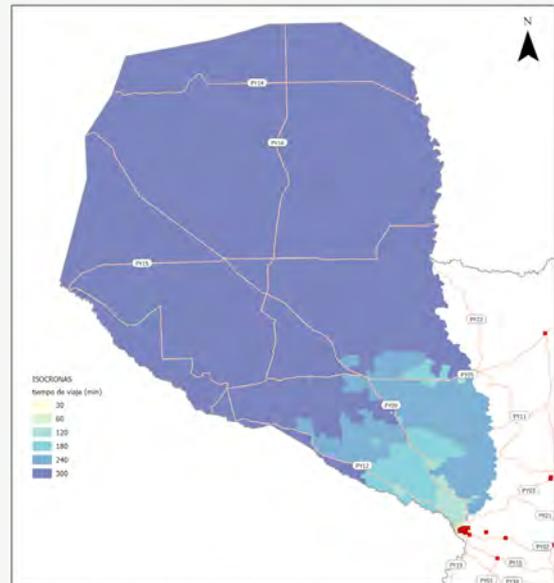
Nombre Variable	Distritos con población mayor a 60.000 habitantes	Isocronas de tiempo de viaje hasta estaciones de carga existentes	Densidad de Edificaciones	Densidad de malla vial	Densidad de malla de líneas de distribución de energía eléctrica	Densidad ubicación de subestaciones de energía eléctrica (SE)
Clave Fussy	f_distritos	f_isocronas	f_dens_edif	f_dens_vias	f_dens_lineas	f_dens_subest
Definición:	Distritos con población mayor a 60.000 habitantes, para el año 2025, según INE proyección versión 2015	Superficie definida por el tiempo de recorridos hasta una estación de carga, en rangos de 30' hasta más de 240' (4 horas)	Cantidad de puntos que representan edificaciones por unidad de superficie.	Extensión de vías (caminos) en unidad lineal por unidad de superficie	Extensión de líneas de distribución de energía eléctrica en unidad lineal por unidad de superficie.	Cantidad de SE por unidad de superficie.
Razón/ Análisis	La Ley 6925 De Incentivos y Promoción del Transporte Eléctrico en el Paraguay, estipula que dentro de los 3 (tres) años siguientes de su entrada en vigencia, se deberá garantizar que existan, como mínimo, dos estaciones de carga rápida en los municipios con más de 60.000 habitantes.	Se consideró para el efecto la ubicación de las estaciones de carga registradas hasta agosto/2023, sin tener en cuenta la cantidad ni nivel de carga de los cargadores, ya que lo que se pretende evaluar es la ubicación de las mismas.	Representa el contexto construido y la huella urbana, en términos espaciales y por tanto refleja niveles de demanda para servicios e infraestructura de transporte. Se considera que a mayor concentración (mayor densidad) de edificaciones, la demanda de cargadores también será mayor.	Representa la densidad de infraestructura construida en términos de caminos de todo tipo. Constituye un indicador indirecto de la demanda de servicios de transporte e infraestructura relacionada.	La densidad de la infraestructura para transmisión eléctrica constituye un indicador de oferta de disponibilidad de energía.	Refleja zonas con mayor demanda de energía eléctrica y por ende de concentración de actividades y con ello de flujo vehicular. La localización de las SE se utiliza para evaluar la disponibilidad de energía en las zonas donde se instalarán las estaciones de carga.
Disponibilidad Información (Fuente)	Para el año 2025, treinta municipios contarán con más de 60.000 habitantes según la proyección de población realizada en 2015 por el INE. De ellos, 9 cuentan con por lo menos una estación de carga rápida. En la región Occidental ningún distrito cuenta con 60.000 o más habitantes.	El análisis consideró el viaje desde cualquier ubicación en el territorio (incluida la estación más cercana) hasta la estación de carga más cercana, utilizando la malla vial versión 2022.	Se dispone de capa con puntos de ubicación de edificaciones correspondiente al año 2002. Los mismos son compuestos por puntos georreferenciados indicándose si son viviendas u otro tipo de edificación. edificaciones (cantidad de edificios por unidad de superficie en km ²).	Se dispone de una capa con los resultados preliminares del levantamiento realizado para el Censo de Población y Viviendas 2022, en formato líneas, sin información de flujo asociada.	Se dispone de una capa de líneas de distribución, con información asociada de sector, y potencia de la SE de servicio.	

Figura No. 5 Mapa de isócronas de tiempo en la Región Oriental



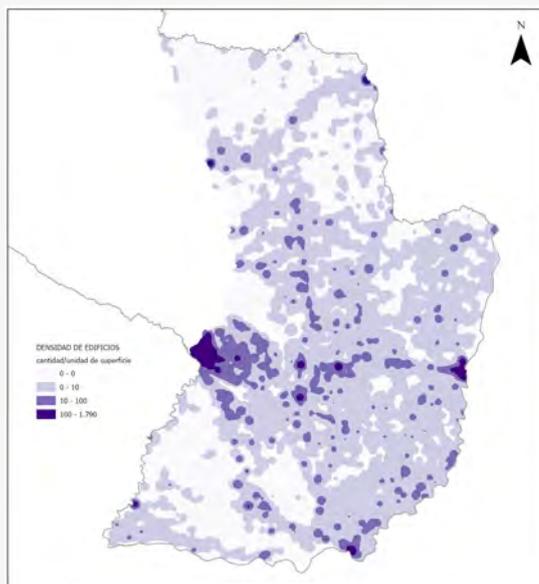
ISOCRONAS EN TIEMPO DE VIAJE, HASTA LAS ESTACIONES DE CARGA; Región Oriental

Figura No. 6 Mapa de isócronas de tiempo en la Región Occidental



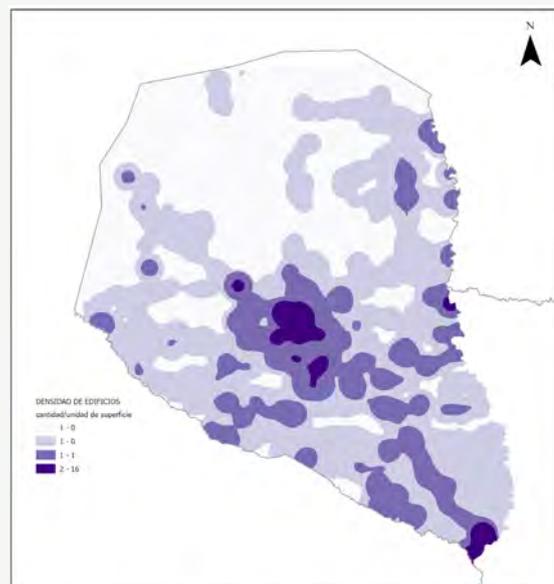
ISOCRONAS EN TIEMPO DE VIAJE, HASTA LAS ESTACIONES DE CARGA; Región Occidental

Figura No. 7 Mapa de densidad de edificaciones Región Oriental



DENSIDAD DE EDIFICACIONES, elaboración propia según datos INE 2002; Región Oriental

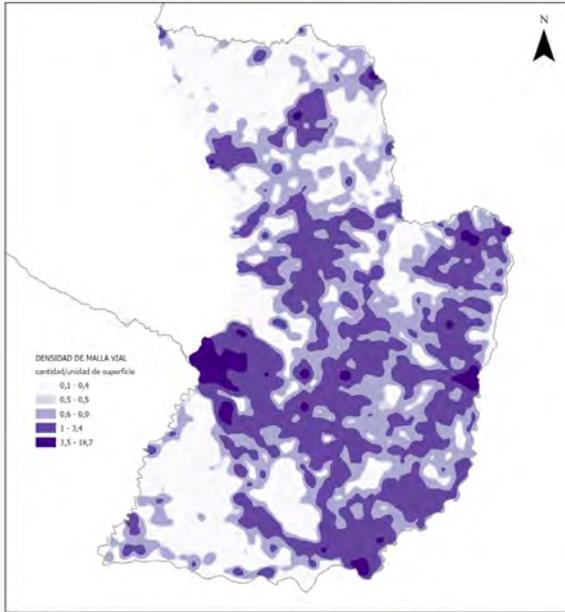
Figura No. 8 Mapa de densidad de edificaciones Región Occidental



DENSIDAD DE EDIFICACIONES, elaboración propia según datos INE 2002; Región Occidental

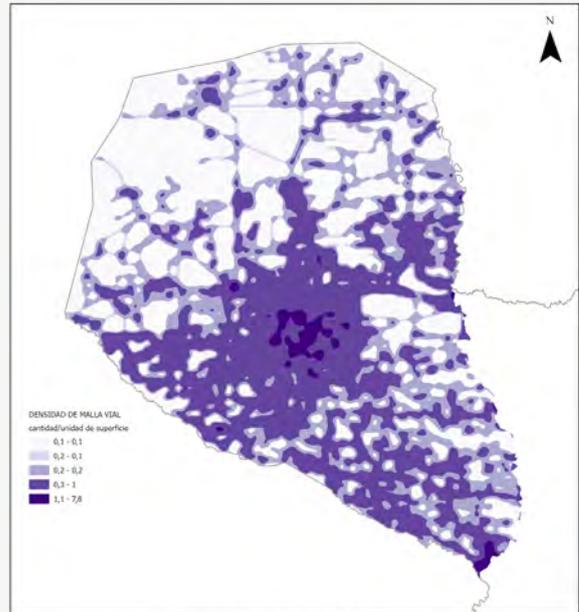
Fuente: Reporte “Visión De Expansión De Infraestructura De Carga En Paraguay”

Figura No. 9 Mapa de densidad de malla vial Región Oriental



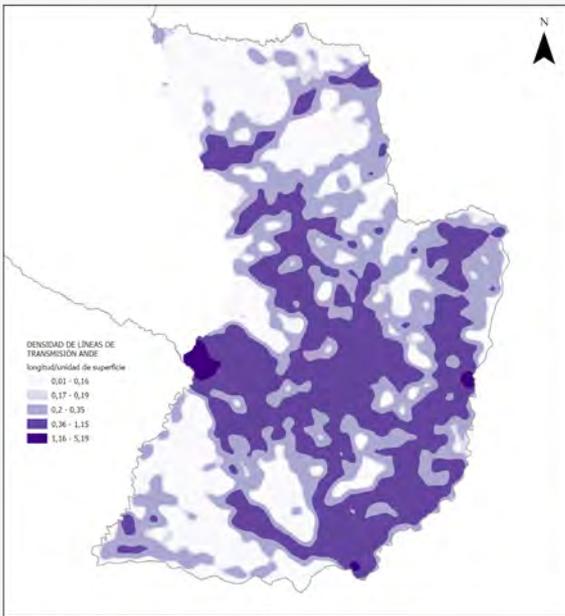
DENSIDAD DE MALLA VIAL, elaboración propia según datos INE 2022; Región Oriental

Figura No. 10 Mapa de densidad de malla vial Región Occidental



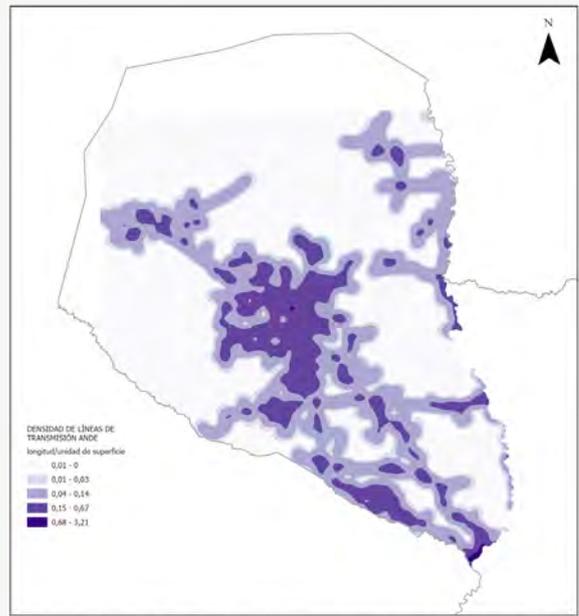
DENSIDAD DE MALLA VIAL, elaboración propia según datos INE 2022; Región Occidental

Figura No. 11 Mapa de densidad de líneas de transmisión eléctrica Región Oriental



DENSIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA, Región Oriental elaboración propia según datos ANDE 2018

Figura No. 12 Mapa de densidad de líneas de transmisión eléctrica Región Occidental



DENSIDAD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA, elaboración propia según datos ANDE 2018

Fuente: Reporte "Visión De Expansión De Infraestructura De Carga En Paraguay"

Figura No. 13 Mapa de densidad de SE Región Oriental

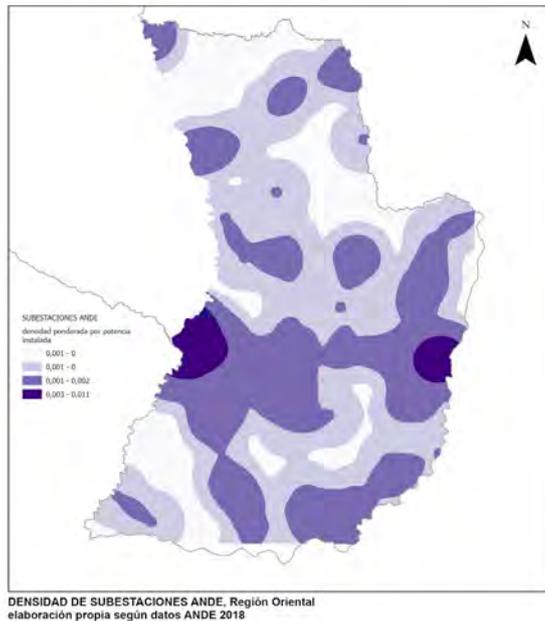
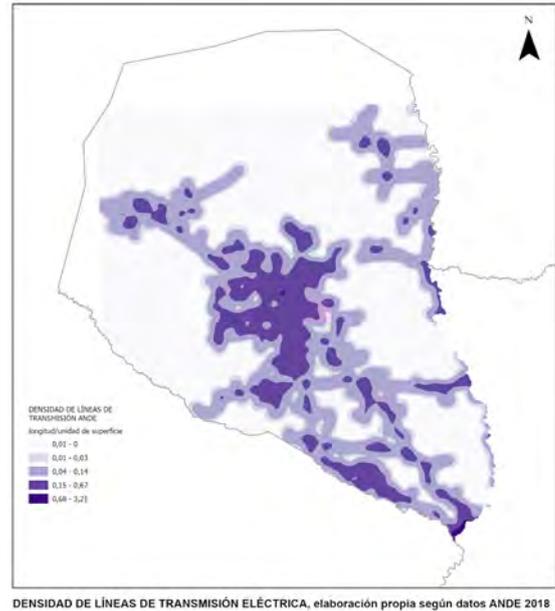


Figura No. 14 Mapa de densidad de SE Región Occidental



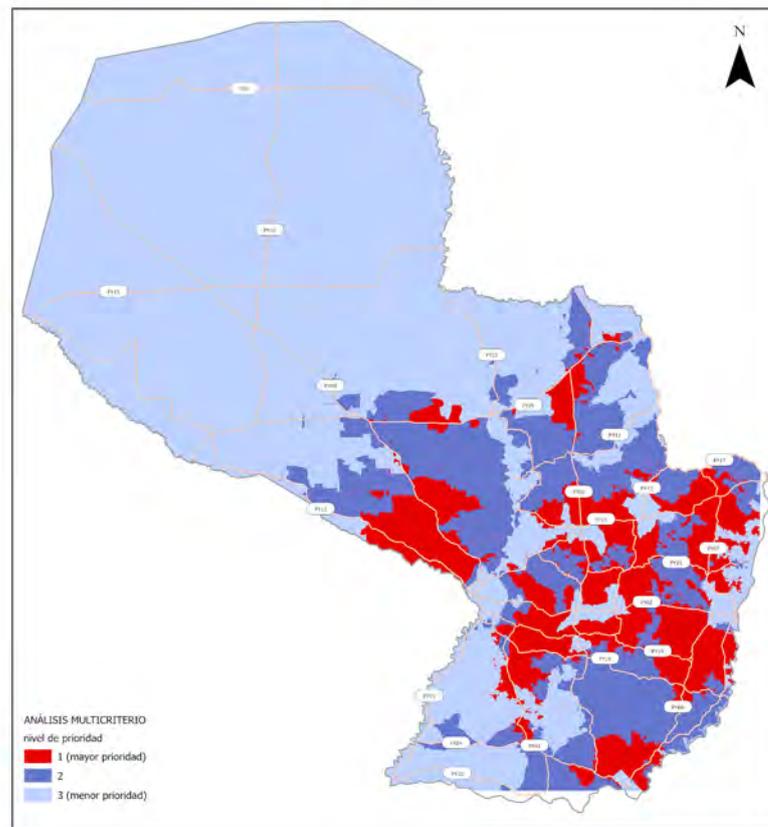
Fuente: Reporte "Visión De Expansión De Infraestructura De Carga En Paraguay"

En el análisis multicriterio se consideraron varias variables adicionales que no pudieron ser incluidas en el algoritmo debido a la falta de información suficiente. Estas variables incluyen: (i) la densidad de puntos de interés, útil para identificar los principales municipios con alta demanda de vehículos; (ii) el aforo vehicular, que representa la cantidad de vehículos que circulan en un tramo durante cierto período, según mediciones puntuales de aforo; (iii) la tasa de motorización, que indica el número de vehículos motorizados particulares por cada mil habitantes; y (iv) variables económicas como el producto interno bruto per cápita a nivel de distrito. Aunque se consideró también la densidad poblacional, medida como la cantidad de habitantes por unidad de superficie, esta fue excluida debido a su alta correlación con la densidad de edificaciones. Esta última variable fue seleccionada por tener una georreferenciación más precisa y datos provenientes de una fuente primaria.

