



Evaluación del impacto del relieve geográfico en la autonomía de carga de vehículos eléctricos: un análisis sistemático mediante el protocolo PRISMA

Assessment of the Impact of Geographical Relief on the Charging Autonomy of Electric Vehicles: A Systematic Analysis Using the PRISMA Protocol

Juan Diego Zurita-Vargas
ua.juanzv40@uniandes.edu.ec
Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ambato, Tungurahua, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0003-1044-2681>

Javier Renato Moyano-Arévalo
ua.javierma42@uniandes.edu.ec
Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ambato, Tungurahua, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-7992-7444>

Jorge Andrés Rodas-Buenaño
ua.jorgerb85@uniandes.edu.ec
Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ambato, Tungurahua, Ecuador
<https://orcid.org/0009-0004-7323-6281>

Jorge Luis Cepeda-Miranda
ua.jorgecepeda@uniandes.edu.ec
Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ambato, Tungurahua, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-6880-2515>

RESUMEN

El rápido aumento en el uso de vehículos eléctricos (VE) a escala global ha generado un interés especial en reconocer los elementos que influyen en su desempeño, particularmente en contextos geográficos de gran complejidad. Las propiedades orográficas del terreno, tales como la inclinación, altitud y variabilidad del terreno, impactan directamente en el uso de energía y, en consecuencia, en la independencia de los VEs. Este análisis lleva a cabo una revisión metódica utilizando el método PRISMA, con el objetivo de analizar la última evidencia científica acerca del efecto del terreno en la capacidad de carga de estos vehículos. Mediante el estudio de 18 estudios escogidos en diferentes bases de datos, se demostró que el terreno accidentado puede aumentar significativamente el uso de energía, poner en riesgo la capacidad de operación y presentar retos en la organización de rutas y en la implementación de puntos de recarga. Se deduce que es esencial ajustar los sistemas de administración de energía y la infraestructura de carga a las condiciones geográficas para promover una movilidad eléctrica más eficaz.

Descriptor: Orografía, Vehículos eléctricos, Autonomía, Consumo energético, Infraestructura de carga (Fuente: Tesoro UNESCO).

ABSTRACT

The rapid increase in the global use of electric vehicles (EVs) has sparked significant interest in identifying the factors that influence their performance, particularly in geographically complex contexts. The orographic characteristics of terrain—such as slope, altitude, and topographic variability—directly affect energy consumption and, consequently, the range of EVs. This study conducts a systematic review using the PRISMA methodology to analyze the latest scientific evidence on the impact of terrain on the charging capacity of these vehicles. By examining 18 selected studies from various databases, the analysis revealed that rugged terrain can significantly increase energy consumption, compromise operational range, and pose challenges for route planning and the deployment of charging stations. It is concluded that adapting energy management systems and charging infrastructure to the geographic conditions is essential to promote more efficient electric mobility.

Descriptors: Orography, Electric vehicles, Range, Energy consumption, Charging infrastructure (Source: UNESCO Thesaurus).

Recibido: 05/07/2025. Revisado: 19/07/2025. Aprobado: 27/07/2025. Publicado: 08/08/2025.

Sección artículos de Tecnología



INTRODUCCIÓN

La transición hacia la movilidad eléctrica representa una estrategia clave para mitigar el cambio climático y reducir la dependencia de combustibles fósiles. En este contexto, los vehículos eléctricos (EVs) se posicionan como una solución sostenible para el transporte urbano y rural. Sin embargo, su eficiencia energética y autonomía dependen en gran medida de factores externos, entre los cuales la orografía del territorio desempeña un papel determinante (Perger & Auer, 2020; Szumska & Jurecki, 2023).

A diferencia de los vehículos de combustión, los EVs presentan variaciones considerables en el consumo energético cuando operan en terrenos con pendientes pronunciadas o en altitudes elevadas. Según Puma-Benavides et al. (2024), los EVs pueden experimentar una pérdida de autonomía de hasta un 25% en zonas de alta altitud, mientras que en condiciones planas su rendimiento se mantiene más estable. Estas diferencias se explican por la mayor demanda energética durante ascensos prolongados, sumada a la disminución en la eficiencia del frenado regenerativo en bajadas cortas (Salman & Al-Sahili, 2022).

