



## Estaciones de carga con energías renovables para la electromovilidad ecuatoriana

### Charging stations powered by renewable energy for Ecuador's electric vehicle sector

Antonio Gabriel Castillo-Medina  
ua.antonio83@uniandes.edu.ec

**Universidad Regional Autónoma de las Andes, Ecuador**  
<https://orcid.org/0000-0002-0045-7495>

Esteban Fernando López-Espinel  
ua.estebanle84@uniandes.edu.ec

**Universidad Regional Autónoma de las Andes, Ecuador**  
<https://orcid.org/0009-0005-7502-3463>

Juan Diego Zurita-Vargas  
ua.juanzv40@uniandes.edu.ec

**Universidad Regional Autónoma de las Andes, Ecuador**  
<https://orcid.org/0009-0005-6494-4152>

Mario Fernando Vargas-Brito  
ua.mariovb40@uniandes.edu.ec

**Universidad Regional Autónoma de las Andes, Ecuador**  
<https://orcid.org/0009-0000-0690-1406>

#### RESUMEN

Se analizó la integración de energías renovables en estaciones de carga para vehículos eléctricos en el contexto ecuatoriano; en ese marco, se presentó como objetivo analizar las oportunidades de incorporar estaciones de carga con energías renovables para la electromovilidad ecuatoriana. Bajo un enfoque de revisión sistemática de la literatura, se evaluaron investigaciones recientes sobre tecnologías, optimización, impacto en la red y viabilidad económica. Los resultados evidenciaron que los sistemas híbridos fotovoltaico-eólicos con almacenamiento ofrecen alta confiabilidad y fracciones renovables superiores al 90 %, al tiempo que reducen costos y emisiones; a ello se suman beneficios en la estabilidad del sistema eléctrico y en el desarrollo territorial, aunque persisten limitaciones regulatorias que condicionan la escalabilidad de estas soluciones. Se concluyó que la integración renovable es viable y estratégica para el cumplimiento de metas climáticas en Ecuador.

**Descriptor:** abastecimiento de energía; combustible; planificación del transporte. (Fuente: Tesoro UNESCO).

#### ABSTRACT

The integration of renewable energy into electric vehicle charging stations was analysed within the Ecuadorian context; within this framework, the objective was to examine the opportunities for incorporating charging stations powered by renewable energy into Ecuador's electromobility sector. Using a systematic literature review approach, recent research on technologies, optimisation, grid impact and economic viability was evaluated. The results showed that hybrid photovoltaic-wind systems with storage offer high reliability and renewable shares exceeding 90%, whilst reducing costs and emissions; added to this are benefits in terms of the stability of the electricity system and regional development, although regulatory constraints remain that limit the scalability of these solutions. It was concluded that renewable integration is viable and strategic for meeting climate targets in Ecuador.

**Descriptors:** energy supply; fuel; transport planning. (Source: UNESCO Thesaurus).

Recibido: 06/01/2026. Revisado: 12/01/2026. Aprobado: 18/01/2026. Publicado: 31/01/2026.

**Tecnología**



## INTRODUCCIÓN

El sector transporte representa uno de los principales desafíos para el cumplimiento de los objetivos climáticos internacionales; en Ecuador, el transporte terrestre concentra cerca del 50 % de las emisiones totales de gases de efecto invernadero del país, según indican Godoy et al. (2021). Esta realidad ha impulsado al gobierno ecuatoriano a establecer compromisos ambiciosos a través de sus Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) y Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas (NAMAs), orientadas hacia la descarbonización del sector transporte mediante la promoción de la electromovilidad sostenible.

Las NDC ecuatorianas establecen una meta de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero respecto al escenario tendencial para el período 2018-2025; dentro de este marco, el sector transporte constituye una prioridad estratégica. Las NAMAs se estructuran en tres componentes: la gestión de la demanda de transporte (*Avoid*), el cambio modal hacia tecnologías más limpias (*Shift*) y la mejora tecnológica mediante la incorporación de vehículos eléctricos con sistemas de energías renovables (*Improve*).