Resultados del Análisis Multicriterio

Debido a las particularidades inherentes de las regiones Oriental y Occidental, se optó por realizar el tratamiento de las variables y el análisis multicriterio por separado para cada una. Sin embargo, al culminar esta fase, se fusionaron ambas regiones para generar un mapa integral que muestra los niveles de áreas prioritarias, ver Figura No. 15. Estos niveles se determinaron mediante la combinación de las variables seleccionadas, utilizando el análisis de lógica difusa y clasificando los resultados en tres clases que reflejan distintos niveles de prioridad, siendo el Nivel 1 el de mayor relevancia para la ubicación de futuras estaciones de carga, y el Nivel 3 el de menor relevancia.

Figura No. 15 Mapa con resultados del análisis multicriterio



Fuente: Reporte “Visión De Expansión De Infraestructura De Carga En Paraguay”

En la Región Oriental, los resultados de niveles de prioridad 1 y 2 muestran claramente la necesidad de contar con una “Red nacional de estaciones de carga para VE”, que independientemente de su propiedad, pública o privada, ofrezca la posibilidad de transitar por todo el territorio, de norte a sur y este a oeste¹¹ (Ver Figura 16).

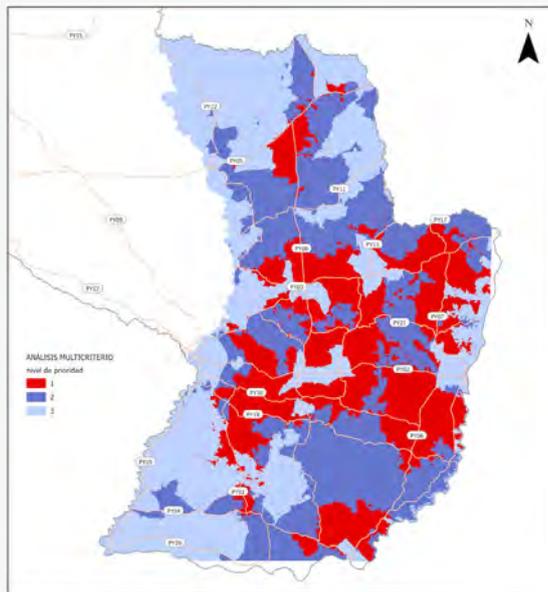
En la Región Occidental donde no existen municipios con población superior a 60.000 habitantes, variable que fue excluida del análisis, los resultados muestran mayor prioridad en la zona del bajo Chaco, la más próxima a la región Oriental y al Departamento Central, por la mayor concentración de población (Ver Figura 18).

El análisis a nivel regional se complementó aplicando los mapas resultantes la capa de la malla vial principal¹², teniendo en cuenta que los sitios de carga se ubican preferentemente sobre las rutas principales, de tal forma que se facilita la identificación de las rutas y lugares prioritarios para la instalación de las estaciones de carga (Ver Figuras 17 y 19).

11 En este análisis una de las capas utilizadas contempla ya la ubicación de todos los cargadores rápidos existentes por lo que vemos a Zonas como Central y Alto Paraná con baja prioridad puesto que ya cuentan con una infraestructura mínima disponible.

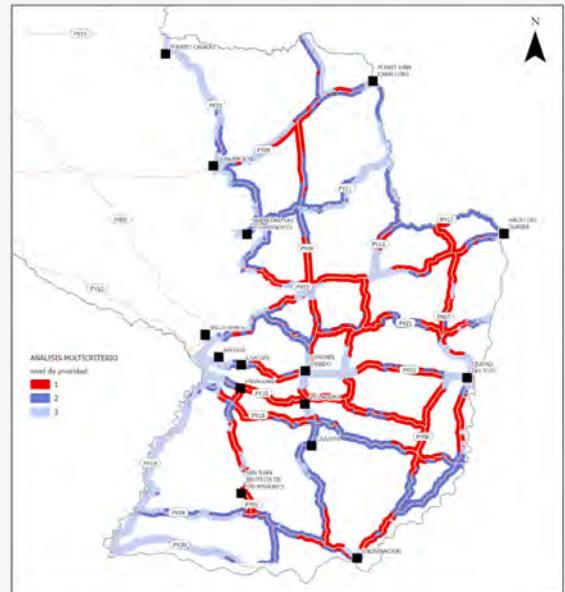
12 https://mopc.gov.py/uplmoo9eib8eefou3ooze4y/2024/03/MAPA_PY_CORTE-dic-2023.pdf

Figura No. 16 Mapa con resultados del análisis multicriterio Región Oriental



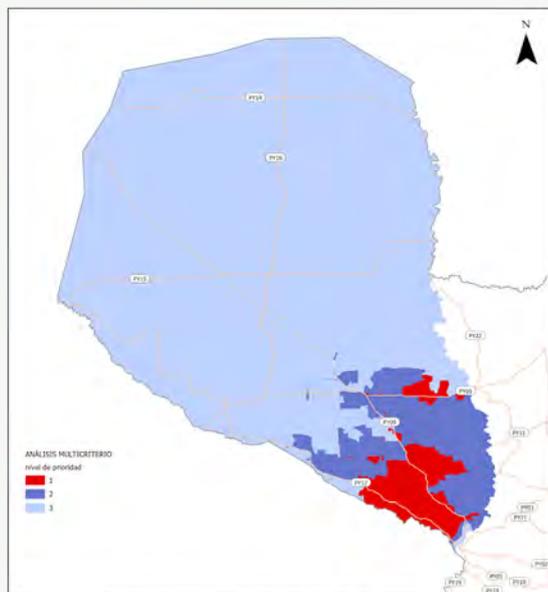
RESULTADO DEL ANÁLISIS MULTICRITERIO, Región Oriental

Figura No. 17 Mapa con resultados del análisis multicriterio en rutas principales Región Oriental



RESULTADO DEL ANÁLISIS MULTICRITERIO, Región Oriental (en áreas de influencia de rutas principales)

Figura No. 18 Mapa con resultados del análisis multicriterio Región Occidental



RESULTADO DEL ANÁLISIS MULTICRITERIO, Región Occidental

Figura No. 19 Mapa con resultados del análisis multicriterio en rutas principales Región Occidental



RESULTADO DEL ANÁLISIS MULTICRITERIO, Región Occidental (en áreas de influencia de rutas principales)

Fuente: Reporte "Visión De Expansión De Infraestructura De Carga En Paraguay"

1.5 Estudio de caso: Ubicación óptima para implementación de la red nacional de carga rápida para VE en Paraguay

El estudio con el fin de determinar los lugares óptimos para implementar una red nacional de carga rápida para VE a cargo de ANDE analizó un caso particular con las siguientes condicionantes:

- (i) **La Ley 6925 de “De Incentivos y Promoción del Transporte Eléctrico en el Paraguay**, la cual en su artículo No. 18 establece que a 2025 “se deberá garantizar que existan en los municipios con más de sesenta mil (60.000) habitantes, como mínimo, dos estaciones de carga rápida en condiciones funcionales”.
- (ii) **La infraestructura de carga existente**, el tipo y/o velocidad de carga de las estaciones, su ubicación, y su interoperabilidad, aunque de esto no hay mucha información disponible. Ver Figura No. 20.
- (iii) **El radio de cobertura de las estaciones de recarga**, es la distancia máxima desde la estación en la cual un vehículo eléctrico puede operar de manera eficiente y segura sin quedarse sin carga. En este caso se estableció como una función que tiene como referencia a la potencia y el tiempo de carga objetivo o equivalente a una parada de un vehículo convencional en condiciones de viaje interurbano. Ver Cuadro No. 1



Cuadro No. 1 Cálculo radio de cobertura de las estaciones de carga

El radio de cobertura de un cargador se estimó con una ecuación¹³, que considera un vehículo eléctrico con consumo promedio "Cp" se detiene en una estación de carga por un tiempo "Tc" mientras realiza la carga con un cargador de Potencia "Pc".

$$P_{cef} = P_c \times \left(1 - \frac{F_{cc}}{100} \right)$$

$$K = \frac{T_c}{60} \times \frac{P_{cef}}{C_p}$$

$$K_{ef} = K \times \left(1 - \frac{M_s}{100} \right)$$

En donde:

P_{cef} : Potencia de carga efectiva del cargador (kW)r

P_c : Potencia de carga (kW)

F_{cc} : Factor de curva de carga promedio (%)

K : autonomía teórica obtenida (km)

T_c : Tiempo de carga (minutos)

C_p : Consumo promedio del VE (kWh/100km)

K_{ef} : autonomía efectiva obtenida (km)

M_s : Margen de seguridad (%)

Para el caso de Paraguay, considerando sus características particulares se tomó como referencia de eficiencia promedio de un VE el de 18 kWh/100km¹⁴¹⁵, una expectativa de tiempo de parada para recarga es de 15 minutos, un factor asociado al promedio de la curva de carga de 30% el cual busca compensar las drásticas reducciones al inicio y al final de la carga del vehículo, un margen de seguridad del 20% para aspectos de variaciones ambientales como temperatura, viento, el relieve del terreno, la carga que el vehículo transporta, el uso de acondicionadores de aire frío/caliente, entre otros. La Tabla No. 6 muestra los radios de cobertura obtenidos con estos valores para el caso Paraguay y la Figura No. 21 muestra los radios en un mapa.

Tabla No. 6 - Radio de cobertura de cargadores según su potencia

Potencia de cargador (kW)	Radio de cobertura (km)
7	5
50	40
100	80
150	120

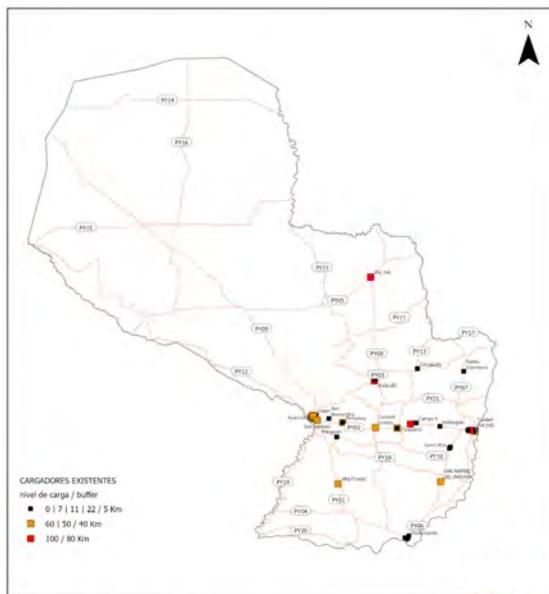
13 Ecuación del radio de cobertura. Elaboración propia estudio "Visión estratégica de expansión de Infraestructura de carga y estudios para el diseño de herramientas de monitoreo y evaluación de programas piloto de infraestructura de recarga para vehículos con tecnologías de cero y bajas emisiones en Paraguay".

14 "¿Cuánto consume cargar un Coche Eléctrico?", disponible en línea: <https://cuantoconsume.com/coche-electrico/>

15 "Cuánto consume un coche eléctrico y cómo calcularlo", disponible en línea: <https://motor.elpais.com/coches-electricos/cuanto-consume-un-coche-electrico-y-como-calcularlo/>

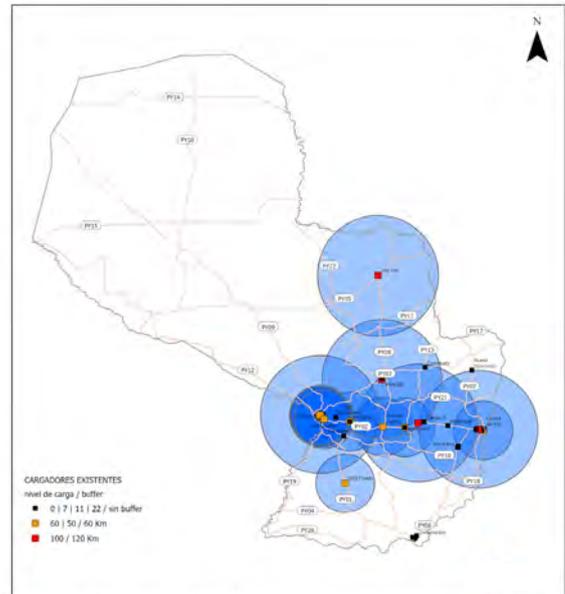
En la Figura No 21 muestra el nivel de cobertura actual del territorio nacional considerando todos los cargadores rápidos existentes, teniendo en cuenta los niveles de potencia de estos y la localización geográfica.

Figura No. 20 Mapa actual de la ubicación de la infraestructura de carga



CARGADORES EXISTENTES

Figura No. 21 Mapa actual cobertura de la de infraestructura de carga



CARGADORES EXISTENTES Y ÁREAS DE INFLUENCIA

Fuente: Reporte “Visión De Expansión De Infraestructura De Carga En Paraguay”

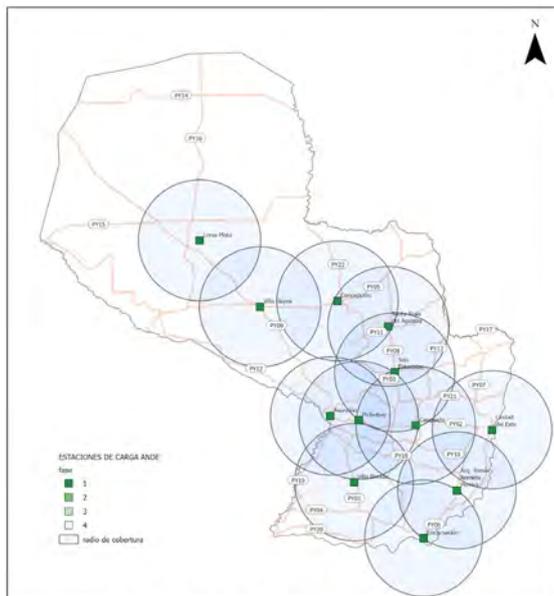
De acuerdo con los resultados y la figura No. 21, aparentemente la cobertura en la Ruta 2 (PY02) es suficiente; sin embargo, esto no puede ser garantizado debido a falta de interoperabilidad física para garantizar el servicio ya que no todos los conectores son compatibles en dicho trecho, esto debido a la ausencia de reglamentación referente a los estándares de conectores. Esto aplica para las otras Rutas del país, siendo la interoperabilidad uno de los mayores retos de la recarga de VE en Paraguay.