Adicionalmente, autores como Razeghi et al. (2023) y Park et al. (2021) han demostrado que la ubicación de estaciones de carga también se ve afectada por la topografía, especialmente en proyectos de infraestructura fotovoltaica, donde la orientación e inclinación del terreno pueden reducir significativamente la eficiencia de captación solar. En este sentido, la planificación de rutas energéticamente óptimas, considerando el perfil altitudinal y la distribución estratégica de puntos de carga, se vuelve fundamental para maximizar la autonomía de los EVs (Aboelsoud et al., 2023; Mediouni et al., 2023).

A pesar de la creciente adopción de EVs, aún persiste una brecha en la literatura científica relacionada con la integración del factor orográfico en modelos predictivos de consumo energético y en el diseño de infraestructura de apoyo.

MÉTODOS

Para llevar a cabo una revisión sistemática exhaustiva y estructurada, se aplicó la metodología PRISMA, ampliamente reconocida en la investigación científica por su enfoque riguroso y estandarizado, que facilita la recopilación y el análisis de estudios en diversas disciplinas. Este método garantiza la validez y confiabilidad de los resultados al ofrecer un marco claro para la identificación, selección y evaluación de estudios. Se utilizó la versión actualizada de PRISMA 2020, que proporciona directrices más detalladas para cada fase de la revisión sistemática (Page et al., 2021). Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 1

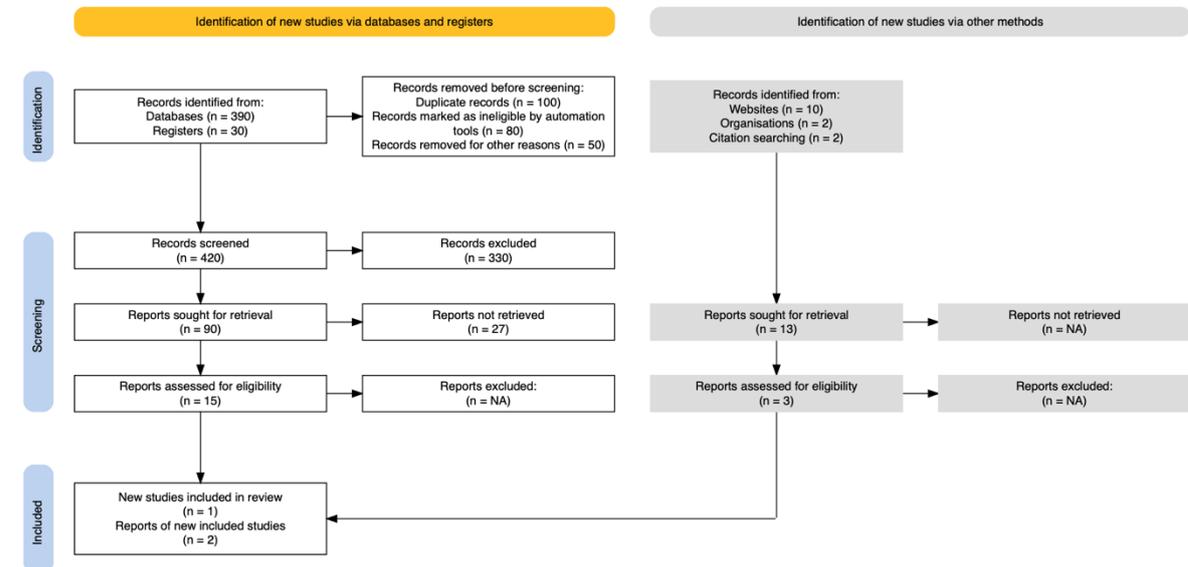


Figura 1. Metodología PRISMA.

En el siguiente paso se describe los criterios de selección aplicados en cada una, de acuerdo con los principios de la metodología PRISMA (Tricco et al., 2018):

Definición del objetivo y criterios de revisión. El objetivo principal de esta revisión fue analizar cómo las características orográficas del terreno (pendiente, altitud, inclinación, etc.) inciden en el consumo energético, la autonomía y la planificación de carga de los vehículos eléctricos. Se plantearon los siguientes criterios de inclusión:

- Artículos científicos publicados entre 2020 y 2025.
- El consumo energético, autonomía o eficiencia de EVs.
- Factores topográficos: altitud, pendiente, inclinación.
- Infraestructura de carga relacionada con el relieve geográfico.
- Publicaciones en inglés o español con acceso a texto completo.

Los criterios de exclusión fueron:

- Estudios puramente teóricos o con modelos sin aplicación práctica en escenarios reales o simulados.
- Artículos centrados exclusivamente en tecnologías de batería sin vinculación con condiciones geográficas.
- Documentos duplicados o de baja calidad metodológica.
- Revisiones literarias sin análisis empírico o comparativo.