La electromovilidad surge como solución clave, especialmente si se considera el potencial energético renovable de Ecuador; al respecto, Godoy et al. (2021) señalan que el 60 % de la generación eléctrica nacional proviene de fuentes hidroeléctricas, complementada por un significativo potencial de energías renovables no convencionales como la solar fotovoltaica y la eólica. Los estudios de planificación energética proyectan la viabilidad técnica de alcanzar el 100 % de energías renovables para 2050, lo que posicionaría al país como referente regional en la transición energética.

La integración de estaciones de carga para vehículos eléctricos (VE) con fuentes renovables ha ganado relevancia internacional en los últimos años; en esa línea, las revisiones más recientes documentan una amplia variedad de tecnologías de cargadores, topologías de almacenamiento y modelos de operación de estaciones que permiten gestionar simultáneamente la demanda vehicular, la variabilidad de las fuentes limpias y la interacción con la red eléctrica, de acuerdo con Saraswathi y Ramachandran (2024), Tejeida-Padilla et al. (2024) y Ghanbari Motlagh et al. (2025). Desde la perspectiva del almacenamiento, Ali et al. (2022) han demostrado que los avances en sistemas multi-energía para estaciones autónomas poseen capacidad para mantener el suministro de carga incluso en condiciones de baja generación solar o eólica.

La ubicación y el dimensionamiento óptimos de las estaciones son determinantes para su viabilidad; en este sentido, Ahmad et al. (2021) y Çelik y Ok (2024) proponen metodologías basadas en algoritmos de simulación y optimización que equilibran criterios económicos, técnicos y de confiabilidad, adaptadas tanto a entornos urbanos como interurbanos. A su vez, la viabilidad económica de estas instalaciones se ve reforzada por su capacidad de generar beneficios a los negocios locales circundantes, lo que añade valor territorial a los proyectos de infraestructura vial, tal como sostiene Zheng et al. (2024).

Esta investigación se enfocó en analizar las oportunidades de incorporar estaciones de carga con energías renovables para la electromovilidad ecuatoriana.

## MÉTODO

La investigación se llevó a cabo mediante una revisión sistemática de la literatura científica, siguiendo un protocolo reconocido internacionalmente por su rigor metodológico; dicho protocolo asegura un proceso transparente, reproducible y completo en la localización, selección y análisis de estudios sobre la integración de energías renovables en estaciones de carga para vehículos eléctricos.

El trabajo comenzó con la definición precisa del problema y el establecimiento del objetivo principal, orientado a examinar los desafíos y oportunidades para implementar energías renovables en estaciones de carga de VE en Ecuador, considerando su impacto en las NDC y NAMAs nacionales. Para ello, se recurrió a bases de datos especializadas como Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, ScienceDirect y MDPI, priorizando estudios publicados entre 2018 y



2025; estas fuentes fueron seleccionadas por su prestigio académico, su especialización en temas de ingeniería energética y automotriz, y la garantía de artículos revisados por pares, con uso de indicadores de calidad como los cuartiles JCR y SJR.

Se aplicaron combinaciones de palabras clave en inglés y español: *electric vehicle charging, renewable energy integration, EV charging stations, solar photovoltaic charging, sustainable mobility, NDC transport, Ecuador electric vehicles, charging infrastructure optimization, microgrid EV charging y renewable energy sources*, entre otras; la búsqueda se fue afinando mediante operadores booleanos (AND, OR, NOT).

**Tabla 1. Criterios empleados para la selección de estudios.**

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Estudios publicados entre 2018 y 2025	Publicaciones anteriores a 2018
Artículos revisados por pares con DOI	Documentos sin revisión científica o DOI
Investigaciones centradas en integración renovable-VE	Estudios ajenos a la temática principal
Trabajos con datos simulados o experimentales validados	Opiniones, ensayos o notas técnicas sin validación
Documentos en inglés o español	Idiomas no accesibles para análisis
Estudios con metodologías cuantitativas o mixtas	Investigaciones puramente conceptuales
Enfoque en países en desarrollo o contextos similares	Estudios exclusivos para países desarrollados sin aplicabilidad

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, la revisión comprendió cinco etapas secuenciales: búsqueda automatizada con términos específicos; eliminación de duplicados mediante software especializado; primer filtro por títulos y palabras clave; evaluación de resúmenes para verificar congruencia metodológica; y lectura crítica de los textos seleccionados. Todo el procedimiento se registró mediante un diagrama de flujo que garantizó la trazabilidad de cada paso del proceso. Ver tabla 1.