Estrategia para implementación de la red nacional de carga rápida

El estudio con base en los resultados del análisis multicriterio y las consideraciones presentadas anteriormente desarrolló una estrategia cuyo objetivo es la cobertura nacional de recarga de VE. La estrategia permitirá implementar la red nacional de carga rápida para VE del Paraguay “Sistema Nacional de Carga Rápida” de ANDE con los 30 cargadores de 150 kW ya adquiridos, y 4 más que serían necesarios para la región occidental. La estrategia se estructuró siguiendo una ruta prioritaria de ciudades/regiones:

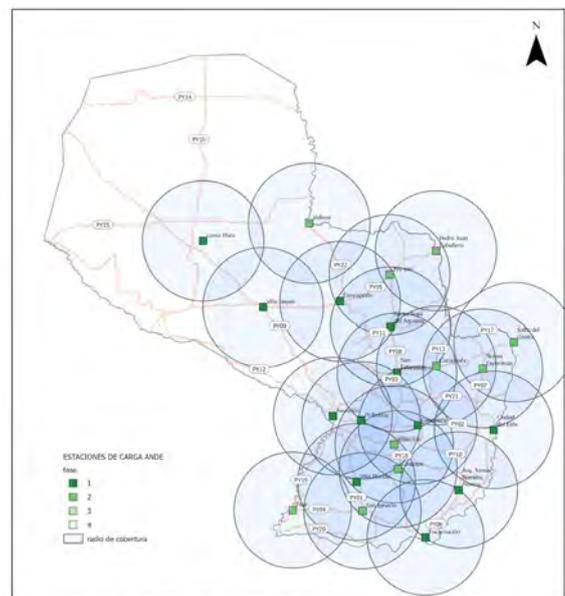
- **Prioridad 1:** propone la instalación de 12 cargadores de 150k priorizando las áreas identificadas como necesarias por la herramienta, especialmente en poblaciones con más de 60.000 habitantes. Ver Figura No. 22.
- **Prioridad 2:** incluye la integración de 10cargadores suplementarios en adición a los de prioridad uno, con la misma capacidad de 150 kW. En la Figura No. 23, se observa una distribución de estos cargadores que abarca la región nororiente del país, ampliando aún más la cobertura ofrecida.
- **Prioridad 3:** presenta la incorporación de 8 cargadores suplementarios, elevando el total de cargadores a 30 para el año 2025. En la Figura No. 24 se aprecia cómo la cobertura se expande hacia la región norponiente, y refuerza su presencia en la zona central, que alberga la mayor concentración de vehículos en Paraguay y sirve de ruta vital conectando con Brasil y Argentina.
- **Prioridad 4:** prevé la instalación de 4 cargadores en la región occidental. Esto permitirá impulsar su desarrollo por medio de la conectividad con VE, aprovechando su potencial turístico y agroindustrial y emprendimientos emblemáticos como el puente entre Paraguay y Brasil, en construcción en la zona de Carmelo Peralta, la ruta bioceánica, y la conectividad con Bolivia. Ver Figura No. 24

Figura No. 22 Fase 1 con la instalación de 12 cargadores de 150kW



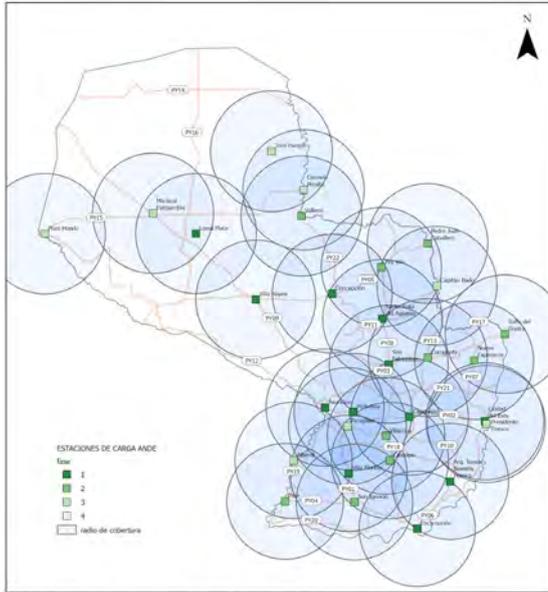
CARGADORES ANDE (a instalar), FASE 1, con RADIO 120 Km

Figura No. 23 Fase 2 con 22 cargadores de 150 kW instalados para 2024



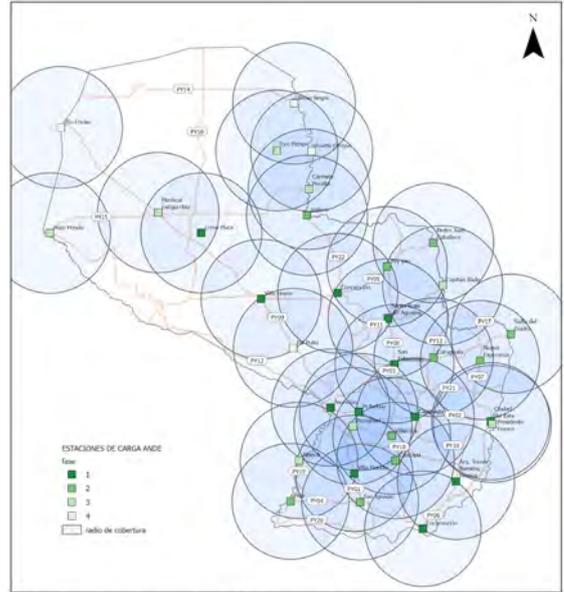
CARGADORES ANDE (a instalar), FASES 1 2 y 3, con RADIO 120 Km

Figura No. 24 Fase 3 con 30 Cargadores Instalados a 2025



CARGADORES ANDE (a instalar), FASES 1 2 y 3, con RADIO 120 Km

Figura No. 25 Fase 4 con 34 Cargadores Instalados a 2025



CARGADORES ANDE (a instalar), FASES 1, 2, 3 y 4, con RADIO 120 Km



2. Estimación de la Inversión: Infraestructura Necesaria a Nivel Nacional

La infraestructura de carga para atender la creciente demanda de los VE requiere a su vez garantizar que la infraestructura eléctrica esté lista para atender la demanda adicional de potencia y energía en los diferentes puntos de carga a nivel nacional. En este capítulo se realiza una estimación de las inversiones en infraestructura eléctrica que se requieren para atender a futuro la demanda de energía eléctrica de los VE.

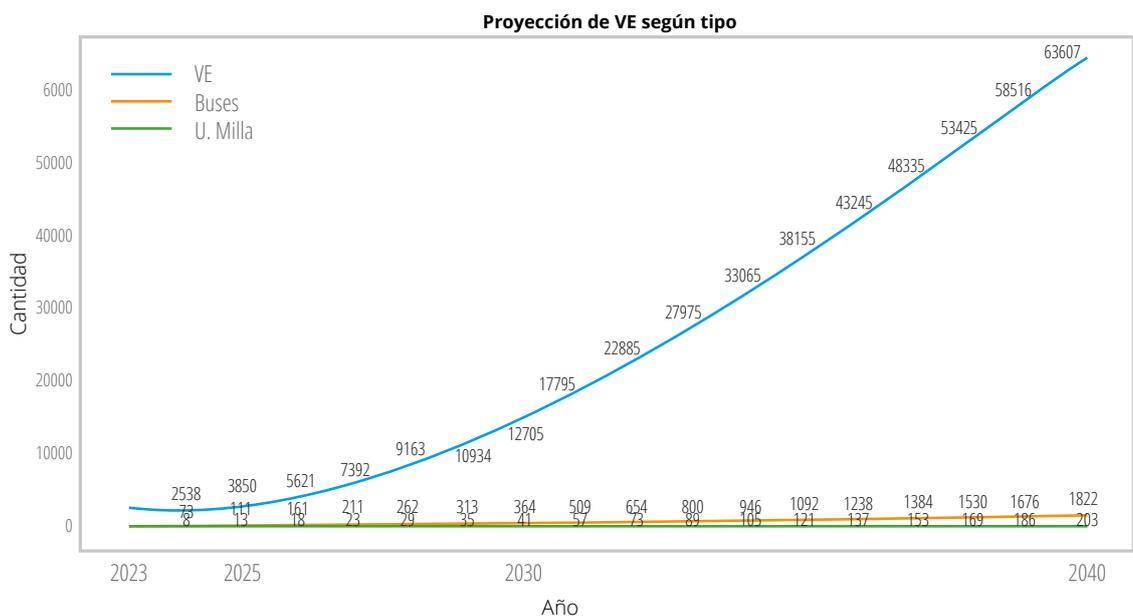
En primer lugar, se presenta una estimación de los actuales patrones de carga de los VE; en segundo lugar, se realiza una estimación del crecimiento del número de VE en el país; y finalmente, se determinan los puntos donde se requieren realizar inversiones en la infraestructura eléctrica para atender la futura demanda.

2.1 Escenarios: Pronósticos de crecimiento de la flota de VE

El primer paso para conocer la demanda por infraestructura eléctrica para recarga de VE es conocer con cuántos VE contará el parque automotor del Paraguay. Para esto se construyeron tres escenarios considerando (i) la tendencia actual de crecimiento del número de VE; (ii) el PMME para el área metropolitana; y (iii) el desarrollo de la movilidad eléctrica en Paraguay siguiendo patrones similares al mercado europeo.

Escenario 1. Tendencial: dimensiona los volúmenes de VE en un escenario que considera tendencia de la demanda en los últimos 10 años. Este escenario no considera otras variables que puedan beneficiar o incentivar el uso de VE, como las leyes y planes que han surgido en los últimos años. En 2040, se alcanzaría un total de 65.632 VE. Ver Figura No. 26

Figura No. 26 - Escenario 1. Tendencial



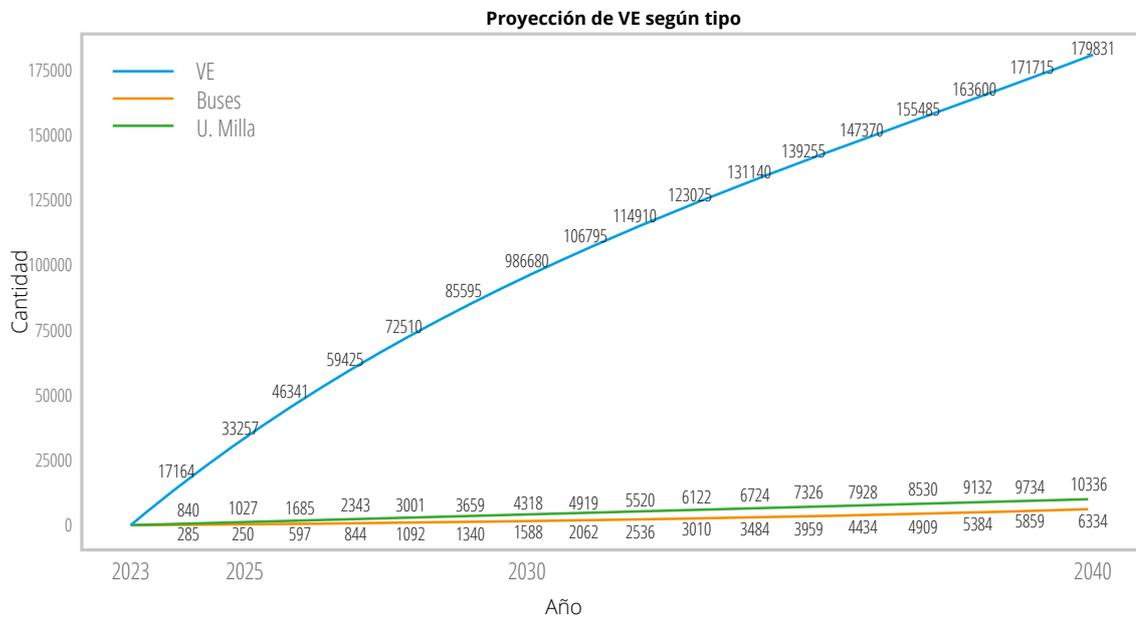
Fuente: Reporte "Estudio del Impacto sobre la red de distribución en el territorio nacional"

Escenario 2. Basado en el PMME para el área metropolitana: considera las variables establecidas en el PMME, que reflejan un resultado altamente ambicioso de cara la migración de VE en el país, con base en metas establecidas por las autoridades que participaron en el desarrollo de este mecanismo y la Ley 6925 (que menciona un plan para migrar el parque vehicular del gobierno a 100% eléctrico en los siguientes años). Las metas establecidas en porcentajes con base en el parque total y los resultados del escenario se presentan en la tabla No.7. En este escenario, el volumen de VE alcanzaría 196.501 unidades en 2040- Ver. Figura No. 27.

Tabla No. 7 - Escenario 2. Metas establecidas en porcentaje

Transporte público	Tipo de unidad	2023	2025	2030	2040
Transporte público	Ómnibus eléctricos	1%	12%	30%	100%
Transporte logístico urbano	Camión eléctrico	1%	8%	25%	50%
Transporte logístico urbano	Camioneta eléctrica	1%	10%	25%	50%
Transporte público	Taxis eléctricos	4%	15%	25%	50%
Transporte privado	Particular	0%	4%	10%	15%

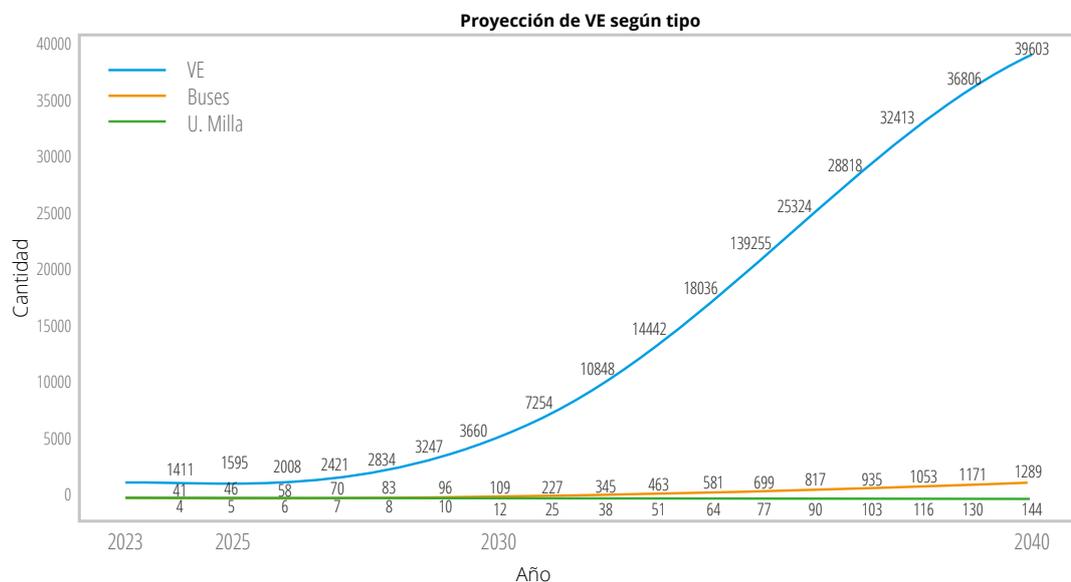
Figura No. 27 - Escenario 2. Basado en el PMME para el área metropolitana



Fuente: Reporte "Estudio del Impacto sobre la red de distribución en el territorio nacional"

Escenario 3: Con proyección de crecimiento europeo: se estimó que el crecimiento de los VE en Paraguay a futuro sería igual a la tasa de crecimiento de los VE en Europa para el período 2012-2022¹⁶. El objetivo de este escenario es simular el crecimiento del número de VE con un conjunto de los mejores incentivos, políticas y presupuesto, como es el caso Europeo. La referencia europea se utiliza debido a su éxito en la adopción de vehículos eléctricos (VE) gracias a políticas gubernamentales favorables, incentivos económicos y una infraestructura de carga avanzada. Europa ha implementado medidas efectivas como subsidios, exenciones fiscales y restricciones a vehículos de combustión interna, lo que ha permitido un crecimiento sostenido de los VE. Al proyectar el crecimiento de los VE en Paraguay con la tasa europea, se busca replicar este éxito y alinearse con objetivos de sostenibilidad y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. La distribución del tipo de vehículos en este caso se mantuvo constante entre 2023 y 2024. La Figura No. 28 presenta los resultados de este escenario en el cual se alcanzan 41.037 VE a 2040.

Figura No. 28 - Escenario 3: Con proyección de crecimiento europeo



Fuente: Reporte "Estudio del Impacto sobre la red de distribución en el territorio nacional"

El análisis muestra que el Escenario 1, basado en el comportamiento de Paraguay desde 2010, tiene un número de VE más alto que el Escenario 3, que se basa en el crecimiento de la Unión Europea desde 2012. Esto se debe a que el Escenario 1 refleja la primera etapa de incorporación de VE en Paraguay, siendo más ambicioso que el pronóstico del Escenario 3, que considera una fase más avanzada de adopción de VE en Europa.

¹⁶ European Environment Agency, "New registrations of electric vehicles in Europe", October 2022, disponible en línea: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/new-registrations-of-electric-vehicles>

Por otro lado, el escenario 2, resulta en un volumen de VE más alto, derivado de las tendencias de crecimiento más ambiciosas, con metas y estrategias para alcanzar volúmenes mucho más altos. Este escenario 2 es el ideal para una adopción masiva de VE en un futuro, por tanto, se debe hacer seguimiento al cumplimiento de las medidas propuestas en el PMME si se quieren lograr las metas propuestas, de lo contrario Paraguay se enfrenta a un escenario similar al tendencial donde los VE crecen a un menor nivel.

2.2 Patrones de comportamiento del consumidor (patrones de carga)

Los patrones de carga de VE establecen los diferentes comportamientos y características asociados a la forma en que se realiza la recarga de los VE en términos de tiempo, duración y frecuencia. Estos patrones de carga pueden variar ampliamente dependiendo de factores como necesidades de movilidad del propietario del VE, las necesidades de viaje, las opciones de carga disponibles y las políticas de tarifas de electricidad.

La variabilidad en la carga de VE puede influir en la capacidad de la red eléctrica, por lo que es fundamental analizar y predecir estos patrones de carga con el fin de determinar las posibles necesidades adicionales de la infraestructura eléctrica. El análisis de los patrones de carga del caso paraguayo consideró los siguientes elementos:

- **Encuesta directa a usuarios de VE:** Aplicada a 41 usuarios de los 400 estimados en Paraguay en 2023, permitió determinar el horario de recarga de VE y las localidades donde lo hacen, así como el tipo de vehículo eléctrico, características técnicas, como la capacidad de la batería, el consumo promedio, autonomía y km de recorrido promedio. Estos datos son claves para analizar la demanda eléctrica en diferentes momentos del día y las zonas de servicio de las SE que atienden a los distintos puntos de carga. Los resultados se presentan en el Anexo No. I.
- **Información de Buses Eléctricos:** utilizan datos obtenidos de la empresa Magno S.A., que es una empresa de transporte público con una flota de 132 buses, dos de ellos buses 100% eléctricos, estos buses eléctricos cuentan con una autonomía de 300 kilómetros y baterías de 320 kWh. La empresa utiliza cargadores de 180 kW y tiene previsto la adquisición de más 20 unidades de buses eléctricos y 7 nuevos cargadores¹⁷. Para fines de simulación, se consideraron todas las líneas e itinerarios recopilados de la empresa que fueron obtenidos de la página web de la empresa¹⁸.