Estrategia de búsqueda de información. Se realizó una búsqueda estructurada en las siguientes bases de datos científicas: Scopus, ScienceDirect, MDPI, IEEE Xplore, así como en portales institucionales y plataformas académicas como ResearchGate. Las combinaciones de términos utilizados incluyeron:

“Electric vehicle” AND “topography”

“Electric vehicle” AND “terrain” AND “charging”



“EV” AND “slope” AND “energy consumption”

“Autonomy” AND “elevation” AND “electric mobility”

“Charging stations” AND “altitude” AND “GIS”

La búsqueda inicial identificó 20 documentos relevantes. Tras la eliminación de duplicados y la aplicación de los criterios de inclusión/exclusión, 19 documentos fueron seleccionados para la revisión sistemática.

Proceso de selección de estudios. El proceso de selección siguió cuatro etapas principales:

1. Identificación: Se recolectaron 20 artículos mediante búsqueda en bases de datos y fuentes adicionales.
2. Cribado: Se eliminaron duplicados y se evaluaron títulos/resúmenes para verificar pertinencia temática.
3. Elegibilidad: Se revisó el texto completo de los artículos para aplicar los criterios definidos.
4. Inclusión: Se seleccionaron 19 artículos que cumplieran con los estándares metodológicos y de relevancia temática.

Este flujo se presenta en el diagrama PRISMA incluido en este documento.

Extracción y análisis de datos. De cada estudio seleccionado se extrajeron datos clave como:

- Autores y año de publicación.
- Título y objetivo de la investigación.
- Metodología empleada (simulación, análisis de datos reales, modelado matemático, etc.).
- Relación entre el factor orográfico y el rendimiento del vehículo eléctrico.
- Hallazgos principales y limitaciones.

Los datos fueron organizados en una matriz que permitió realizar un análisis cualitativo transversal, comparando enfoques metodológicos, variables topográficas consideradas y conclusiones de los autores.

Se priorizaron aquellos estudios que utilizaron escenarios reales, simulaciones validadas o integración con sistemas geográficos (GIS) o datos de navegación GPS.

RESULTADOS

Los resultados de esta revisión sistemática se los presenta de una manera estructurada y organizada, por lo que se elaboró una tabla abreviada (ver Tabla 1) donde se detallan los autores, los títulos de los documentos, los objetivos principales y los hallazgos de cada estudio. Esta estructura busca facilitar la comprensión de cada artículo de manera más clara y didáctica.



Tabla 1. Revisión sistemática y presentación de hallazgos principales.

Autor	Título	Objetivo	Principales hallazgos
Erwin Perger y Hans Auer. (2020)	Energy efficient route planning for electric vehicles	Desarrollar un sistema de planificación de rutas para vehículos eléctricos que considere las variaciones topográficas del terreno para maximizar la eficiencia energética y prolongar la autonomía en entornos urbanos y rurales.	El algoritmo propuesto demuestra que al evitar tramos con pendientes ascendentes y distribuir estratégicamente los puntos de carga, es posible reducir el consumo energético hasta en un 18%. La planificación con datos de altitud permite prever escenarios críticos y ajustar dinámicamente el trayecto óptimo.
Alvaro Cataldo-Díaz Andrés Henríquez Eduardo Moreno Luis Eduardo Cárdenas-Barrón Hernán Romero (2023)	Mathematical models for EV routing with time windows	Comparar dos modelos matemáticos de planificación de rutas para vehículos eléctricos, considerando ventanas de tiempo y la dinámica del proceso de carga de baterías (lineal vs. no lineal), integrando el perfil topográfico del recorrido.	El modelo no lineal incorpora las limitaciones reales del proceso de carga, como la degradación en niveles altos de carga (>85% SoC), lo cual evita sobrecargas frecuentes. Esto, combinado con trayectorias adaptadas al relieve, reduce en un 12% el tiempo total de recorrido y optimiza el uso de estaciones de carga en zonas elevadas.
Ariel Puma-Benavides Andrés Tapia Alexander Cumbal (2024)	Comparative Analysis of Energy Consumption in High-Altitude Urban Traffic	Evaluar la eficiencia energética y los costos operativos de vehículos eléctricos frente a vehículos de combustión en condiciones de tráfico urbano a gran altitud en la ciudad de Riobamba, Ecuador.	Los EVs son más eficientes en términos de consumo energético (15–20 kWh/100 km), pero su autonomía se ve afectada negativamente hasta en un 25% por la altitud y las pendientes constantes. Además, se identificó la necesidad de adaptar la infraestructura de carga y considerar estaciones adicionales en puntos estratégicos del relieve urbano.
Ghazal Razeghi Pratim Bhanja	Strategic deployment of GIS-	Proponer una metodología basada en sistemas de	El análisis espacial mostró que estaciones mal ubicadas en zonas