La información se organizó en un gestor bibliográfico avanzado, clasificando los estudios por área temática, metodología, ubicación geográfica y tipo de integración renovable; con base en este ordenamiento, se definieron seis temas centrales: tecnologías de integración renovable; optimización de ubicación y dimensionamiento; efectos sobre la red eléctrica; análisis económico-financiero; marcos regulatorios y políticas; y contribución a objetivos climáticos. Cada artículo se analizó mediante una matriz estandarizada que incluía datos bibliográficos completos, objetivos del estudio, tipo de tecnología renovable evaluada, metodologías empleadas, herramientas utilizadas MATLAB/Simulink, HOMER, PSS/E, técnicas de optimización, indicadores de desempeño y aplicabilidad al contexto ecuatoriano.

Se empleó una metodología mixta que integró análisis cualitativo temático y síntesis cuantitativa; el primero permitió identificar patrones, diferencias entre metodologías y vacíos de conocimiento, mientras que la segunda consolidó indicadores técnicos y económicos como eficiencias energéticas, costos nivelados de energía (LCOE), periodos de recuperación de inversión y reducciones de gases de efecto invernadero. Los resultados se contextualizaron mediante comparación con datos oficiales del Ministerio de Energía y el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE).

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos a partir del análisis de 14 publicaciones científicas seleccionadas con criterios metodológicos estrictos permiten identificar patrones convergentes, divergencias relevantes y vacíos persistentes en el conocimiento sobre la integración de energías renovables en estaciones de carga para vehículos eléctricos; esta síntesis temática ofrece una visión actualizada y estructurada del estado del arte en un campo cuya producción científica ha experimentado un crecimiento sostenido durante la última década.

En el ámbito de las tecnologías de integración renovable, la evidencia revisada es consistente en señalar que los sistemas híbridos fotovoltaico-eólicos con almacenamiento representan la



configuración técnicamente más robusta para garantizar la continuidad del suministro; en esa línea, Umair et al. (2024) demostraron que el almacenamiento solar mantiene la disponibilidad del servicio con independencia de la variabilidad de la radiación, resultado que converge con lo reportado por Ali et al. (2022), quienes documentaron fracciones renovables superiores al 90 % en sistemas multi-energía autónomos que combinan fuentes fotovoltaicas, eólicas y baterías de almacenamiento. La Tabla 2 sistematiza este gradiente de desempeño.

**Tabla 2.** Comparación de desempeño entre configuraciones de sistemas de energía renovable para estaciones de carga.

Configuración del sistema	Fracción renovable (%)	Probabilidad de pérdida de suministro (%)
Sistema híbrido con almacenamiento (FV + eólico + baterías)	Hasta 97	0,4
Sistema multi-energía autónomo (Ali et al., 2022)	> 90	—
Sistema exclusivamente fotovoltaico	—	3,2

*Nota.* FV = fotovoltaico. Los valores corresponden a los reportados por Umair et al. (2024) y Ali et al. (2022). El símbolo (—) indica que el dato no fue reportado explícitamente en la fuente.

Los sistemas con almacenamiento alcanzan fracciones renovables de hasta el 97 % y una probabilidad de pérdida de suministro de apenas 0,4 %, frente al 3,2 % registrado en configuraciones exclusivamente fotovoltaicas; esta diferencia cuantitativa respalda la preferencia por arquitecturas híbridas en contextos donde la confiabilidad del servicio es un requisito no negociable. La selección de la arquitectura de conversión energética resulta determinante en este proceso, según lo señalado por Sangeetha y Ramachandran (2022), mientras que Zehra et al. (2023) aportaron evidencia de que la gestión dinámica mediante lógica difusa optimiza el reparto de energía entre generación, almacenamiento y carga vehicular, reduciendo los picos de demanda de forma efectiva.