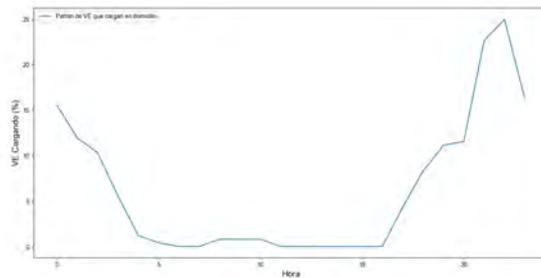
17 Javiera Altamirano, "Portal Movilidad", Julio, 2022, <https://portalmovilidad.com/unica-operadora-con-buses-electricos-en-paraguay-amplia-flota-con-20-unidades-mas/>

18 Magno S.A., "Magno", disponible en <https://www.magno.com.py/itinerarios/>

El análisis de los patrones de viaje incluyó el desarrollo de algoritmos de simulación de conexión a la red eléctrica de los distintos tipos de grupos de VE que forman los patrones de carga más comunes en Paraguay. El algoritmo fue desarrollado en base a un método que permite modelar la forma en que los vehículos se conectan y desconectan de la red eléctrica para cargar sus baterías¹⁹. Para simular diferentes escenarios de carga se utiliza información como la disponibilidad de estaciones de carga, la capacidad de carga de los vehículos y los perfiles de uso de los propietarios de VE obtenidos de la encuesta. Los algoritmos utilizados se presentan en el Anexo II.

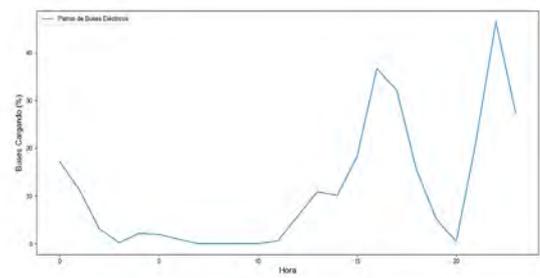
La simulación de conexión de VE a la red eléctrica proporcionó datos que luego fueron analizados utilizando la técnica de minería de datos, el algoritmo de "K-medias" que es uno de los más usados para agrupar y reconocer patrones^{20, 21}. La aplicación del algoritmo de K-medias a los datos de carga de VE proporciona información sobre los patrones de carga predominantes. Estos patrones describen las tendencias de cada grupo, como períodos de alta y baja demanda durante el día. Los resultados obtenidos se presentan en las graficas No. 29 a 32.

Figura No. 29 Patrón de carga Residencial de VE obtenido en simulación.



Los VE de carga residencial alcanzan sus picos de demanda en horarios de la noche, con un descenso de demanda durante la madrugada

Figura No. 30 Patrón de carga de Buses Eléctricos obtenido en simulación



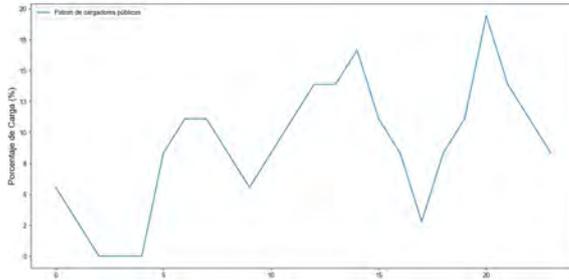
El patron muestra un crecimiento de demanda a partir del mediodía para un descenso en horas de la tarde y un nuevo ascenso en horas de la noche

19 L. Calearo, A. Thingvad, K. Suzuki and M. Marinelli; Grid Loading Due to EV Charging Profiles Based on Pseudo-Real Driving Pattern and User Behavior; IEEE Transactions on Transportation Electrification, 2019

20 K. P. Sinaga and M. -S. Yang, "Unsupervised K-Means Clustering Algorithm," in IEEE Access, vol. 8, pp. 80716-80727, 2020.

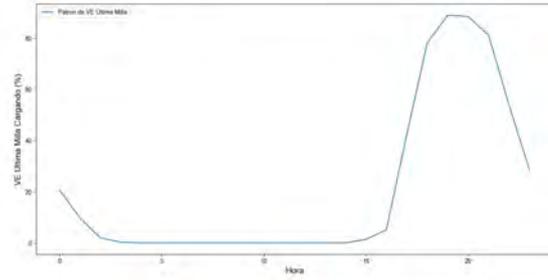
21 J. B. MacQueen, "Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations, Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability", Berkeley, University of California Press, 1967.

Figura No. 31 Patrones de carga de VE en cargadores Públicos



El patrón de carga de cargadores públicos obtenido en la simulación presenta 3 picos de demanda, uno en horas de la mañana, otra cerca del mediodía y otro en horas de la noche.

Figura No. 32 Patrón de carga de VE de última milla



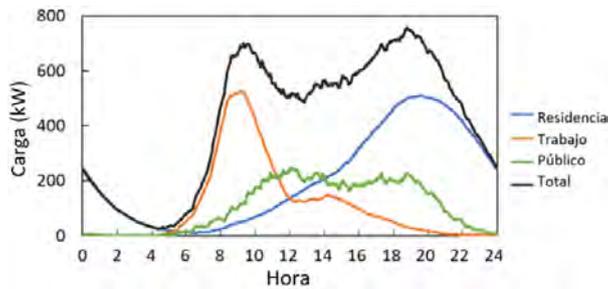
El patrón de carga de VE de Última Milla muestra una demanda nula de recarga durante el horario laboral.

Fuente: Reporte “Estudio del Impacto sobre la red de distribución en el territorio nacional”

Experiencias Internacionales:

- **Revisión de Casos Internacionales:** se revisaron casos de estudios de Europa, Corea y China, que proporcionan información de referencia sobre los patrones de carga obtenidos en cada caso cuyos resultados se muestran en las Figuras No. 33 a 36.

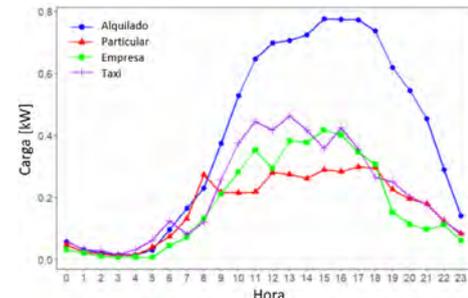
Figura No. 33 Patrones de carga en múltiples locaciones.



La Figura No. 33 presenta los patrones de carga promedio de 1000 VE que cargan en cargadores residenciales, públicos y cargadores en lugares de trabajo. El patrón de carga de cargadores residenciales tiene pico de demanda en horas de la noche, mientras que el patrón de carga en lugares de trabajo tiene un pico durante la mañana y los cargadores públicos cerca del mediodía.

Fuente: “Characteristics of electric vehicle charging demand at multiple types of location - Application of an agent-based trip chain model”; Energy, 2019.

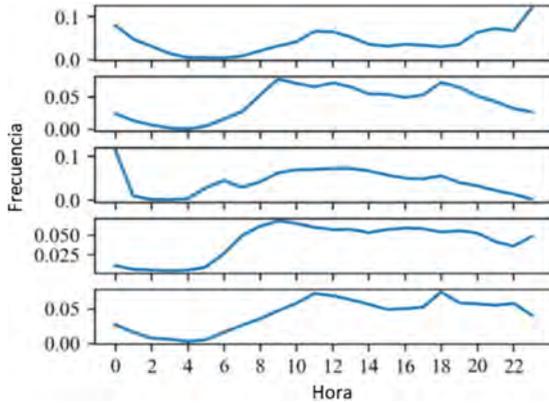
Figura No. 34 Patrones cargadores públicos de Jeju en Corea del Sur



La Figura No. 34 presenta los patrones de carga resultantes de datos de cargadores públicos de Jeju en Corea del Sur. Los datos fueron recolectados entre enero y septiembre del 2017 y se encontraron patrones para los diferentes tipos de VE (alquilados, particulares, empresas y servicios de taxi) según el promedio mensual de uso.

Fuente: “Study on EV Charging Peak Reduction with V2G Utilizing Idle Charging Stations: The Jeju Island Case”; Energies; 2018.

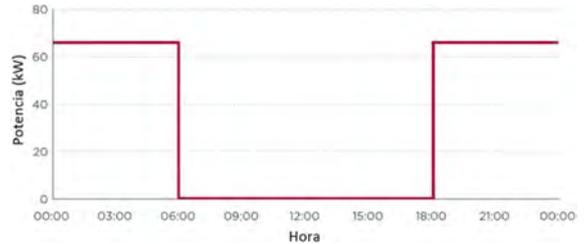
Figura No. 35 Patrones Buses Eléctricos en Ciudades de China



La Figura No. 35 presenta los resultados de los patrones de carga de buses eléctricos en diferentes localidades de China utilizando el algoritmo K-medias para explorar los diferentes comportamientos de carga.

Fuente: "Analyzing Charging Behavior of Electric City Buses in Typical Chinese Cities"; IEEE Access; 2020.

Figura No. 36 Patrón de carga de VE de última milla



La Figura No. 36 presenta como los VE de ultima milla enfrentan limitaciones para recargarse durante el día debido a la falta de disponibilidad de puntos de carga en los lugares de carga y descarga, así como a las breves pausas de los conductores. El horario de recarga de las flotas de VE de última milla es de las 6:00 a.m. y las 6:00 p.m., cubriendo el patrón de carga para una flota de 23 vehículos de última milla.

Fuente: "Electrifying last-mile delivery: A total cost of ownership comparison of battery-electric and diesel trucks in Europe"; International Council on Clean Transportation, Regulatory Assistance Project, 2022.

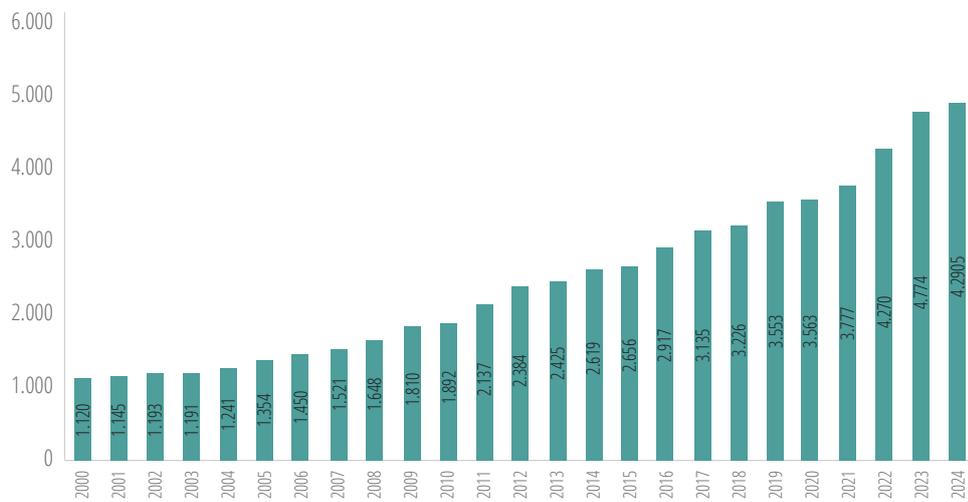


Ruta Verde Paraguay. Cortesía Fundación Parque Tecnológico de Itaipu (FPTI), 2023.

2.3 Impacto estimado de la infraestructura de recarga sobre la red de distribución

La demanda de energía eléctrica en Paraguay ha experimentado un crecimiento anual impulsado por diversos factores, entre ellos el aumento de la población, la urbanización, el desarrollo industrial, el uso de aparatos de refrigeración y por nuevas actividades como la cripto minería (Ver Figura No. 37). La electrificación del transporte mediante la incorporación de VE emerge como un nuevo elemento para tener en cuenta en el crecimiento proyectado de la demanda de electricidad a largo plazo.

Figura No. 37 Demanda Máxima Anual del SIN (MW)



Fuente: Pendiente

Es crucial, por tanto, garantizar que la infraestructura eléctrica esté debidamente preparada para hacer frente a esta demanda adicional y que las SE de electricidad puedan soportar el crecimiento previsto en los distintos escenarios de adopción de VE. Para esto, el estudio realizó un análisis de capacidades de la SE existentes y demandas previstas. En esta sección presentamos los resultados del análisis para el Escenario II de adopción de VE (Basado en el PMME para el área metropolitana)²² considerando que es el de mayor número de VE y por tanto genera una mayor demanda de energía.

El estudio analizó el impacto para el período 2024-2040 a través de simulaciones de cargas adicionales producidas por los VE según cada patrón de consumo obtenido en la sección 2.2. Las cargas propias del sistema eléctrico en cada SE se simularon considerando un crecimiento de carga de cada SE acorde al Plan Maestro de Transmisión de la ANDE²³ hasta el 2030. Para el período 2030-2040 se aplicó la proyección de crecimiento de demanda

²² Disponible en: <https://www.mades.gov.py/pmme/>

²³ ANDE, "Plan Maestro de Transmisión, Período: 2021-2030", 2021.

promedio anual del 4,4% establecida en el Plan Maestro de Generación²⁴ y se asumió que la potencia instalada proyectada de cada SE para el año 2030 se mantendrá constante hasta el año 2040.

Los resultados de las simulaciones se presentan en gráficos de demanda diaria que ofrecen una visión sobre cómo la transición al transporte eléctrico influiría en la demanda de energía en distintos momentos del día y puntos del sistema eléctrico. Los gráficos presentan las curvas de demanda de los tipos de patrones de carga analizados²⁵, la demanda total de energía de ANDE y la demanda total consolidada de electricidad de ANDE más los VE, contrastada contra la capacidad de las SE. Las Figuras No. 38 a 40 corresponden a los resultados de las simulaciones de las SE más afectadas o que requieren de intervención a futuro para atender la demanda de los VE.

Figura No. 38 Impacto de inserción de VE en la SE Mariano Roque Alonso

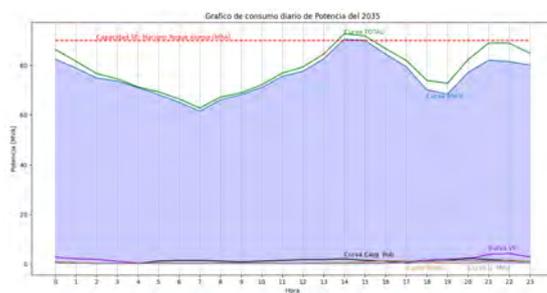


Figura No. 39 Impacto de inserción de VE en la SE de Ciudad del Este

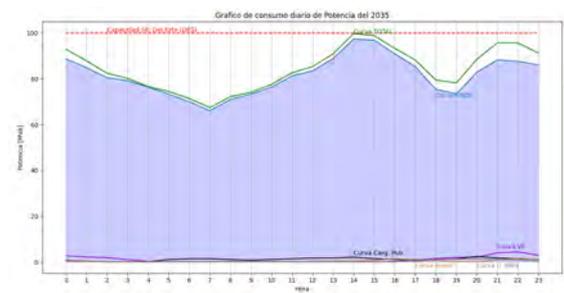


Figura No. 40 Impacto de inserción de VE en la SE Pirapó



Figura No. 41 Impacto de inserción de VE en la SE Coronel Oviedo



El incremento continuo en la adopción de VE en el Escenario II genera una demanda eléctrica adicional en momentos claves del día. Los gráficos demuestran que la mayor carga ocasionada por los VE se observa entre las 21 y 22 horas, mientras que el momento de mayor impacto en el sistema eléctrico es entre las 14 y 15 horas. Este fenómeno se debe a que la demanda eléctrica habitual del sistema eléctrico es significativamente mayor a la demanda adicional proyectada de los VE; y a que, en los últimos años la demanda pico del sistema eléctrico se ha establecido entre las 14 y 15 horas.

²⁴ Disponible en: https://www.ande.gov.py/documentos/plan_maestro/PLAN%20MAESTRO%20DE%20GENERACION%202021-2040.pdf

²⁵ Los patrones de carga analizados incluyen los de cargadores residenciales, públicos, de buses eléctricos, y de vehículos de última milla.

2.4 Estrategias de mitigación del impacto de la inserción de VE y escenarios de costos: inversiones estimadas

Con el fin de acomodar la creciente demanda de carga de VE, tomando como referencia el Escenario II y los resultados obtenidos en la sección 2.3, se propone la implementación de gestión de la demanda mediante el método de carga inteligente²⁶ para mitigación del impacto a la red eléctrica causado por la inserción de VE.

En Smart charging, permite limitar el consumo eléctrico durante los períodos de máxima demanda eléctrica o incluso para colaborar con la red en los momentos de consumo pico. Las baterías de los VE pueden ser programadas para cargarse fuera de las horas pico, aprovechando momentos de baja demanda. En casos de capacidad bidireccional las baterías de los VE se pueden descargar cuando hay picos de demanda para proveer respaldo a la red eléctrica. Se destacan dos tipos de tecnologías en Smart Charging:

- **Programación de horario de carga:** Para evitar sobre cargar la red eléctrica permite pausar la recarga o reducir la potencia de carga del vehículo. Esto se logra de dos maneras, (i) utilizando cargadores inteligentes que permiten la programación del horario de carga automática; y (ii) directamente a través de los VE que cuentan con un sistema de programación y gestión del horario de carga automática, esto permite cargar el vehículo en horarios de baja demanda de energía eléctrica sin necesidad de intervención del usuario del vehículo y reduce el impacto sobre la red en horarios de alta demanda.