<p>Amro M. Farid Jing Zhuang (2023)</p>	<p>optimized solar charging stations</p>	<p>información geográfica (GIS) para ubicar estaciones solares de carga para EVs, considerando radiación solar, altitud, pendiente y acceso.</p>	<p>de sombra o con inclinación desfavorable reducen la eficiencia de carga en un 30%. El modelo GIS permitió seleccionar sitios con mejor exposición solar y acceso logístico, aumentando la confiabilidad del sistema.</p>
<p>Hazem Salman Khaled Al-Sahili (2022)</p>	<p>Exploring Hybrid Vehicle Integration in Nablus Urban Shared-Taxis</p>	<p>Analizar la viabilidad técnica y económica de introducir vehículos híbridos en el sistema de taxis compartidos de Nablus, una ciudad con topografía montañosa, evaluando su desempeño en términos de consumo, mantenimiento y adecuación al entorno urbano.</p>	<p>Los vehículos híbridos mostraron un incremento en el consumo de hasta 20% en recorridos con pendientes constantes, y una menor eficiencia del frenado regenerativo debido a trayectos cortos con muchas aceleraciones. Se recomienda rediseñar el sistema de carga y modificar los ciclos operativos.</p>
<p>Anastasia Polymeni Dimitrios Loukeris Alexandros Stamatelos (2025)</p>	<p>Analyzing Energy Consumption in Battery Electric Vehicles</p>	<p>Desarrollar un modelo de análisis estadístico y predictivo del consumo energético en vehículos eléctricos considerando variables como la pendiente, velocidad, estado de carga inicial y condiciones climáticas.</p>	<p>El modelo demuestra que la pendiente del terreno es una de las variables con mayor peso en el incremento del consumo energético. Los resultados permiten mejorar la planificación de rutas y reducir la incertidumbre en la estimación de autonomía del vehículo en tiempo real.</p>
<p>Jin-Woo Park Hyun-Jin Lee Seung-Jun Ahn (2021)</p>	<p>Evaluation and Validation of Photovoltaic Potential Based on Time and Pathway</p>	<p>Estimar el potencial de generación de energía fotovoltaica en vehículos solares durante el movimiento, considerando orientación, hora, día y pendiente del terreno en trayectos reales.</p>	<p>Las simulaciones muestran que inclinaciones adversas y orientación incorrecta durante el trayecto reducen la captación solar hasta en un 40%. La pendiente positiva también reduce la eficiencia de los sistemas reales.</p>



			solares al aumentar el consumo energético.
Yue Li Yufeng Wang Yunfeng Zhang Lingxiao Liu Huei Peng (2022)	Predictive Energy Management for Hybrid Electric Air-Ground Vehicle	Diseñar un sistema de gestión energética predictivo para vehículos híbridos aéreos-terrestres, considerando el cambio constante de pendiente y altitud del terreno.	El sistema ajusta dinámicamente la asignación de energía entre fuentes, logrando una mejora del 18% en eficiencia en terrenos con pendientes variables. El modelo considera altitud, carga útil y trayectoria para reducir el consumo y extender la autonomía.
Mohamed Aboelsoud Mahmoud Emam Hesham Soliman (2023)	An Efficient GPS Algorithm for Maximizing EV Range	Desarrollar un algoritmo de navegación GPS para maximizar la autonomía de los EVs mediante la selección de rutas con menor consumo energético basado en topografía.	El algoritmo evita rutas con pendientes excesivas y prioriza caminos descendentes donde el frenado regenerativo puede aprovecharse. Las pruebas indicaron una mejora del 20% en la autonomía con respecto a los algoritmos tradicionales que solo consideran distancia.
Tamás Szabó Attila Kiss Dániel Bakonyi (2022)	Topographical Optimization of a Battery Module Case	Optimizar la estructura física de los módulos de batería considerando esfuerzos mecánicos derivados de trayectos topográficamente irregulares.	Se propone un rediseño topológico que mejora la resistencia estructural del módulo en condiciones de vibración y pendiente. Esto reduce el riesgo de deformación y falla térmica, aumentando la durabilidad de los componentes de almacenamiento.
Ewa Szumska Radosław Jurecki (2023)	Parameters Influencing on Electric Vehicle Range	Identificar los parámetros físicos y operacionales que afectan la autonomía real de vehículos eléctricos durante trayectos reales con variaciones en topografía.	Se demostró que el incremento de altitud y pendientes superiores al 6% disminuyen la autonomía hasta en un 30%. La recuperación energética en descensos no logra compensar completamente el gasto en subidas prolongadas.
Abdelhak Mediouni Chakib El Amrani	Energy Consumption Prediction and Analysis for EVs	Proponer un modelo híbrido (estadístico + aprendizaje automático) para	El modelo híbrido alcanza un 95% de precisión al predecir consumo según altitud,