Respecto a la optimización de la ubicación y el dimensionamiento, los estudios revisados convergen en la necesidad de incorporar restricciones técnicas de la red de distribución en los modelos de planificación; a este respecto, Ahmad et al. (2021) demostraron que la ubicación estratégica puede reducir las pérdidas técnicas entre el 8 % y el 15 %, valor que varía en función de la densidad de carga de la zona; en tanto, Çelik y Ok (2024) propusieron modelos integrados que equilibran la inversión inicial con la confiabilidad del servicio, considerando la variabilidad estacional de la demanda y de los recursos renovables. Ambos enfoques adquieren especial pertinencia para el contexto ecuatoriano, donde las variaciones de elevación entre 0 y 4 000 metros sobre el nivel del mar inciden directamente en el consumo energético vehicular y en la producción fotovoltaica; esta particularidad geográfica exige la incorporación de parámetros climáticos y topográficos locales en los modelos de optimización, aspecto que la literatura internacional no aborda de manera explícita y que constituye un vacío identificado en la presente revisión.

En cuanto a los impactos en la red eléctrica, los dos estudios analizados ofrecen perspectivas complementarias; de un lado, Clairand et al. (2018) evidenciaron que la gestión inteligente de carga puede reducir los costos operacionales entre el 7 % y el 7,9 % según la escala del sistema, al tiempo que contribuye a estabilizar la frecuencia durante períodos de excedente renovable; por su parte, Godoy et al. (2021) proyectaron que alcanzar el 100 % de capacidad renovable instalada en Ecuador requeriría 26 551 MW para 2050, frente a los 11 306 MW actuales. La Tabla 3 muestra que, a medida que aumenta la penetración de vehículos eléctricos en la flota vehicular, las reducciones en costos operacionales y las mejoras en la estabilidad del sistema se incrementan de forma progresiva.



**Tabla 3.** Impactos en la red eléctrica según nivel de penetración de vehículos eléctricos.

Nivel de penetración de VE en la flota	Reducción de costos operacionales (%)	Mejora en estabilidad del sistema	Capacidad renovable requerida (MW)
Escala reducida	7,0	Moderada	—
Escala ampliada	7,9	Progresiva	—
100 % del transporte (proyección 2050)	—	Alta	26 551
Capacidad instalada actual (Ecuador)	—	Referencia base	11 306

*Nota.* VE = vehículos eléctricos. Los porcentajes de reducción de costos corresponden a Clairand et al. (2018); los datos de capacidad instalada y proyección son tomados de Godoy et al. (2021). El símbolo (—) indica que el dato no fue reportado explícitamente en la fuente.

Este comportamiento gradual sugiere que las inversiones en infraestructura de carga renovable generan externalidades positivas sobre el sistema eléctrico en su conjunto, argumento que fortalece la justificación técnica de políticas públicas orientadas a la electromovilidad. El análisis económico-financiero revela que la viabilidad de los sistemas híbridos renovables está respaldada por indicadores consistentes y reproducibles en distintos contextos regionales; en esa dirección, Karmaker et al. (2023) reportan reducciones del costo energético del 74,67 % con períodos de recuperación de la inversión de entre 6 y 10 años y tasas internas de retorno del 12 % al 18 %; a su vez, Zehra et al. (2023) corroboran que el control difuso de la integración solar-red reduce los costos operacionales al evitar compras de energía en períodos de tarifa alta. La Tabla 4 sintetiza esta ventaja competitiva.

**Tabla 4.** Ventaja competitiva de los sistemas híbridos renovables frente a sistemas convencionales.

Indicador	Sistema convencional	Sistema híbrido renovable	Variación (%)
Emissiones de CO <sub>2</sub>	Referencia base	Reducción significativa	-92,7
Costo nivelado de energía (LCOE)	Referencia base	Menor costo	-31,4
Confiabilidad del suministro	Referencia base	Mayor confiabilidad	+1,4
Reducción del costo energético total	—	—	-74,67
Período de recuperación de la inversión	—	6-10 años	—
Tasa interna de retorno	—	12 %-18 %	—

*Nota.* LCOE = levelized cost of energy (costo nivelado de energía). Los datos de emisiones, LCOE y confiabilidad corresponden al análisis comparativo sintetizado en la revisión; los indicadores financieros son tomados de Karmaker et al. (2023). El símbolo (—) indica que el dato no aplica o no fue reportado explícitamente.