Esta tecnología ha sido utilizada exitosamente en los Estados Unidos y los Países Bajos. En California, el proyecto “BMW ChargeForward” permite a los propietarios de VE de marca BMW optar para que sus vehículos sean recargados de acuerdo con la disponibilidad de energía renovable (ER) y la estabilidad de la red. En Amsterdam, el proyecto permite a los usuarios cargar sus VE de acuerdo con la disponibilidad de ER y las tarifas eléctricas más bajas. Las estaciones de recarga proporcionan un poco menos de electricidad durante las horas en que los hogares demandan mucha energía, generalmente entre las 18:00 y las 21:00 horas, y permiten recargar más durante la noche cuando el consumo es menor.

- **Vehicle-to-Grid (V2G):** permite utilizar la energía almacenada en las baterías de los VE para alimentar otros dispositivos o incluso la red eléctrica. Un ejemplo de este caso es la empresa Frederiksberg Forsyning en Dinamarca, proveedora de agua y gas. La empresa tiene una flota de 10 VE para sus operaciones diarias, como el transporte de empleados y equipos a los lugares de trabajo. Por la tarde y por la noche, cuando los coches no están en uso, se conectan a la red a través de cargadores bidireccionales y, por lo tanto, brindan servicios flexibles a la red.²⁷

26 Smart charging por su nombre en ingles

27 The North Sea Region (NSR), “A successful V2G model in a Danish utility”, disponible en línea: <https://northsearegion.eu/access/news/a-successful-v2g-model-in-a-danish-utility/>

Smart Charging para el Caso Paraguayo

Con el fin de presentar opciones para la planificación y mejora de la infraestructura eléctrica en Paraguay para minimizar el impacto de la demanda de energía para recarga de VE se evaluó el uso del Smart Charging en Paraguay a través de la Programación de Carga Horaria o del V2G. Para esto se asumió el Escenario II de demanda de VE y los siguientes supuestos:

- **Programación de horario de carga:** considera un escenario ideal, donde a través de incentivos se logra que el 100% de los usuarios carguen sus VE en horarios de poca demanda (0 h a 12 h). Los resultados se presentan en las Figuras No. 42 a 45.

Figura No. 42 Programación de horario de carga en la SE Mariano Roque Alonso

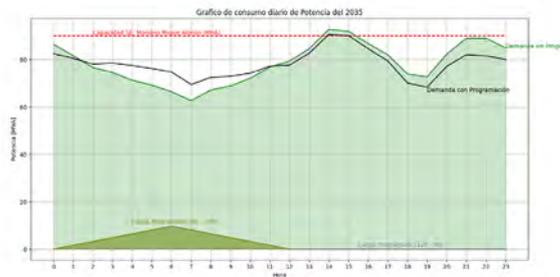


Figura No. 43 Programación de horario de carga en la SE de Ciudad del Este

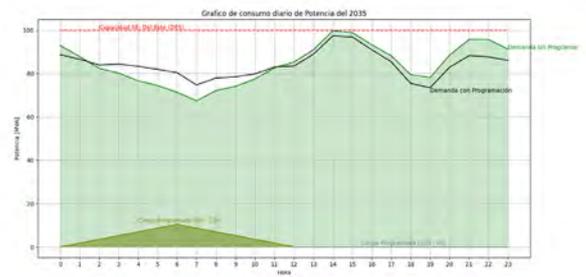


Figura No. 44 Programación de horario de carga en la SE Pirapó

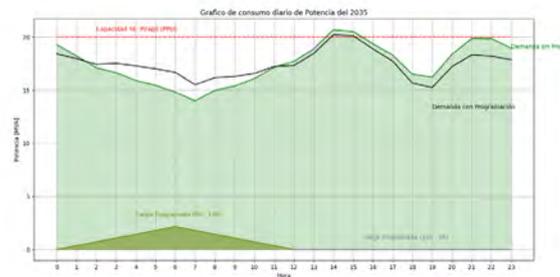
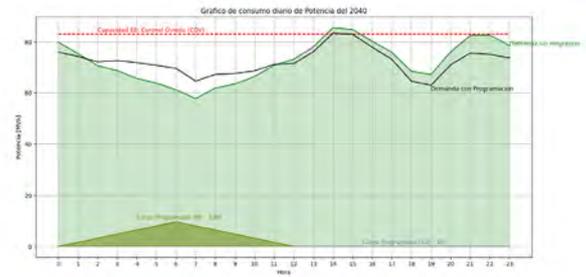


Figura No. 45 Programación de horario de carga en la SE Coronel Oviedo



Fuente: Reporte “Estudio del Impacto sobre la red de distribución en el territorio nacional”

- **V2G** : asume que, del total de la energía de carga diaria, los VE inyectan a la red el 50% en horario pico (12 h a 0 h) y se recargan en horario fuera de pico (0 h a 12 h). Los resultados se presentan en las Figuras No. 46 a 49.

Figura No. 46 V2G en la SE Mariano Roque Alonso

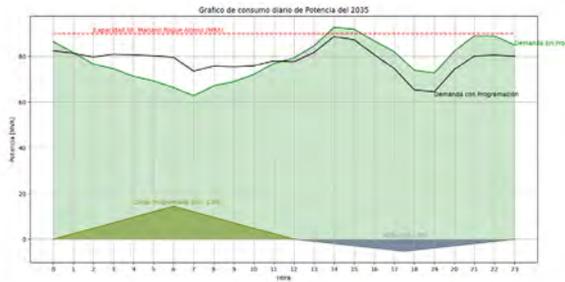


Figura No. 47 V2G en la SE del Ciudad del Este

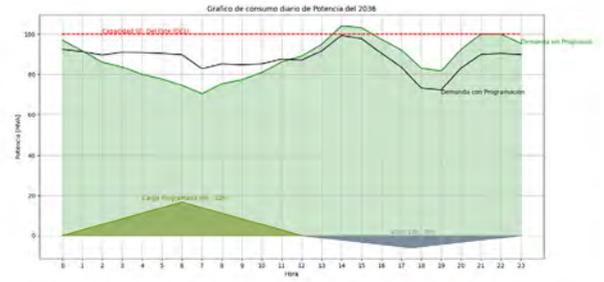


Figura No. 48 V2G en la SE Pirapó

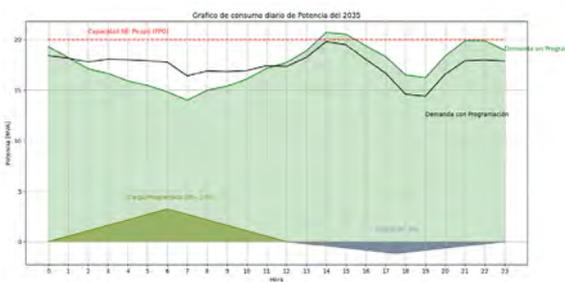
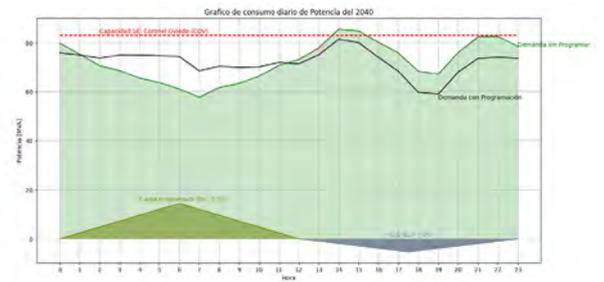


Figura No. 49 V2G en la SE Coronel Oviedo



Fuente: Reporte "Estudio del Impacto sobre la red de distribución en el territorio nacional"

Los resultados de las simulaciones sugieren que V2G es más efectivo para reducir la carga total durante las horas pico en comparación con el Smart Charging basado en horarios programados. No obstante, el V2G en Paraguay es de difícil implementación dado que la infraestructura eléctrica de ANDE no está diseñada para recibir flujo de energía bidireccional y el sistema de facturación no contempla acreditación por inyección de corriente a la red²⁸. Además, requiere de inversiones adicionales para adecuar la infraestructura de carga y el costo del medidor más alto.

La programación de horario de carga parece estar más cerca de la realidad del Paraguay, ya que incentivaría la carga de los VE en horarios de poca demanda mediante la implementación de tarifas diferenciadas. Esto requiere la instalación de medidores exclusivos para cada usuario de VE dado que los medidores de energía domésticos normalmente no tienen la capacidad de separar la tarifa que se usa para consumo doméstico y la que se usa para cargar VE.

²⁸ La adaptación de la infraestructura para un punto de carga V2G residencial en el Reino Unido cuesta alrededor de US\$7.938 sin IVA y el costo del Smart charging es US\$4.518 mayor que un Smart charging convencional. Nick Banks, "V2G Barriers and Opportunities: a capability approach", University of Oxford, 2021.

La tarifa exclusiva para VE puede reducir los costos y promover la flexibilidad que ofrecen los VE a través de precios adaptados con base en un medidor dedicado. El costo de la adquisición e instalación de nuevos medidores podría ser importante considerando la creciente demanda por VE. Por ejemplo, los clientes de la empresa California, Pacific Gas & Electric, invierten cerca de US\$2.000 por medidor exclusivo para la carga de VE²⁹. Por otro lado, otras empresas inicialmente proponen incentivos para que sus clientes opten por un segundo medidor, como Indiana-Michigan Power, que reembolsó US\$2.500 a los primeros 250 clientes residenciales que instalaron cargadores tipo 2 con medidor exclusivos³⁰.

Para el caso paraguayo, se pueden plantear tres enfoques para sufragar los costos de la adquisición e instalación de los puestos de medición de VE:

- **Puestos de medición pagado por clientes:** Los propietarios de VE por ser beneficiados por la infraestructura de carga, asumirían los costos asociados con la instalación de medidores exclusivos. Esto permitiría un mayor control y conocimiento de su consumo de energía específicamente para la carga de los VE.
- **Puestos de medición pagado por la ANDE:** La carga de VE puede generar desafíos para la infraestructura eléctrica debido a la carga adicional en momentos específicos del día. La implementación de medidores exclusivos para VE beneficiaría a la ANDE al permitir un mejor monitoreo y gestión de la demanda, evitando costosas inversiones en repotenciación de SE y construcción de nuevas líneas de distribución y transmisión. Esto resultaría en costos mínimos de instalación de nuevos medidores en comparación con grandes inversiones en mejoras del sistema.
- **Puestos de medición pagado de forma compartida entre la ANDE y el cliente:** La ANDE puede asumir parte de los costos de los medidores exclusivos como una inversión estratégica para gestionar eficientemente la infraestructura de carga. Así, puede monitorear la red eléctrica y evita posibles congestiones o sobrecargas. Al mismo tiempo, se reduce la carga financiera inicial para los posibles propietarios de VE, lo que puede ser un incentivo para la adopción de esta tecnología.

29 Canary Media, "New California rule will cut costs of home EV charging", 2022, disponible en línea: <https://www.canarymedia.com/articles/ev-charging/new-california-rule-will-cut-costs-of-home-ev-charging>

30 Prepared by New West Technologies, "Costs Associated With Non-Residential Electric Vehicle Supply Equipment - Factors to consider in the implementation of electric vehicle charging stations"

3. Estrategia para el despliegue de la infraestructura

En este capítulo, se realiza un análisis exhaustivo de la infraestructura de carga necesaria y los modelos de negocio aplicables a las estaciones de carga en carreteras. Se exploran tendencias y estudios de caso a nivel internacional y regional para proporcionar una visión completa de los avances en este campo. Además, se examina la ciberseguridad en las estaciones de carga y se proponen estrategias para la estandarización e interoperabilidad de los cargadores. Finalmente, se ofrecen recomendaciones clave para la elaboración de modelos de negocio que impulsen la expansión eficaz de la infraestructura de carga en Paraguay, promoviendo la colaboración entre el sector público y privado y garantizando el cumplimiento de protocolos y regulaciones pertinentes.

3.1 Los actores en el negocio de recarga de energía para VE

El negocio de recarga de VE requiere de diferentes actores que cumplen roles fundamentales en la cadena de suministro de energía a los vehículos, la Tabla No. 8 resume los actores más importantes y el rol que cumplen.

Tabla No. 8 Actores Negocio Recarga de Energía a VE

Actores	Roles
Empresas de Distribución de Energía (DISCOMs)	Se encargan de garantizar el suministro continuo de energía para las estaciones de carga de VE y evalúan el impacto de la carga de VE en la red.
Fabricante de Equipos Originales (OEM)	Están a la vanguardia de la innovación tecnológica, centrándose en mejorar la experiencia de conducción y aspectos como la telemetría avanzada y la gestión eficiente de baterías.
Empresa de Ingeniería, Adquisición y Construcción (EPC)	El EPC es responsable de garantizar que la Infraestructura de Carga de Vehículos Eléctricos (ICVE) esté diseñado y construido según los estándares técnicos y de seguridad necesarios, incluyendo aspectos como dimensiones físicas, técnicas, eléctricas y de seguridad para permitir un funcionamiento seguro y compatible. Además, el EPC se encarga de probar y comisionar correctamente la infraestructura antes de ponerla a disposición del público.
Fabricante de Equipamiento para Suministro de VE (EVSE)	Desarrollan y proporcionan la unidad básica de la infraestructura de carga para VE.

Actores	Roles
Operador de Puntos de Carga (CPO)	El CPO es responsable de la gestión, mantenimiento y operación de las estaciones de carga. Trabajan en la conectividad, aseguran el suministro eléctrico, mantienen una plataforma administrativa y se comunican con los propietarios de los lugares donde se encuentran las estaciones. Su objetivo es garantizar una experiencia fluida para los usuarios de cargadores de VE.
Proveedor de Servicios de Movilidad Eléctrica (eMSP)	Su responsabilidad principal es ofrecer una experiencia integral para el cliente, que incluye la autorización de acceso, suscripciones, tarifas de usuario, recompensas y la recaudación de pagos. El eMSP administra la plataforma de software que permite a los usuarios encontrar y acceder a las estaciones de carga, así como el seguimiento y la presentación de informes sobre los datos de uso. En algunos casos, el eMSP trabaja en conjunto con el CPO para garantizar el funcionamiento fluido de las estaciones de carga. Su objetivo es proporcionar una experiencia confiable y conveniente para los usuarios de VE.
Plataformas de Itinerancia (Roaming Platforms)	Actúan como facilitadores de conexión y ofrecen interfaces para que los CPO y eMSP controlen y supervisen las operaciones.
Anfitrión de Bienes raíces	Es el propietario de la ubicación donde se instala la ICVE. En el caso de las ciudades, esto suele incluir paisajes urbanos, edificios públicos, estacionamientos gestionados por la ciudad, gasolineras, mercados u otras ubicaciones de acceso público. El papel del Anfitrión de Bienes Raíces es crucial en el desarrollo de la infraestructura de ICVE, ya que proporciona ubicaciones adecuadas para la instalación de estaciones de carga.

3.2 Enfoques adoptados por diferentes países y ciudades para desarrollar su red de carga

En la era moderna de la movilidad sostenible, la implementación de infraestructuras de carga para VE se ha convertido en un pilar fundamental para los gobiernos y las ciudades de todo el mundo. Esta sección presenta una visión general de las estrategias y logros notables en la implementación de infraestructuras de carga para VE en cuatro regiones distintas: Reino Unido, Barcelona, Uruguay y República Dominicana.

Cada país ha adoptado un enfoque único para superar los desafíos y maximizar las oportunidades que presenta la transición hacia la movilidad eléctrica. Estos ejemplos demuestran la diversidad de enfoques y soluciones que se están implementando en todo el mundo para facilitar la transición hacia la movilidad eléctrica y subrayan la importancia de la adaptación local y la innovación en la superación de los desafíos asociados con esta transición.

- **Reino Unido:** El gobierno cuenta con una estrategia nacional para ayudar a gobiernos locales a definir una visión y un plan de acción, roles y responsabilidades para las principales partes interesadas, gestionar las barreras actuales y futuras relacionadas con el despliegue de la carga de VE. El gobierno ha asignado £2.500 millones en subvenciones para vehículos e infraestructura, con £1.900 millones destinados a la infraestructura de carga e incentivos al consumidor. Esto incluye financiamiento para centros de carga rápida, subvenciones para vehículos enchufables y apoyo para la instalación de puntos de carga en hogares y lugares de trabajo.

La Oficina de Vehículos Cero Emisiones de Londres gestiona diversos instrumentos económicos para desarrollar la infraestructura de carga, como subvenciones para flotas y programas de puntos de recarga residenciales. Londres ha implementado con éxito más de 4.300 puntos de carga lenta en áreas residenciales hasta 2022. Para abordar las necesidades de carga rápida, se ha desarrollado un Marco de Puntos de Carga Rápida, con planes de inversión para instalar entre 150 y 570 puntos adicionales para 2025. En 2020, la ciudad ya había instalado 300 puntos de carga rápida.

- **España:** Barcelona ha desplegado su infraestructura de recarga principalmente con fondos públicos de la ciudad y de la Unión Europea, invirtiendo un total de € 7 millones en dos fases: €5 millones hasta 2021 y € 2 millones para el período 2021-2024. La equidad territorial es una prioridad, con puntos de carga lenta ubicados estratégicamente en estacionamientos de larga duración, como los lugares de trabajo, para atender a todos los barrios de la ciudad.