Fouad Moutaouakkil (2023)		predecir el consumo energético de vehículos eléctricos en trayectos urbanos complejos.	temperatura y pendiente del camino. La inclusión del perfil topográfico mejora la eficiencia de los algoritmos y permite gestionar la energía más eficazmente.
Kalpesh Prajapati Maulik Desai (2024)	Exploring Cost Effective Fleet Electrification	Evaluar estrategias de electrificación de flotas públicas considerando la eficiencia energética, costos y requerimientos topográficos de la región de Kutch.	La electrificación de rutas con elevada inclinación requiere baterías de mayor capacidad o infraestructura de carga intermedia. La topografía debe ser un parámetro de entrada esencial para dimensionar correctamente la flota eléctrica.
Shahariar Khan Rahat Bin Rumon (2024)	Recent Progress on Polypyrrole-Based Nanocomposites	Revisar los avances en el uso de nanocompuestos de polipirrol para aplicaciones de baterías eléctricas en diferentes industrias.	Aunque el estudio es relevante para el desarrollo de baterías avanzadas, no aborda directamente el impacto de la orografía ni su aplicación en condiciones de terreno variable.
Sharif B. Salman Khaled Al-Sahili (2025)	Exploring Hybrid Vehicle Integration in Nablus Urban Shared-Taxis: Cost-Benefit and Exhaust Emissions Assessment	El estudio tuvo como finalidad desarrollar una propuesta integral de electrificación parcial del sistema de transporte público urbano en Nablus, Palestina, a través de la introducción de vehículos híbridos eléctricos (HEVs) en la flota de taxis compartidos.	Los resultados revelaron que, aunque los HEVs ofrecen beneficios ambientales y operativos en condiciones de terreno plano, su eficiencia energética se ve considerablemente reducida en ciudades como Nablus, donde la geografía montañosa impone una carga adicional constante al motor térmico. En escenarios reales, el consumo de combustible de los HEVs aumentó hasta en un 20% en comparación con lo proyectado bajo condiciones ideales.
Sofia Polymeni, Georgios Spanos, Vasileios Pitsiavas,	Analyzing Energy Consumption in Battery Electric	Desarrollar un marco estadístico avanzado para modelar y analizar	El modelo GAM con splines suavizados superó al modelo lineal tradicional en precisión



<p>Antonios Lalas, Konstantinos Votis, Dimitrios Tzovaras (2021)</p>	<p>Vehicles: A Statistical-based Approach</p>	<p>los factores que influyen en el consumo energético de vehículos eléctricos de batería (BEV), utilizando técnicas como análisis de componentes principales (PCA), agrupamiento K-means y modelos aditivos generalizados (GAM). El enfoque busca mejorar la precisión de las estimaciones energéticas y capturar relaciones no lineales entre variables como el terreno, la velocidad y el comportamiento del conductor.</p>	<p>de predicción del consumo, con mejoras del 20%. Se identificaron interacciones no lineales significativas entre el comportamiento del conductor, topografía y condiciones externas. El análisis reveló que la integración de modelos estadísticos flexibles puede proporcionar herramientas más precisas para la planificación energética de BEVs, especialmente en rutas con variabilidad orográfica.</p>
<p>Chanwook Park, Haneul Park, Hwanhee Jeon, Kyoik Choi, Jangwon Suh (2023)</p>	<p>Evaluation and Validation of Photovoltaic Potential Based on Time and Pathway of Solar-Powered Electric Vehicle</p>	<p>Evaluar el potencial de generación eléctrica de un vehículo eléctrico alimentado por energía solar (PV-EV) según la ruta y el tiempo de conducción, considerando diferentes orientaciones e inclinaciones de los módulos fotovoltaicos montados en el techo, ventana trasera y puertas laterales. El estudio también incorpora el efecto de las sombras generadas por edificaciones y topografía en la simulación energética.</p>	<p>La mayor generación se obtuvo en el módulo de techo, seguido por la ventana trasera y las puertas, con eficiencias relativas del 100%, 42% y 27%, respectivamente. Se validó que la inclinación y azimut del terreno, junto con la hora del día y los ángulos de incidencia solar, afectan significativamente la capacidad de captación energética. El estudio propone mejoras en el diseño y ubicación de módulos para maximizar la autonomía de vehículos solares, así como algoritmos predictivos basados en georreferenciación.</p>
<p>Zhe Li, Xiaohong Jiao, Mingjun</p>	<p>Predictive Energy Management</p>	<p>Desarrollar una estrategia de</p>	<p>La estrategia propuesta (PMP-MPC) mejoró la</p>