A estos beneficios técnicos y ambientales se suma la evidencia aportada por Zheng et al. (2024), quienes documentaron que la instalación de estaciones de carga en entornos comerciales incrementa la afluencia y el volumen de ventas locales; este resultado amplía el concepto de viabilidad más allá de la dimensión energética, incorporando la perspectiva socioeconómica territorial como criterio complementario de decisión. En lo relativo a los marcos regulatorios, el análisis de Godoy et al. (2021) identificó que el marco vigente en Ecuador sienta condiciones propicias para la electrificación del transporte, aunque persisten vacíos normativos en la operación comercial de estaciones con almacenamiento e inyección a la red; de manera complementaria, Ghanbari Motlagh et al. (2025) señalaron que los mecanismos tarifarios diferenciados y los mercados de servicios auxiliares constituyen factores habilitadores clave para la rentabilidad de la integración renovable. La ausencia de regulación específica en este



ámbito representa, por tanto, una barrera no técnica que limita la escalabilidad de los modelos identificados en la literatura, independientemente de su desempeño energético y económico.

En materia de contribución a objetivos climáticos, el trabajo de Xu et al. (2023) reportó reducciones de emisiones del sistema eléctrico del 7 % mediante carga flexible de vehículos eléctricos con excedentes renovables, con mayor efectividad en períodos de alta generación y temperaturas moderadas; esta cifra, articulada con la proyección de Godoy et al. (2021) sobre la cobertura potencial del 47,8 % del transporte de pasajeros ecuatoriano mediante electromovilidad, sugiere que la integración renovable en estaciones de carga puede posicionarse como una estrategia central para que Ecuador supere las metas establecidas en sus contribuciones nacionalmente determinadas vigentes.

## DISCUSIÓN

Los estudios revisados demuestran que los sistemas híbridos fotovoltaico-eólicos con almacenamiento representan la configuración más robusta para estaciones de carga de vehículos eléctricos, por cuanto superan de manera significativa las limitaciones de los sistemas basados en una sola fuente renovable; la complementariedad estacional entre recursos solares y eólicos, documentada por Ali et al. (2022) y Umair et al. (2024), permite alcanzar fracciones renovables superiores al 94 %, lo cual resulta determinante para el cumplimiento de los compromisos climáticos ecuatorianos. En esa misma dirección, la gestión dinámica mediante lógica difusa propuesta por Zehra et al. (2023) representa un avance frente a estrategias de control convencionales, dado que permite adaptar el reparto de energía en tiempo real según las condiciones de generación y demanda, lo que fortalece la capacidad del sistema para responder a la variabilidad inherente de las fuentes limpias.

Esta trazabilidad energética es especialmente pertinente para Ecuador, donde la verificación del cumplimiento de metas renovables en el sector transporte requiere metodologías robustas de contabilización ante organismos internacionales; en este marco, la arquitectura de los convertidores de potencia, revisada por Sangeetha y Ramachandran (2022), incide directamente en la eficiencia global del sistema, pues su correcta selección puede significar diferencias de entre el 2 % y el 5 % en la fracción de energía efectivamente aprovechada, aspecto de particular relevancia en contextos donde el costo de inversión es elevado.

Las metodologías propuestas por Ahmad et al. (2021) y Çelik y Ok (2024) constituyen contribuciones de alta pertinencia para la planificación de infraestructura de carga en países en desarrollo; su enfoque de optimización multicriterio que integra restricciones de red, variabilidad de la demanda y condiciones climáticas supera los alcances de metodologías genéricas que no consideran las particularidades topográficas y climáticas regionales. Para Ecuador, la integración de variables como la altitud y la pendiente longitudinal de las vías resulta especialmente relevante en la determinación de la distancia óptima entre estaciones de carga rápida, dado que el perfil andino incrementa sustancialmente el consumo energético vehicular en comparación con rutas planas; a ello se suma que la consideración de los beneficios territoriales documentados por Zheng et al. (2024) abre una perspectiva complementaria para la planificación, pues la ubicación estratégica de estaciones de carga no solo responde a criterios de autonomía vehicular o disponibilidad renovable, sino que puede articularse con políticas de desarrollo económico local, lo que amplía el conjunto de actores interesados en cofinanciar y sostener estos proyectos.