Barcelona de Servicios Municipales (B:SM) es la empresa municipal responsable de construir, operar y mantener los puntos de recarga públicos a través de la marca Endolla. Su objetivo es fomentar la adopción de VE con un enfoque centrado en el usuario, utilizando un modelo de negocio orientado a la sociedad que abarca catalizadores para la adopción de VE, innovación en la colaboración público-privada, energías renovables y gestión energética inteligente, y comunicación. B:SM actúa como CPO y colabora con socios privados para el mantenimiento y suministro de energía. La aplicación móvil SMOU permite a los usuarios localizar puntos de recarga, mientras que las alianzas con otros CPO facilitan la interoperabilidad de la infraestructura de carga, permitiendo a los usuarios cargar en todos los puntos disponibles en la ciudad.

Actualmente, la oferta de infraestructura de carga supera la demanda, con un ratio de utilización del 20% de los 711 puntos de recarga gestionados por Endolla. El 75% de estos puntos están en aparcamientos y el 25% restante en la calle. Barcelona se ha especializado en B:SM como Operador de Puntos de Recarga y coopera estrechamente con el sector privado para promover la interoperabilidad y la equidad territorial.

- **Uruguay:** Uruguay se unió a la Alianza para la Descarbonización del Transporte en 2021, consolidando su compromiso con la descarbonización a nivel nacional, respaldado por la transformación de su matriz eléctrica, que ahora proviene en un 97% de fuentes renovables. Uno de los primeros proyectos fue Movés, que reemplazó 32 ómnibus eléctricos, evitando 3.888 toneladas de CO₂ y promoviendo la movilidad eléctrica con convenios y regulaciones.

Para 2022, Uruguay había mantenido un progreso constante en movilidad eléctrica, con 147 estaciones de carga en el país. Se anunció la meta de duplicarlas a 300, con un enfoque en tener un centro de carga cada 50 km en las rutas nacionales. De estos, 40 son de carga rápida, permitiendo una autonomía de 150 km en aproximadamente 30 minutos.

UTE ha liderado el despliegue de la red de carga, estableciendo acuerdos con ANCAP para instalar más puntos en estaciones de servicio. El acceso público al servicio se proporciona a través del Sistema de Alimentación de VE (SAVE) de UTE, con tarjetas de carga y cobro según tarifas vigentes. La aplicación UTE Mueve facilita a los usuarios encontrar puntos de carga cercanos, ver disponibilidad y acceder a registros históricos de cargas.

- **República Dominicana:** El crecimiento de la movilidad eléctrica en la República Dominicana ha sido impulsado principalmente por la introducción de motocicletas eléctricas, representando el 60% del total del parque vehicular eléctrico. Sin embargo, aunque se observa un aumento en la importación de VE, la infraestructura de carga aún es insuficiente para satisfacer la demanda. La georreferenciación de esta infraestructura revela una dispersión que dificulta el acceso oportuno a la carga.

Para abordar esta situación, la empresa CEPM lidera la iniciativa piloto E-Mobility en Punta Cana, con una inversión de US\$3 millones en infraestructura de carga. La meta era instalar 500 cargadores de alta velocidad para finales de 2020, mediante alianzas con centros comerciales, supermercados y otros establecimientos, lo cual no se ha cumplido.

En el ámbito legal, se han realizado modificaciones importantes en el marco relacionado con la electricidad, incluyendo la emisión de un nuevo reglamento de tarifas para la recarga de VE. Este reglamento establece tarifas especiales y opciones para los usuarios, dependiendo de si desean mantener su tarifa actual o suscribir un nuevo contrato específico para VE.

La República Dominicana reconoce la necesidad de desarrollar la infraestructura de carga a través de diversos modelos, incluyendo empresas públicas, asociaciones público-privadas y esquemas privados. Aunque hay avances en la inversión privada, como el caso de Evergo, que ha instalado más de 150 cargadores en todo el país con un objetivo de llegar a 500, aún se plantea la necesidad de una tarifa que permita la recuperación de las inversiones en infraestructura de carga.

3.3 Tecnologías disponibles, opciones de homologación, interoperabilidad, ciberseguridad y habilitación para uso público

La implementación exitosa de la infraestructura de carga requiere establecer las características clave que debe cumplir para su que la experiencia de recarga sea fácil, confiable y segura para los usuarios de VE. Además, la definición de estas características proporciona un marco claro para los inversionistas privados sobre los requerimientos tecnológicos y financieros para poder participar en el mercado paraguayo. ANDE también se verá beneficiada de estas definiciones al poder conocer las necesidades para ajustar la infraestructura eléctrica y gestionar efectivamente la red.

Esta sección presenta una propuesta de las características técnicas a requerir para estaciones de carga rápida en Paraguay. El objetivo principal es contar a futuro con una red de puntos de carga rápida que sea que sea confiable, segura y completamente interoperable en todo el territorio nacional.

- **Ubicación:** Las estaciones de carga deben estar cerca de la carretera, a no más de 80 kilómetros entre cada una y a menos de 5 kilómetros de la frontera en rutas que conectan con países vecinos. Es necesario realizar una “Consulta previa para cargas superiores a 30 kW” ante la ANDE. Si la consulta recibe aprobación, se debe solicitar una segunda acometida eléctrica a la misma entidad, destinada exclusivamente para la estación de carga de VE. También se deben obtener los permisos municipales necesarios.

Es esencial evitar ubicar estaciones de carga en áreas propensas a inundaciones. Si no es posible evitar estas zonas, se debe asegurar que los equipos estén instalados a alturas seguras, según los estudios hidrológicos regionales, para garantizar su funcionamiento seguro.

Se necesitará espacio suficiente para cargar al menos 3 VE simultáneamente a corto plazo. Dado que la infraestructura también atenderá a camiones ligeros, se deben considerar espacios amplios para permitir que estos vehículos maniobren para entrar y salir de la estación.

- **Puntos de Carga y Potencia:** En el Corto Plazo (2023-2025), la estación de carga debe tener al menos 300 kW de potencia reservada, con un mínimo de 2 puntos de carga rápida de 75 kW cada uno. Además, por cada par de puntos de carga rápida, debe haber 1 punto de carga lenta de al menos 11 kW.

En el Mediano Plazo (2025-2030), la estación debe tener al menos 600 kW de potencia reservada, manteniendo 2 puntos de carga rápida de 75 kW y agregando 2 puntos de carga rápida adicionales de 150 kW cada uno para camiones eléctricos. Se mantiene la relación de 1 punto de carga lenta de al menos 11 kW por cada 2 puntos de carga rápida.

La planificación a corto y mediano plazo asegurará que la estación de carga evolucione para satisfacer las necesidades de carga de una amplia variedad de VE, incluyendo camiones, al tiempo que garantiza opciones de carga rápida y lenta para los usuarios.

- **Tipo de conector:** Los puntos de carga rápida deberán tener al menos un conector CCS2 (Combo 2), utilizado en Europa, y el segundo conector puede ser elegido por los propietarios/operadores de las estaciones. Para los equipos de carga lenta en CA, deberá haber al menos un conector Tipo 2 o Mennekes, y opcionalmente un segundo cargador con otro tipo de conector elegido por el propietario de la estación. Es importante destacar que el uso de adaptadores en cargadores rápidos puede causar problemas de carga, ya que la comunicación entre el vehículo eléctrico y el cargador a menudo no se logra.
- **Interoperabilidad:** La interoperabilidad es crucial para la adopción masiva de VE y su infraestructura de carga, similar a cómo HTML y USB facilitaron la interoperabilidad en la World Wide Web y el almacenamiento de datos. Los estándares técnicos de los conectores son fundamentales para la interoperabilidad, y su estandarización puede seguir un enfoque de arriba hacia abajo o de abajo hacia arriba. Otro factor clave es la disponibilidad de información para los propietarios de VE sobre los tipos de cargadores y métodos de pago. Tres mecanismos comunes para el despliegue de infraestructura eléctrica incluyen el acuerdo entre pares, las plataformas y la regulación. Para lograr la interoperabilidad, se necesitan acciones fundamentales para definir las reglas y condiciones de la recarga de VE.

La Figura No. 50 muestra los protocolos de comunicación entre diferentes participantes en las estaciones de carga para VE, facilitando la carga para los usuarios finales, independientemente del proveedor de servicios de carga eléctrica seleccionado. También incluye los protocolos de comunicación entre la empresa de suministro eléctrico y el sistema de gestión de energía de la estación de carga.

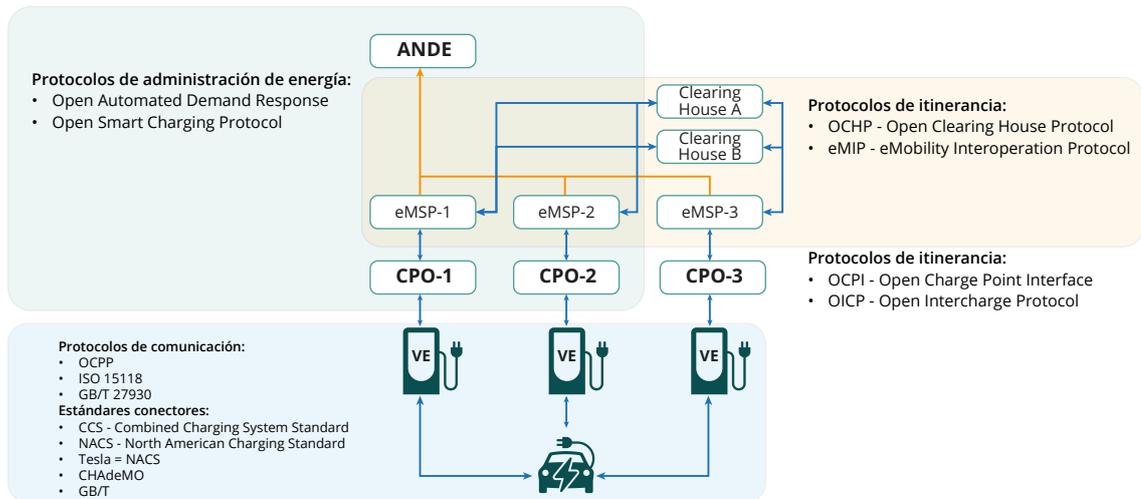
- **Ciberseguridad:** La ciberseguridad en las estaciones de carga es crucial y ha surgido con la madurez de la tecnología. Países como Estados Unidos, Suecia, Italia y Alemania han desarrollado normas y leyes basadas en su experiencia, pero no existen condiciones para homologar estas normas a nivel mundial debido a las condiciones particulares de cada país o región.

La normatividad nace de la necesidad de seguridad en la interoperabilidad de las conexiones o flujos de energía entre los distintos componentes eléctricos que interactúan en el flujo de alimentación energética. Los riesgos en esta interoperabilidad son variados y pueden tener distintas fuentes, componentes, dinámicas de intercambio de información y conexiones físicas entre los componentes.

Para mitigar estos riesgos, se han desarrollado normas o lineamientos que protegen la funcionalidad de los componentes y la información dentro del sistema. Algunas de estas normas incluyen la ISO 15118-1, ISO 15118-2 PKI, ISO 15118-20, ISO 17409, ISO 27001, ISO 27002, Cybersecurity Framework Profile 4 for Electric Vehicle Extreme Fast Charging Infrastructure, IEC 61850, y IEC 62443.

Además, el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de los Estados Unidos ha desarrollado un Marco de Ciberseguridad para ayudar a las empresas u organizaciones interesadas en la creación de estaciones de carga eléctrica a evaluar los riesgos asociados a sus sistemas, redes y activos.

Figura No. 50 Protocolos utilizados con los diferentes actores en las estaciones de carga



Fuente: Reporte “Mecanismos Y Modelos De Negocio Para La Infraestructura De Carga Futura”

A continuación, se muestra una breve descripción de cada uno de estos protocolos y estándares:

- Open Charge Point Protocol (OCPP): Permite la comunicación entre la estación de carga y la red de gestión, garantizando el control y monitoreo remoto de las estaciones.
- ISO 15118: Establece un protocolo de comunicación entre VE y estaciones de carga, facilitando la autenticación segura y una carga eficiente.
- GB/T 27930: Define una interfaz de carga para VE y establece procedimientos estandarizados para la interacción entre el vehículo y la infraestructura de carga.
- Open Charge Point Interface (OCPI): Facilita la comunicación e interoperabilidad entre diferentes redes de carga de VE, mejorando la experiencia del usuario.
- Open Intercharge Protocol (OICP): Promueve la interoperabilidad entre proveedores de servicios de carga y permite la comunicación entre diferentes sistemas de gestión de carga.
- Open Clearing House Protocol (OCHP): Utilizado para la autenticación y facturación de usuarios de VE en una red de carga, facilitando la gestión de transacciones.
- eMobility Interoperation Protocol (eMIP): Diseñado para la interoperabilidad global de carga de VE, permitiendo la comunicación entre diferentes sistemas de carga.
- Open Automated Demand Response (OpenADR): Utilizado para la gestión de la demanda de energía eléctrica en respuesta a señales de red, incluyendo la carga de VE.
- Open Smart Charging Protocol: Optimiza la carga de VE en función de la disponibilidad de ER y otros factores, facilitando una carga más eficiente y sostenible.

3.4 Recomendaciones en la estructuración de modelos de negocios para infraestructura de carga: institucionalidad, visión, roles del sector público y privado, y modelo Charging as a Service

El crecimiento rápido y sostenido de la electromovilidad requiere de una eficiente coordinación entre los sectores público y privado, una gestión adecuada del espacio público y el establecer procesos administrativos nuevos y eficientes.

El despliegue inicial de la infraestructura de carga para VE tiene elevados costos de transacción y compete con otras prioridades de las entidades nacionales o locales, dados los límites que existen al financiamiento público. Por tanto, el desarrollo de la electromovilidad requiere de un trabajo conjunto entre el sector público y privado. El análisis realizado de casos de estudio permitió identificar elementos en casos de éxito que benefician la rápida adopción de VE, tales como:

- i. **El desarrollo institucional.** Para facilitar el despliegue de una red de carga de vehículos eléctricos en Paraguay, es esencial realizar una evaluación de las necesidades, desarrollar un plan estratégico, establecer una entidad de gobierno para supervisar la implementación, forjar asociaciones con empresas de servicios públicos y otras partes interesadas, y generar un modelo de negocio que involucre tanto al sector público como al privado.
- ii. **El desarrollo de una visión de negocio** para la adopción de los VE en Paraguay es fundamental para el desarrollo de la infraestructura de carga pública. Esto permite crear una hoja de ruta coherente para el desarrollo de la infraestructura de carga y de la red eléctrica asociada, con objetivos claros en términos de adopción de VE en un tiempo determinado. Esto, acompañado de la actualización de regulaciones energéticas para permitir la venta de electricidad en servicios de carga ha demostrado ser un elemento clave para fomentar las inversiones en infraestructura de carga y mejorar el acceso a servicios de carga para los propietarios de VE.
- iii. **La colaboración público—privada** puede ayudar a las ciudades a implementar rápidamente la infraestructura de carga al proporcionar experiencia, recursos y financiamiento. Ciudades como Barcelona, Oslo y Los Ángeles han aprovechado con éxito las asociaciones con actores del sector privado para acelerar la implementación de la infraestructura de carga para VE y fomentar la adopción de VE. Barcelona, se asoció en 2011 con ENDESA empresa de energía que gestionó e instaló la infraestructura de 40 estaciones de carga, mientras la ciudad otorgó los permisos y el acceso al espacio público³¹. Oslo se asoció con Fortum, una empresa de energía que proporciona infraestructura de carga y servicios relacionados, que ha instalado más de 1.200 puntos

31 Endesa y Cepsa inauguran en Barcelona un punto para la recarga rápida de VE con tecnología CHAdeMO”, esmartcity todo sobre ciudades inteligentes, 2011, disponible en internet: <https://www.esmartcity.es/2011/04/15/endesa-y-cepsa-inauguran-en-barcelona-un-punto-para>

de carga público³². La Ciudad de Los Ángeles se ha asociado con varios actores del sector privado para desplegar una red de más de 1.000 estaciones de carga en toda la ciudad. Esto incluye una asociación con EVgo, un proveedor de estaciones de carga, para instalar 100 estaciones de carga rápida en las comunidades desfavorecidas de la ciudad³³.

- iv. **El “Charging as a Service” (CaaS)** es un modelo de negocio en el ámbito de la movilidad eléctrica que ofrece una solución integral para cargar VE de manera conveniente y eficiente. Proporciona acceso a una red de estaciones de carga en ubicaciones estratégicas, simplifica el pago y la facturación, y ofrece servicios adicionales como reserva de espacios de carga y gestión de flotas. La interoperabilidad es clave, permitiendo a los usuarios utilizar una sola cuenta para acceder a múltiples redes de carga. El objetivo del CaaS es hacer que la carga de VE sea más conveniente y accesible, fomentando así su adopción y eliminando preocupaciones sobre la autonomía y la infraestructura de carga.
- v. **La diversidad de fuentes de financiamiento** los gobiernos nacionales y municipales pueden fomentar flujos de financiamiento o inversión del sector privado en la infraestructura de carga para VE mediante estrategias como asociaciones público-privadas, subvenciones y subsidios, e incentivos regulatorios.
- vi. **El conocimiento técnico** es crucial para superar las barreras en la implementación de tecnologías nuevas, incluida la infraestructura de carga para VE. Los pasos clave incluyen estudiar las ubicaciones adecuadas para las estaciones de carga, establecer planes y obtener permisos que cumplan con los requisitos legales y técnicos, conectar a los servicios públicos siguiendo procedimientos específicos, e implementar operaciones seguras y eficientes, garantizando la seguridad eléctrica y cibernética.