Zha, Chao Yang, Liuquan Yang (2023)	Strategy for Hybrid Electric Air-Ground Vehicle Considering Battery Thermal Dynamics	gestión energética predictiva basada en control predictivo por modelo (MPC) para vehículos híbridos aire-tierra (HEAGV), considerando las dinámicas térmicas de la batería y las variaciones operativas entre modos de vuelo y terrestre. Se busca optimizar el consumo de combustible y prolongar la vida útil de la batería mediante planificación de trayectorias de carga del estado de carga (SOC).	eficiencia de combustible en 5.14% y 5.2%, y redujo la temperatura de la batería en 5.9% y 4.9% en dos ciclos de conducción. Incluir la dinámica térmica de la batería permitió mantener temperaturas más estables, protegiendo el sistema y mejorando el rendimiento energético. El sistema mostró superioridad frente a métodos basados en reglas (RB), programación dinámica (DP) y estrategias tradicionales.
--	--	--	---

DISCUSIÓN

El análisis de los 18 documentos incluidos en esta revisión sistemática evidencia una coincidencia transversal en que la orografía del terreno es un factor determinante en la eficiencia, autonomía y gestión energética de los vehículos eléctricos (EVs). Esta influencia se expresa tanto en el plano técnico como operativo, y se manifiesta en múltiples dimensiones: desde el aumento del consumo energético en ascensos prolongados, hasta la necesidad de redefinir la ubicación de estaciones de carga y optimizar algoritmos de navegación.

Uno de los hallazgos más consistentes es que la pendiente del terreno impacta directamente en la autonomía de los EVs. Según (Puma-Benavides et al., 2024), los vehículos que operan en ciudades de alta altitud como Riobamba pueden perder hasta un 25% de autonomía, cifra que se corresponde con la conclusión de (Szumska & Jurecki, 2021), quienes reportaron pérdidas del 30% en pendientes superiores al 6%. Este patrón fue también identificado en modelos simulados por (Polymeni et al., 2025) y (Li et al., 2023), que evidenciaron cómo el perfil altitudinal condiciona directamente la eficiencia de la batería, especialmente en vehículos con elevada masa.

El efecto orográfico no se limita a la autonomía. También afecta la planificación de rutas y la toma de decisiones energéticas en tiempo real. (Aboelsoud et al., 2024) propusieron un algoritmo GPS que optimiza la ruta seleccionando trayectos con menor inclinación y mayor aprovechamiento del frenado regenerativo. Este sistema logró una mejora del 20% en la autonomía, resultado que se alinea con el modelo de planificación propuesto por (Perger & Auer, 2020), quienes estimaron una reducción del consumo energético del 18% al evitar tramos con ascenso pronunciado. Estas coincidencias refuerzan la importancia de integrar modelos predictivos basados en topografía como criterio central en los sistemas de gestión de energía.



Asimismo, los modelos matemáticos analizados por Cataldo-Díaz et al. (2023) y (Park et al., 2023) destacan la superioridad de los enfoques no lineales e híbridos frente a los lineales, al momento de predecir el comportamiento energético de los EVs en escenarios complejos. Los modelos híbridos, que incorporan tanto datos topográficos como hábitos de conducción, alcanzaron niveles de precisión de hasta 92–95% (Mediouni et al., 2023), lo que sugiere que la consideración explícita de variables geográficas mejora sustancialmente la gestión anticipada del consumo.