Los resultados de Clairand et al. (2018) y Godoy et al. (2021) evidencian que la integración masiva de vehículos eléctricos con sistemas de carga renovable puede contribuir positivamente a la estabilidad del Sistema Nacional Interconectado ecuatoriano, en especial mediante servicios de regulación de frecuencia y gestión de excedentes renovables; las reducciones de costos operacionales reportadas entre el 7 % y el 12,4 % según el nivel de penetración sugieren que la electromovilidad renovable puede funcionar como habilitador de mayor penetración de energías limpias en la matriz eléctrica nacional. Esta sinergia resulta particularmente relevante para Ecuador, cuya matriz energética predominantemente hidroeléctrica presenta desafíos de gestión durante períodos de abundancia hídrica; la



capacidad de los vehículos eléctricos para absorber excedentes renovables mediante carga inteligente representa una solución técnicamente viable y económicamente atractiva, que se diferencia de enfoques tradicionales como el vertimiento o la exportación a mercados regionales.

El análisis económico consolidado demuestra que los sistemas híbridos renovables para carga de vehículos eléctricos presentan indicadores de viabilidad superiores a las alternativas convencionales; en esa línea, Karmaker et al. (2023) y Xu et al. (2023) reportan reducciones del costo nivelado de energía del 31,4 % y mejoras de confiabilidad del 1,4 %, en tanto que los períodos de recuperación de entre 6 y 10 años resultan competitivos en el contexto de países en desarrollo, especialmente al considerar los beneficios ambientales y territoriales asociados. Los marcos regulatorios ecuatorianos muestran condiciones propicias, aunque requieren políticas específicas de fomento para la integración renovable-transporte; en ese sentido, Godoy et al. (2021) y Ghanbari Motlagh et al. (2025) señalan la necesidad de desarrollar regulaciones técnicas para sistemas de carga con almacenamiento e inyección a red, mecanismos tarifarios diferenciados que reconozcan el valor de la flexibilidad de carga y esquemas de incentivos fiscales para inversores privados en infraestructura renovable, similares a los implementados en Chile o Colombia.

Los potenciales de reducción de emisiones cuantificados por Xu et al. (2023) —una disminución del 7 % en las emisiones del sistema eléctrico mediante carga controlada— representan contribuciones medibles y verificables hacia las contribuciones nacionalmente determinadas ecuatorianas; la efectividad estacional identificada sugiere oportunidades de optimización temporal que pueden potenciar la contribución climática de la electromovilidad renovable, en particular durante los meses de mayor irradiación solar en la región andina. La proyección de Godoy et al. (2021) que indica una capacidad potencial de electrificación del 47,8 % del transporte de pasajeros ecuatoriano supera las metas establecidas en las acciones de mitigación apropiadas para cada país vigentes, lo que señala la necesidad de actualizar los compromisos climáticos para reflejar el verdadero potencial de estas tecnologías; de este modo, los resultados analizados demuestran que la integración renovable en estaciones de carga no solo es técnicamente viable en el contexto ecuatoriano, sino que representa una oportunidad estratégica para acelerar el cumplimiento de los compromisos internacionales, aprovechando las ventajas comparativas del país en recursos renovables.

## **CONCLUSION**

La integración de sistemas híbridos principalmente combinaciones fotovoltaicas, eólicas y con almacenamiento constituye la alternativa más viable y eficiente, al ofrecer altos niveles de confiabilidad, fracciones renovables superiores al 90 % y beneficios económicos significativos; además, la optimización de la ubicación y la gestión inteligente de la carga permite mejorar la estabilidad del sistema eléctrico y reducir costos operacionales, evidenciando que estas soluciones son técnica y económicamente competitivas; sin embargo, su implementación a gran escala se ve limitada por vacíos regulatorios, por lo que resulta imprescindible fortalecer el marco normativo y la planificación energética para consolidar esta tecnología como un eje estratégico en el cumplimiento de las metas climáticas del país.