3.5 Análisis de modelos de negocio conceptuales: público, privado y público-privado

Los modelos de negocio desarrollados para el fomento de la electromovilidad e implementación de la infraestructura de carga dependen de la extensión de la participación de los actores público y privados en el ecosistema de negocios de las estaciones de carga. Por tanto, como se ve en la Tabla No. 10, los modelos pueden ir desde lo netamente público a lo netamente privado, con configuraciones público-privadas de diferentes estilos.

32 Fortum, “An innovate charging facility for electric vehicles in Oslo, Norway”, 2017, disponible en línea: <https://www.fortum.com/media/2017/11/innovative-charging-facility-electric-vehicles-oslo-norway>

33 Briasco, Scott, Andrew Pang. 2022. Workplace Electric Vehicle Charging at The Los Angeles Department of Water and Power. California Energy Commission. Publication Number: CEC-600-2022-002

Tabla No. 10 Alcance de responsabilidades de los Actores Involucrados en las estaciones de carga

Actores	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Ubicación	■	■	■	■	■	■
DISCOMs	■	■	■	■	■	■
EPC	■	■	■	■	■	■
EVSE	■	■	■	■	■	■
CPO	■	■	■	■	■	■
eMSP	■	■	■	■	■	■

■ Gobierno / Paraestatal ■ Privado

Fuente: Reporte “Mecanismos Y Modelos De Negocio Para La Infraestructura De Carga Futura”

- Modelo Público (M1):** En estos modelos, una entidad estatal, ya sea del gobierno central o local, se encarga de atender todos los segmentos de la cadena del servicio de carga de VE. En Paraguay, este modelo podría desarrollarse a través de la ANDE, o a través de una asociación entre ANDE y los municipios. El reto de este modelo, además de requerir financiamiento 100% público, es la necesidad de establecer unidades especializadas para la gestión de las estaciones. Estas unidades deberán garantizar el adecuado mantenimiento de las estaciones, administrar la recaudación de fondos a través de diversos métodos de pago y establecer centros de atención para cubrir las necesidades de los usuarios de VE. Estas actividades representan un nuevo desafío para las entidades estatales debido a la novedad del negocio de los vehículos eléctricos. Por lo tanto, es crucial que estas entidades estatales adquieran el conocimiento y la experiencia necesarios para manejar eficazmente estos desafíos y garantizar el éxito de la implementación de la infraestructura de carga de VE.
- Modelo Privado (M6):** El enfoque empresarial hacia la infraestructura de carga para VE ha surgido en países donde las regulaciones permiten la participación de diversos actores. Empresas como Shell o BP, anteriormente centradas en estaciones de servicio de combustibles fósiles, están incursionando en la instalación de puntos de carga o estableciendo instalaciones especializadas para VE. En este tipo de modelos, más de una empresa privada, dependiendo de su especialidad, se vincula a las actividades para prestar el servicio de recarga.

En países como Paraguay, donde la legislación no permite la participación del sector privado en la generación de energía, el suministro de energía para estas estaciones seguirá siendo responsabilidad de entidades públicas como la ANDE. El principal desafío para estos modelos de negocio privados radica en la necesidad de una regulación clara por parte del gobierno, que establezca derechos, responsabilidades y tarifas eléctricas. La falta de directrices puede generar incertidumbre y obstaculizar las inversiones privadas en infraestructura de carga.

Por ejemplo, la interoperabilidad se convierte en un tema crítico en ausencia de regulaciones que estandaricen esta área. Dado que distintos eMSP privados pueden optar por diferentes protocolos de comunicación, los usuarios podrían verse obligados a utilizar diversos métodos de pago o aplicaciones para recargar sus VE.

Por lo tanto, en Paraguay es crucial abordar estos desafíos y proporcionar un marco regulatorio que promueva la inversión privada en este mercado emergente.

- **Modelos Público - Privados (M2-M5)**

Los modelos de negocio para la infraestructura de carga de VE presentan diversas combinaciones, dependiendo de la flexibilidad y el nivel de responsabilidad que deseen asumir las instituciones públicas y privadas.

En el caso paraguayo, las empresas privadas pueden aportar su experiencia en la instalación, operación y mantenimiento de estaciones de carga. Esto podría incluir la selección de ubicaciones estratégicas para las estaciones, la instalación de equipos de carga y el mantenimiento regular de las estaciones para garantizar su funcionamiento óptimo.

ANDE tendría que asumir el suministro de energía para las estaciones de carga, por temas regulatorios. Los municipios, por otro lado, podrían obtener beneficios económicos mediante la recaudación de ganancias o alquiler de espacio para las estaciones de carga. Esto podría generar ingresos adicionales para los municipios y también fomentar la adopción de VE al proporcionar infraestructura de carga accesible.

Para el caso de Paraguay, se ha analizado este modelo para el establecimiento de la red de estaciones de carga rápida en el país. Independientemente del modelo de negocio a ser adoptado (Ver Tabla No. 11), incluso con la posibilidad de que coexistan más de un modelo de forma simultánea, se sugiere que todas las infraestructuras de carga rápida pública del país estén integradas en una “Red Nacional de Carga Rápida”.

Tabla No. 11 Modelos de negocio factibles para estaciones de carga rápida en Paraguay

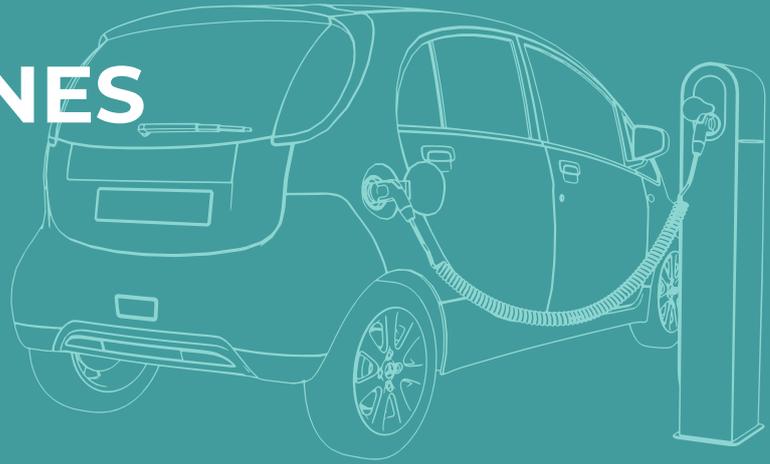
Actores	M1	M2	M3
Ubicación	Privado / ANDE / Municipio	Privado A	Privado A
DISCOMs	ANDE	ANDE	ANDE
EPC	Privado / ANDE	Empresa Público Privada (Privado / ANDE)	Privado B
EVSE	Privado / ANDE		Privado B
CPO	Privado / ANDE		Privado B
eMSP	Privado / ANDE		Privado B
	Red Nacional de Carga Rápida		

Fuente: Reporte “Mecanismos Y Modelos De Negocio Para La Infraestructura De Carga Futura”

Esta red debería contar con informaciones oficiales, validadas y en tiempo real referentes a la ubicación de cargadores, estado operativo de los mismos y datos del sistema eléctrico a fin de aportar informaciones verificadas a los usuarios y datos al operador del sistema eléctrico, así como al observatorio de movilidad eléctrica para fines de planificación y verificación de la evolución de los sistemas de carga a nivel nacional. Esta integración permitiría una gestión más eficiente de la infraestructura de carga y proporcionaría a los usuarios información confiable y actualizada sobre las estaciones de carga disponibles.



CONCLUSIONES



Paraguay se encuentra en una etapa temprana de desarrollo de la movilidad eléctrica. A pesar de esto, el creciente interés en los vehículos eléctricos (VE) y el apoyo gubernamental sugieren que el país tiene un gran potencial para incrementar la adopción de VE y mejorar su infraestructura de carga en los años venideros.

La infraestructura de carga para VE en Paraguay es variada, con diferentes tipos de cargadores y estándares de conectores disponibles. Sin embargo, la falta de uniformidad en los estándares utilizados y la inconsistencia en la información proporcionada por las aplicaciones de localización de puntos de carga son desafíos que deben ser abordados a corto plazo para garantizar la expansión de los VE. Esto se puede lograr con la expedición de una normativa que estandarice los cargadores y sus conectores, dicha normativa podría considerar los requerimientos regionales para poder establecer corredores regionales eléctricos.

Es crucial un seguimiento detallado de las tendencias de crecimiento de los VE, su impacto en la red y la implementación de estrategias efectivas de gestión de la demanda. Este estudio propone la implementación de la gestión de la demanda mediante la carga inteligente para mitigar el impacto en la red eléctrica causado por la inserción de VE. No obstante, su implementación requiere la creación de una regulación que establezca tarifas diferenciales por horas, el despliegue de medidores que diferencien el uso de energía para la carga de VE y la definición de quién asumirá el costo de esta infraestructura.

El establecimiento de un marco normativo y regulatorio para la electromovilidad en Paraguay es esencial para el avance de la movilidad eléctrica. Este marco debe incluir y/o considerar la coordinación interinstitucional, normativas técnicas, compromisos políticos y la implementación de incentivos. Especialmente, debe permitir la venta de energía por parte de las eMSP en las estaciones de carga.

El crecimiento de la electromovilidad requiere una coordinación eficiente entre los sectores público y privado, una adecuada gestión del espacio público y la implementación de nuevos y eficientes procesos administrativos. El despliegue inicial de la infraestructura de carga para VE tiene altos costos de transacción y compite con otras prioridades de las entidades nacionales o locales, por lo que el desarrollo de la electromovilidad requiere de un esfuerzo conjunto entre el sector público y privado.

Los modelos de negocio para la infraestructura de carga de VE presentan diversas combinaciones, dependiendo de la flexibilidad y el nivel de responsabilidad que deseen asumir las instituciones públicas y privadas. En Paraguay, se ha analizado este modelo para el establecimiento de la red de estaciones de carga rápida en el país. Se sugiere que todas las infraestructuras de carga rápida pública del país estén integradas en una “Red Nacional de Carga Rápida”. Esta red debería contar con información oficial, validada y en tiempo real sobre la ubicación de los cargadores, su estado operativo y los datos del sistema eléctrico. Esta integración permitiría una gestión más eficiente de la infraestructura de carga y proporcionaría a los usuarios información confiable y actualizada sobre las estaciones de carga disponibles.

Este estudio, con base en el análisis multicriterio y en el estado actual de la movilidad eléctrica en Paraguay, propone una estrategia de despliegue siguiendo una ruta prioritaria de ciudades para la implementación de la “Sistema Nacional de Carga Rápida” para VE a cargo de ANDE. Esta estrategia considera la Ley 6925 de “De Incentivos y Promoción del Transporte Eléctrico en el Paraguay”, la infraestructura de carga existente, y el radio de cobertura de las estaciones de recarga. Los resultados obtenidos muestran que se debe priorizar la implementación de una “Red nacional de estaciones de carga para VE” en la Región Oriental, permitiendo la transitabilidad por todo el territorio. En la Región Occidental, se debe dar mayor prioridad a la zona del bajo Chaco, la más próxima a la región Oriental y al Departamento Central, por la mayor concentración de población.



Anexo I – Encuesta a Usuarios de Vehículos Eléctricos

A continuación, se detallan las preguntas realizadas en la encuesta a los usuarios encuestados.

- a) **Departamento de residencia:**
- b) **Ciudad:**
- c) **Barrio:**
- d) **Seleccione el tipo de vehículo eléctrico**
 - Vehículo 100% Eléctrico (BEV)
 - Vehículo Híbrido Enchufable (PHEV)
 - Vehículo Híbrido No Enchufable (HEV)
- e) **Preguntas para HEV:**
 - **Clase de vehículo**
 - Vehículo liviano/familiar (Compacto, Sedán, SUV, PickUp, etc)
 - Vehículo de Carga/Logística (VAN, Camiones y similares)
 - Otras:
 - **Marca del Vehículo**
 - **Modelo del Vehículo**
 - **Año de Fabricación del Vehículo**
 - 2020 – 2021 – 2022 – 2023 – Otro:
 - **Año de Adquisición del Vehículo**
 - 2020 – 2021 – 2022 – 2023 – Otro:
 - **Estado del Vehículo cuando se adquirió**
 - Nuevo - Usado
 - **Kilometraje actual del vehículo**
 - **Nivel de satisfacción utilizando un Vehículo Híbrido (HEV)**
 - Alto – Medio – Bajo
 - **¿Consideraría usted cambiar su vehículo por un Vehículo Híbrido Enchufable (PHEV) o Eléctrico Puro (BEV)?**
 - Sí - No
- f) **Preguntas para BEV y PHEV:**
 - **Clase de vehículo**
 - Motocicleta o Motocarga
 - Microcoche (Ultra compacto)
 - Vehículo liviano/familiar
 - Vehículo de transporte colectivo (Bus)
 - Vehículo de carga/logística (Camiones de carga, logística, VAN, etc)
 - Otras
 - **Marca del Vehículo (Motocicleta o Motocarga)**
 - SUPERSOCO – HORWIN – KENTON – YADEA - Otras
 - **Año de Fabricación del Vehículo (Motocicleta o Motocarga)**
 - 2016 – 2017 – 2018 – 2019 – 2020 – 2021 – 2022 – 2023- Otras

- **Año de Adquisición del Vehículo (Motocicleta o Motocarga)**
2016 – 2017 – 2018 – 2019 – 2020 – 2021 – 2022 – 2023- Otras
- **Estado del Vehículo cuando se adquirió (Motocicleta o Motocarga)**
Nuevo - Usado
- **Kilometraje actual del vehículo (Motocicleta o Motocarga)**
- **¿Qué tipo de cargador utiliza? (Motocicleta o Motocarga)**
Cargador con toma tipo Schuko/Residencial – Otras
- **¿Normalmente cuántos kilómetros circula antes de recargar el vehículo? (Motocicleta o Motocarga)**
40 – 60 – 80 – 100 - Otras
- **¿Con qué porcentaje de batería usualmente inicia la recarga el vehículo? (Motocicleta o Motocarga)**
10% - 20% - 30% - 40% - 50% - 60% - Otras
- **¿Hasta qué porcentaje de batería usualmente carga el vehículo? (Motocicleta o Motocarga)**
50% - 60% - 80% - 100% - Otras
- **¿Con qué frecuencia carga el vehículo? (Motocicleta o Motocarga)**
1 vez a la semana - 2 veces a la semana – Diariamente - Otras
- **¿Cuántas veces carga en el día? (Motocicleta o Motocarga)**
1 vez - 2 veces - Otras
- **¿A qué hora normalmente recarga su vehículo? (Motocicleta o Motocarga)**
- **Marca del Vehículo (4 ruedas)**
- **Modelo del Vehículo (4 ruedas)**
- **Año de Fabricación del Vehículo (4 ruedas)**
2016 – 2017 – 2018 – 2019 – 2020 – 2021 – 2022 – 2023- Otras
- **Estado del Vehículo cuando se adquirió (4 ruedas)**
Nuevo - Usado
- **Kilometraje del vehículo en el momento de la adquisición (4 ruedas)**
- **Kilometraje actual del vehículo (4 ruedas)**
- **¿Qué tipos de conectores utiliza? (4 ruedas)**
- **Principal uso del vehículo (4 ruedas)**
- **Kilometraje promedio recorrido por día (4 ruedas)**
- **¿Suele realizar viajes interurbanos de hasta 50km con el vehículo? (4 ruedas)**
Sí - No
- **¿Desearía poder realizar viajes interurbanos de hasta 50km con el vehículo? (4 ruedas)**
Sí - No
- **Ciudad de Destino (4 ruedas)**
- **¿Con qué frecuencia realiza/realizaría viajes interurbanos de hasta 50km? (4 ruedas)**
- **¿Suele realizar viajes interurbanos mayores a 50km con el vehículo? (4 ruedas)**
Sí - No

- **¿Desearía poder realizar viajes interurbanos mayores a 50km con el vehículo? (4 ruedas)**
Sí - No
- **Ciudad de Partida (4 ruedas)**
- **Ciudad de Destino (4 ruedas)**
- **¿Con qué frecuencia realiza/realizaría viajes interurbanos mayores a 50km? (4 ruedas)**
Diariamente - 1 vez a la semana - 1 vez al mes - 1 vez al año - Otras
- **¿Normalmente cuántos kilómetros circula antes de recargar el vehículo? (4 ruedas)**
- **¿Con qué porcentaje de batería usualmente recarga el vehículo? (4 ruedas)**
10% - 20% - 30% - 40% - 50% - 60% - Otras
- **¿Hasta qué porcentaje de batería usualmente recarga el vehículo? (4 ruedas)**
50% - 60% - 80% - 100% - Otras
- **¿Carga el vehículo en su Domicilio? (4 ruedas)**
Sí - No
- **¿Qué tipo de cargador utiliza en su Domicilio? (4 ruedas)**