En cuanto a la infraestructura de carga, los estudios de (Razeghi et al., 2024) y (Park et al., 2023) convergen en señalar que la eficiencia de las estaciones de carga especialmente las solares se ve comprometida cuando no se consideran la inclinación, altitud y orientación del terreno. En el caso de estaciones solares, una mala ubicación puede traducirse en pérdidas de hasta 30-40% en la captación energética, lo cual compromete su sostenibilidad operativa en regiones montañosas.

Otro aspecto relevante abordado por (Li et al., 2023) es la necesidad de desarrollar estrategias de gestión energética adaptativas en vehículos híbridos, en los cuales las pendientes provocan un aumento significativo en el esfuerzo del sistema de propulsión, que solo puede ser mitigado con sistemas predictivos que integren variables como altitud, carga útil y comportamiento de trayectorias.

En términos de políticas públicas y decisiones estratégicas, (Prajapati & Desai, 2024) sostienen que la electrificación de flotas en regiones con geografía irregular solo es viable si se dimensionan adecuadamente los requerimientos energéticos y la infraestructura de soporte. Esta conclusión coincide con los análisis de (Salman & Al-Sahili, 2025), que sugiere incorporar mapas topográficos en los algoritmos de diseño de redes de carga, y los resultados de (Szumska & Jurecki, 2021), quienes destacaron el impacto de las pendientes sobre el rendimiento de taxis híbridos compartidos en ciudades con topografía montañosa.

CONCLUSIONES

- La orografía del terreno incide directamente en la eficiencia energética y autonomía de los vehículos eléctricos, siendo la pendiente y la altitud variables determinantes en el incremento del consumo energético. La evidencia recopilada indica que trayectos con pendientes superiores al 6% pueden reducir la autonomía hasta en un 30%, lo cual debe ser considerado en el diseño operativo de rutas y en la planificación de infraestructura.
- Los modelos predictivos que incorporan variables topográficas superan significativamente en precisión a aquellos que no lo hacen, especialmente al integrarse con herramientas de inteligencia artificial y sistemas de navegación. Esta integración permite anticipar escenarios de alto consumo, optimizar la gestión de la batería y mejorar la experiencia del usuario en entornos geográficamente complejos.
- La ubicación estratégica de estaciones de carga debe considerar el relieve y orientación del terreno, ya que estos factores afectan no solo la accesibilidad, sino también la eficiencia energética, en particular en sistemas de carga solar. Ignorar estas variables puede comprometer la funcionalidad y sostenibilidad de la infraestructura de apoyo a la movilidad eléctrica.
- Existe una fuerte convergencia en la literatura científica sobre la necesidad de adaptar las políticas de movilidad eléctrica al contexto geográfico específico, mediante la integración de mapas topográficos digitales, algoritmos de planificación energética y criterios de infraestructura contextualizados. Esta revisión sistemática consolida dicha necesidad y plantea una línea clara de acción para futuras investigaciones aplicadas.



FINANCIAMIENTO

No monetario

CONFLICTO DE INTERÉS

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

AGRADECIMIENTOS

A UNIANDES.