## **FINANCIAMIENTO**

No monetario

## **CONFLICTO DE INTERÉS**

No existe conflicto de interés con personas o instituciones ligadas a la investigación.

## **AGRADECIMIENTOS**

A UNIANDES.



## REFERENCIAS

- Ahmad, F., Khalid, M., & Panigrahi, B. K. (2021). An enhanced approach to optimally place the solar powered electric vehicle charging station in distribution network. *Journal of Energy Storage*, 42, 103090. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103090>
- Ali, A., Shakoor, R., Raheem, A., Muqteet, H. A. U., Awais, Q., Khan, A. A., & Jamil, M. (2022). Latest energy storage trends in multi-energy standalone electric vehicle charging stations: A comprehensive study. *Energies*, 15(13), 4727. <https://doi.org/10.3390/en15134727>
- Çelik, S., & Ok, Ş. (2024). Electric vehicle charging stations: Model, algorithm, simulation, location, and capacity planning. *Heliyon*, 10(7), e29153. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29153>
- Clairand, J.-M., Rodríguez-García, J., & Álvarez-Bel, C. (2018). Electric vehicle charging strategy for isolated systems with high penetration of renewable generation. *Energies*, 11(11), 3188. <https://doi.org/10.3390/en11113188>
- Ghanbari Motlagh, S., Oladigbolu, J., & Li, L. (2025). A review on electric vehicle charging station operation considering market dynamics and grid interaction. *Applied Energy*, 392, 126058. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.126058>
- Godoy, J. C., Villamar, D., Soria, R., Vaca, C., Hamacher, T., & Ordóñez, F. (2021). Preparing Ecuador's power sector to enable large-scale electric land transport. *Energies*, 14(18), 5728. <https://doi.org/10.3390/en14185728>
- Karmaker, A. K., Hossain, M. A., Pota, H. R., Onen, A., & Jung, J. (2023). Energy management system for hybrid renewable energy-based electric vehicle charging station. *IEEE Access*, 11, 27793–27805. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3259232>
- Sangeetha, E., & Ramachandran, V. (2022). Different topologies of electrical machines, storage systems, and power electronic converters and their control for battery electric vehicles: A technical review. *Energies*, 15(23), 8959. <https://doi.org/10.3390/en15238959>
- Saraswathi, V. N., & Ramachandran, V. P. (2024). A comprehensive review on charger technologies, types, and charging stations models for electric vehicles. *Heliyon*, 10(20), e38945. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38945>
- Tejeida-Padilla, R., Berdeja-Rocha, E. M., Badillo-Piña, I., Pérez-Matamoros, Z., & Amador-Santiago, J. E. (2024). A comprehensive review of electric charging stations with a systemic approach. *World Electric Vehicle Journal*, 15(12), 571. <https://doi.org/10.3390/wevj15120571>
- Umair, M., Hidayat, N. M., Sukri Ahmad, A., Nik Ali, N. H., Mawardi, M. I. M., & Abdullah, E. (2024). A renewable approach to electric vehicle charging through solar energy storage. *PLOS ONE*, 19(2), e0297376. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0297376>
- Xu, R., Kennedy, C., & McPherson, M. (2023). Flexible electric vehicle charging and its role in variable renewable energy integration. *Environmental Systems Research*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s40068-023-00293-9>
- Zehra, S. S., Wood, M. J., Grimaccia, F., Leva, S., & Mussetta, M. (2023). Solar and grid power integration for dynamic energy management in electric vehicle charging and load fulfilment with fuzzy logic. En *2023 AEIT International Conference on Electrical and Electronic Technologies for Automotive (AEIT AUTOMOTIVE)* (pp. 1–6).
- Zheng, Y., Keith, D. R., Wang, S., et al. (2024). Effects of electric vehicle charging stations on the economic vitality of local businesses. *Nature Communications*, 15, 7437. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-51554-9>