Cargador lento (CA 3kW):	10
Cargador lento (CA 7kW):	17
Cargador semi rápido (CA 11kW):	3
Cargador semi rápido (CA 22kW):	1
Otras:	1
- **¿Con qué frecuencia carga el vehículo? (4 ruedas)**
Diariamente - 1 vez a la semana - 1 vez al mes - 1 vez al año - Otras
- **¿Cuántas veces carga en el día? (4 ruedas)**
Sí - No
- **¿A qué hora normalmente recarga su vehículo? (4 ruedas)**
- **¿En qué horarios normalmente recarga su vehículo? (4 ruedas)**
- **¿Carga el vehículo en el Trabajo / Empresa? (4 ruedas)**
Sí - No
- **Ciudad donde se ubica la Empresa (4 ruedas)**
- **Barrio donde se ubica la Empresa (4 ruedas)**
- **¿Qué tipo de cargador utiliza en su Trabajo/Empresa? (4 ruedas)**

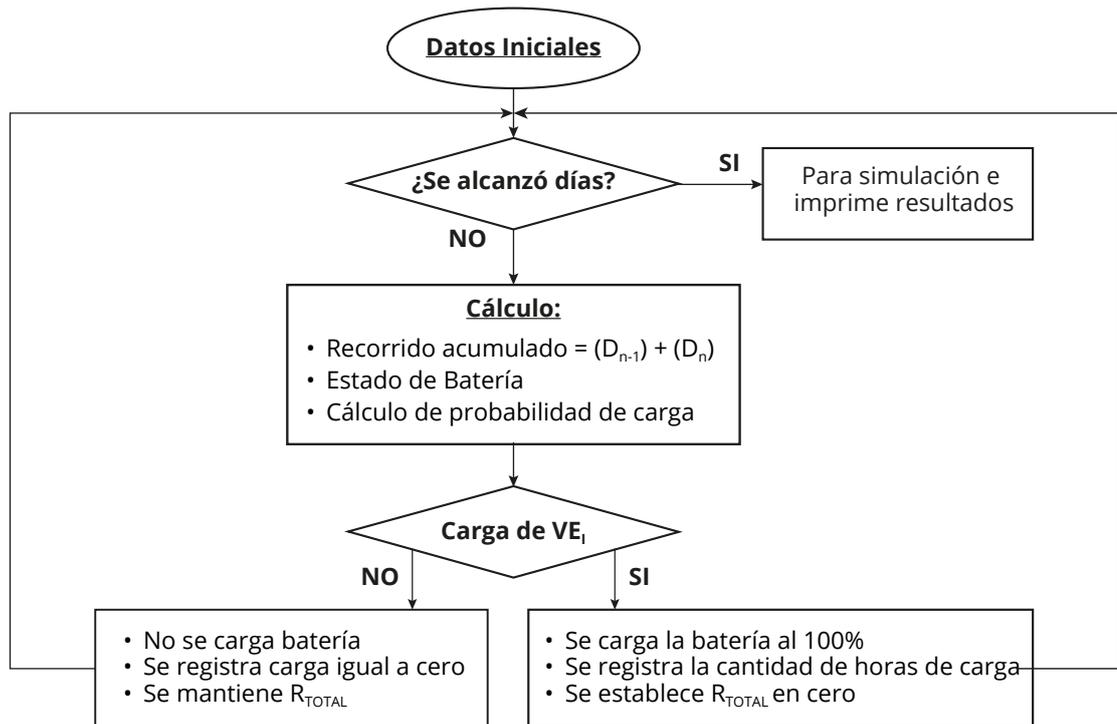
Cargador lento (CA 3kW):	0
Cargador lento (CA 7kW):	2
Cargador semi rápido (CA 11kW):	1
Cargador semi rápido (CA 22kW):	2
Cargador rápido (CC 50kW):	0
Cargador rápido (CC 100kW):	1
Otras:	0
- **¿Con qué frecuencia carga el vehículo en su Trabajo/Empresa? (4 ruedas)**
Diariamente - 1 vez a la semana - 1 vez al mes - 1 vez al año - Otras
- **¿Cuántas veces carga en el día en su Trabajo/Empresa? (4 ruedas)**
1 vez - 2 veces - Otras

- **¿A qué hora normalmente recarga su vehículo en su Trabajo/Empresa? (4 ruedas)**
- **¿En qué horarios normalmente recarga su vehículo en su Trabajo/Empresa? (4 ruedas)¿Usualmente utiliza Estaciones de CARGA RÁPIDA Públicas?**
Si - No
- **¿En qué Estación de CARGA RÁPIDA usualmente recarga su vehículo?**
- **¿Con qué frecuencia utiliza estaciones de CARGA RÁPIDA?**
Diariamente - 1 vez a la semana - 1 vez al mes - 1 vez al año - Otras
- **¿A qué hora normalmente recarga su vehículo en estaciones de CARGA RÁPIDA?**
- **¿Usualmente utiliza Estaciones de CARGA MEDIA/LENTA Públicas?**
Si - No
- **¿En qué Estación de CARGA MEDIA/LENTA usualmente recarga su vehículo?**
- **¿Con qué frecuencia utiliza estaciones de CARGA MEDIA/LENTA?**
1 vez a la semana - 2 veces a la semana – Diariamente - Otras
- **¿Cuántas veces carga en el día?**
1 vez - 2 veces - Otras
- **¿A qué hora normalmente recarga su vehículo?**
- **Según su experiencia, ¿en qué localidades del país usted considera que deben ser instalados cargadores rápidos?**
- **Sugerencias para mejoría de futuras encuestas**
- **¿Desea recibir información referente a los resultados del proyecto?**

Anexo II – Algoritmos de simulación de conexión a la red eléctrica

I.1. Algoritmo de carga Residencial de VE.

Figura 2.1 - Algoritmo de simulación de conexión de carga Residencial de VE



A continuación se describe el algoritmo de simulación de carga Residencial que se detalla en la Figura 2.1.

- Para la ejecución del algoritmo, se deben cargar los datos iniciales que se citan abajo:
 - > Promedio de recorrido anual de cada VE que se quiere simular.
 - > Horario que cada VE normalmente carga.
 - > Consumo promedio (e [kWh / km]) de cada VE.
 - > Capacidad de Baterías.
 - > Cantidad de días que se quiere simular.
- El algoritmo inicia en un bucle que cuenta los días, este bucle se repite hasta que se alcancen los días de simulación preestablecidos.
- El primer cálculo realizado dentro del bucle es el recorrido acumulado de cada VE, que es igual a la suma del recorrido del día simulado y el recorrido acumulado de los días anteriores.
- El estado de la batería es calculado en base al recorrido acumulado, a la capacidad de la batería y consumo promedio, como se muestra en la siguiente fórmula.

$$EB (\%) = 100 - R_{total}(D) [km] * \frac{e[kWh/km]}{Capacidad_{Bateria}} * 100$$

Donde,

$EB (\%)$ = Porcentaje de carga de la batería

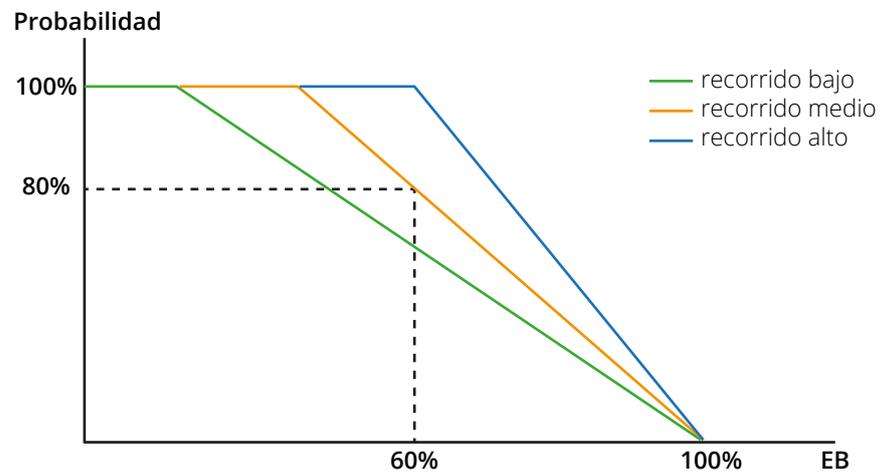
$R_{total}(D) [km]$ = Recorrido acumulado desde la última carga

$e[kWh/km]$ = Consumo promedio del vehículo por km

$Capacidad_{Bateria}$ = Capacidad de la batería

Según un análisis estadístico realizado por Nissan a 10.000 VE modelo Leaf de 24 kWh de capacidad de batería, realizado en Japón, pudieron encontrar la probabilidad de carga en VE que cargan en sus hogares. Según Nissan, es posible obtener una relación entre la probabilidad de carga y el estado de la batería³⁴. En este estudio, se utiliza el gráfico de probabilidad de carga para saber si cada VE realizará la carga a cada día simulado. En la Figura 2.2, se ilustra un ejemplo del gráfico, en donde cada curva representa a un grupo de usuarios, los que recorren más km/día, los que recorren menos y los que tienen un recorrido medio. La probabilidad de carga de cada VE se obtiene con el punto de intersección del estado de su batería al final de cada día con la curva perteneciente al grupo de cada VE. En el ejemplo, se puede ver que el VE pertenece al grupo de recorrido medio y tiene un estado de batería del 60%, al ingresar el valor de 60% en la curva de recorrido medio, se obtiene una probabilidad de carga del 80%.

Figura 2.2 - Probabilidad de Carga

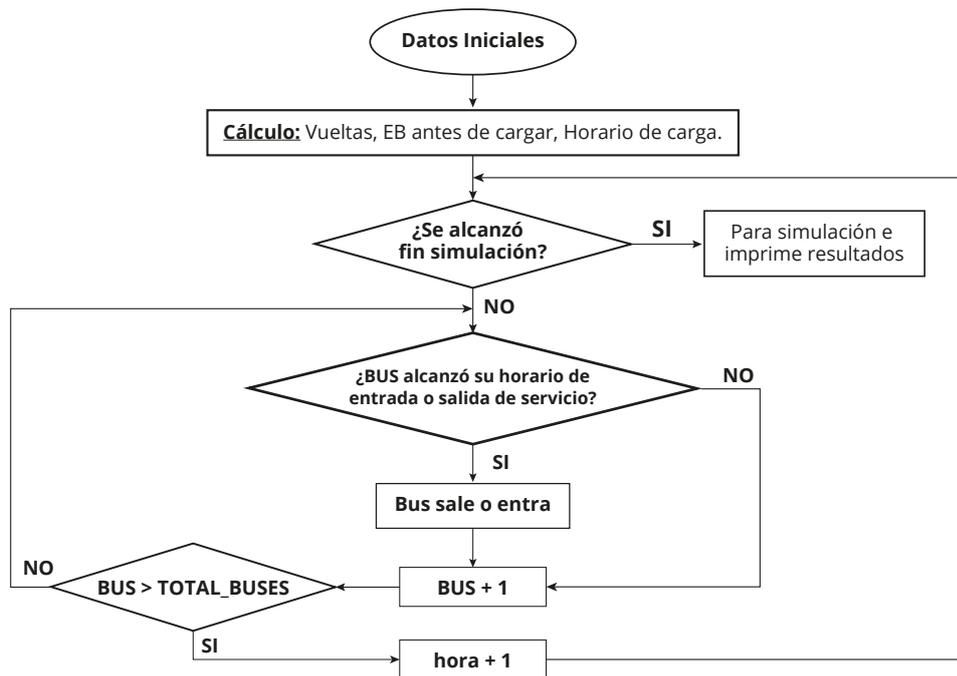


34 L. Calearo, A. Thingvad, K. Suzuki and M. Marinelli; Grid Loading Due to EV Charging Profiles Based on Pseudo-Real Driving Pattern and User Behavior; IEEE Transactions on Transportation Electrification, 2019.

II. 2 Algoritmo de carga de Buses y VE de Última Milla

A diferencia del patrón de carga de VE que cargan en sus domicilios, los patrones de carga de buses y VE de Última Milla dependen más del tipo de operación y las rutas programadas del día. Por lo tanto, el algoritmo para simular la conexión a la red de Buses y VE de Última Milla es realizado por horas, y no por días. En la Figura 2.3 se ilustra el algoritmo de simulación de conexión de Buses y VE de Última Milla, y a continuación, se describe el algoritmo.

Figura 2.3 - Algoritmo de simulación de conexión de Buses y Vehículos Eléctricos de Última Milla



- Los datos iniciales necesarios para la ejecución de algoritmo son:
 - > Horario de inicio y fin de jornada laboral de cada línea de Bus o empresa repartidora de última milla.
 - > Cantidad de vehículos que son eléctricos de cada línea de Bus o empresa repartidora de última milla.
 - > Cantidad de km recorridos en una vuelta por cada línea de Bus o empresa de última milla.
 - > Velocidad promedio.
 - > Consumo promedio (e [kWh / km]).
 - > Capacidad de Baterías.
- Antes de entrar en el bucle, se calcula las cantidades de vueltas en el recorrido programado que pueden realizar antes de cargar las baterías, el estado de la batería antes de cargar y la hora que cada Bus o VE de Última Milla realizará la carga.

- El estado de la batería es calculado en base a la cantidad vueltas del recorrido programado antes de realizar la carga, a la capacidad de la batería y consumo promedio, como se muestra en la siguiente formula.

$$EB (\%) = 100 - Nro_{Vueltas} [km] * \frac{e[kWh/km]}{Capacidad_{Batería}} * 100$$

Donde,

$EB (\%)$ = Porcentaje de carga de la batería

$Nro_{Vueltas} [km]$ = Recorrido acumulado desde la última carga

$e[kWh/km]$ = Consumo promedio del vehículo por km

$Capacidad_{Batería}$ = Capacidad de la batería

- El algoritmo entra en un bucle que cuenta las 24 horas.
- A cada iteración se verifica si cada Bus o VE de Última Milla alcanzó sus vueltas límites antes que se acabe la batería, o si alcanzó su horario de fin de servicio. En caso de ser positivo, el vehículo sale de servicio y empieza realizar la carga.
- También, se verifica si el vehículo inicia su jornada laboral o si ha concluido su horario de carga para saber si el vehículo entra en circulación.

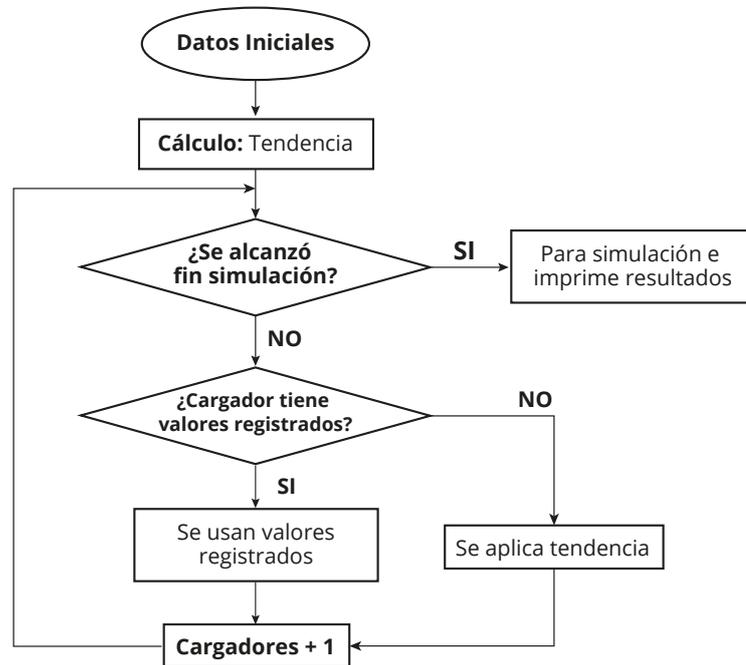
II. 3 Algoritmo de Cargadores Públicos.

Teniendo en cuenta que los cargadores de VE públicos del Paraguay no poseen registros de horario de carga de usuarios se realizó la simulación de horarios de carga de los VE.

A diferencia de los otros algoritmos de simulación de conexión de VE a la red eléctrica, el algoritmo para este tipo de cargador no sigue el enfoque de iteración por vehículo, sino que se utiliza un enfoque de simulación por cargador.

Este algoritmo fue desarrollado utilizando datos recopilados a partir de observaciones de campo, encuestas realizadas a usuarios de vehículos eléctricos y operadores de cargadores públicos. El algoritmo está representado en la Figura 2.4, el proceso iterativo se describe a continuación.

Figura 2.4- Algoritmo de simulación de conexión de VE que cargan en cargadores públicos



- Inicialmente para la ejecución del algoritmo:
 - > Se introducen los datos de cargadores que tengan registros de carga por hora.
 - > Se introducen los datos según encuesta y observaciones de cargadores que no tengan registros de carga.
- Antes de entrar en el bucle, se calcula la tendencia de carga por cada hora del día de los cargadores que no tengan registros de carga.
- El algoritmo entra en un bucle que cuenta la cantidad de cargadores.
- A cada iteración se verifica si cada Cargador tiene o no registro de carga, caso no tenga, se aplica la tendencia de carga por cada hora del día para tener un registro del cargador en base a la tendencia. En el caso que el cargador tenga registro de carga, se usan los valores registrados para cada hora del día.