REFERENCIAS

- Aboelsoud, K., Diab, H. Y., Abdelsalam, M., & Hegaze, M. M. (2024). An efficient GPS algorithm for maximizing electric vehicle range. *Applied Sciences (Basel, Switzerland)*, 14(11), 4858. <https://doi.org/10.3390/app14114858>
- Alp, O., Tan, T., & Udenio, M. (2022). Transitioning to sustainable freight transportation by integrating fleet replacement and charging infrastructure decisions. *Omega*, 109(102595), 102595. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2022.102595>
- de Saxe, C., Ainalis, D., Miles, J., Greening, P., Gipton, A., Thorne, C., & Cebon, D. (2023). An electric road system or big batteries: Implications for UK road freight. *Transportation Engineering*, 14(100210), 100210. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2023.100210>
- Izquierdo-Monge, O., Bonilla, A. Z. V., Lafuente-Cacho, M., Peña-Carro, P., & Hernández-Jiménez, Á. (2025). Performance and energy consumption of electric vehicles used in microgrid management: Analysis of the real impact of ambient temperature. *Journal of Power Sources*, 635(236511), 236511. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2025.236511>
- Khasawneh, H. J., Alzubi, M. A. M., Habib, M., & Al-Tarifi, M. A. (2025). Investigation of road topography on energy consumption of battery electric vehicles (BEVs). *2025 15th International Renewable Energy Congress (IREC)*, 1-4.
- Li, Z., Jiao, X., Zha, M., Yang, C., & Yang, L. (2023). Predictive energy management strategy for hybrid electric air-ground vehicle considering battery thermal dynamics. *Applied Sciences (Basel, Switzerland)*, 13(5), 3032. <https://doi.org/10.3390/app13053032>
- Martin, H., Buffat, R., Bucher, D., Hamper, J., & Raubal, M. (2022). Using rooftop photovoltaic generation to cover individual electric vehicle demand—A detailed case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 157(111969), 111969. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111969>
- Mediouni, H., Ezzouhri, A., Charouh, Z., El Harouri, K., El Hani, S., & Ghogho, M. (2022). Energy consumption prediction and analysis for electric vehicles: A hybrid approach. *Energies*, 15(17), 6490. <https://doi.org/10.3390/en15176490>
- Papa, G., Santo Zarnik, M., & Vukašinić, V. (2022). Electric-bus routes in hilly urban areas: Overview and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 165(112555), 112555. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112555>
- Park, C., Park, H., Jeon, H., Choi, K., & Suh, J. (2023). Evaluation and validation of photovoltaic potential based on time and pathway of solar-powered electric vehicle. *Applied Sciences (Basel, Switzerland)*, 13(2), 1025. <https://doi.org/10.3390/app13021025>



- Perger, T., & Auer, H. (2020). Energy efficient route planning for electric vehicles with special consideration of the topography and battery lifetime. *Energy Efficiency*, 13(8), 1705-1726. <https://doi.org/10.1007/s12053-020-09900-5>
- Polymeni, S., Spanos, G., Pitsiavas, V., Lalas, A., Votis, K., & Tzovaras, D. (2025). Analyzing energy consumption in battery electric vehicles: A statistical-based approach. En *Techrxiv*. <https://doi.org/10.36227/techrxiv.174123363.39857764/v1>
- Prajapati, M. L., & Desai, N. A. (2024). Exploring cost effective fleet electrification possibilities for public transit services in Kutch region. *Current World Environment*, 19(1), 220-236. <https://doi.org/10.12944/cwe.19.1.20>
- Puma-Benavides, D. S., Cevallos-Carvajal, A. S., Masaquiza-Yanzapanta, A. G., Quinga-Morales, M. I., Moreno-Pallares, R. R., Usca-Gomez, H. G., & Murillo, F. A. (2024). Comparative analysis of energy consumption between electric vehicles and combustion engine vehicles in high-altitude urban traffic. *World Electric Vehicle Journal*, 15(8), 355. <https://doi.org/10.3390/wevj15080355>
- Rahman Khan, M. M., & Rumon, M. M. H. (2024). Recent progress on the synthesis, morphological topography, and battery applications of polypyrrole-based nanocomposites. *Polymers*, 16(23). <https://doi.org/10.3390/polym16233277>
- Razeghi, M., Roghani Araghi, A., Naseri, A., & Yousefi, H. (2024). Strategic deployment of GIS-optimized solar charging stations for electric vehicles: A multi-criteria decision-making approach. *Energy Conversion and Management: X*, 24(100712), 100712. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2024.100712>
- Salman, S. B., & Al-Sahili, K. (2025). Exploring hybrid vehicle integration in Nablus urban shared-taxis: Cost-benefit and exhaust emissions assessment. *An-Najah University Journal for Research - A (Natural Sciences)*, 39(1), 81-92. <https://doi.org/10.35552/anujr.a.39.1.2317>
- Szabo, I., Scurtu, L. I., Raboca, H., & Mariasiu, F. (2023). Topographical optimization of a battery module case that equips an electric vehicle. *Batteries*, 9(2), 77. <https://doi.org/10.3390/batteries9020077>
- Szumaska, E. M., & Jurecki, R. S. (2021). Parameters influencing on electric vehicle range. *Energies*, 14(16), 4821. <https://doi.org/10.3390/en14164821>
- Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K. K., Colquhoun, H., Levac, D., Moher, D., Peters, M. D. J., Horsley, T., Weeks, L., Hempel, S., Akl, E. A., Chang, C., McGowan, J., Stewart, L., Hartling, L., Aldcroft, A., Wilson, M. G., Garrity, C., ... Straus, S. E. (2018). PRISMA extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and explanation. *Annals of Internal Medicine*, 169(7), 467-473. <https://doi.org/10.7326/M18-0850>