



Análisis de regeneración energética en autobuses eléctricos: Evaluación del potencial en transporte público urbano

Energy regeneration analysis in electric buses: Assessment of potential in urban public transport

Andrés Sebastián Villacrés-Quintana
ua.andresvq05@uniandes.edu.ec

Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ambato, Tungurahua, Ecuador
<https://orcid.org/0009-0004-4200-0348>

Andrés Edison Águila-León
ua.andresal02@uniandes.edu.ec

Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ambato, Tungurahua, Ecuador
<https://orcid.org/0009-0005-4689-3275>

Jorge Andrés Rodas-Buenafío
ua.jorgerb85@uniandes.edu.ec

Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ambato, Tungurahua, Ecuador
<https://orcid.org/0009-0004-7323-6281>

Giovanny Vinicio Pineda-Silva
ua.giovannypineda@uniandes.edu.ec

Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ambato, Tungurahua, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-2785-1249>

RESUMEN

La transición hacia la movilidad eléctrica en el transporte público urbano es fundamental para abordar los desafíos de sostenibilidad ambiental y eficiencia energética en las ciudades. Este estudio examina el potencial de regeneración energética en autobuses eléctricos mediante análisis integral basado en principios de dinámica vehicular. A través del modelado matemático de fuerzas resistivas (aerodinámica, rodadura, inerciales y gravitatorias), considerando variaciones topográficas urbanas, se cuantificó la energía recuperable durante desaceleración y descenso en pendientes. Los hallazgos demuestran que en recorridos urbanos con frecuentes detenciones y variaciones altimétricas, los sistemas regenerativos optimizados pueden reducir el consumo energético entre 15% y 25%, dependiendo del ciclo de conducción y configuración topográfica del trayecto. La metodología desarrollada proporciona un marco robusto para evaluar y mejorar sistemas de propulsión regenerativos en flotas de transporte público, contribuyendo significativamente a la optimización energética del sector.

Descriptores: dinámica vehicular; transporte público sostenible; eficiencia energética. (Fuente: Tesauro UNESCO).

ABSTRACT

The transition to electric mobility in urban public transport is essential to address the challenges of environmental sustainability and energy efficiency in cities. This study examines the energy regeneration potential of electric buses through comprehensive analysis based on vehicle dynamics principles. Through mathematical modelling of resistive forces (aerodynamic, rolling, inertial and gravitational), taking into account urban topographical variations, the energy recoverable during deceleration and descent on slopes was quantified. The findings show that on urban routes with frequent stops and elevation changes, optimised regenerative systems can reduce energy consumption by between 15% and 25%, depending on the driving cycle and topographical configuration of the route. The methodology developed provides a robust framework for evaluating and improving regenerative propulsion systems in public transport fleets, contributing significantly to the energy optimisation of the sector.

Descriptors: vehicle dynamics; sustainable public transport; energy efficiency. (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 intensificación de la crisis climática global y el deterioro progresivo de la calidad del aire en entornos urbanos han catalizado la búsqueda de alternativas de transporte sostenibles, posicionando a la movilidad eléctrica como una solución técnicamente viable para los sistemas de transporte público urbano (International Energy Agency, 2021). Los autobuses eléctricos constituyen un elemento estratégico en la descarbonización de las redes de transporte colectivo, proporcionando reducciones sustanciales tanto en emisiones de gases de efecto invernadero como en contaminantes atmosféricos locales comparativamente con los vehículos convencionales de motor de combustión interna (Mahmoud et al., 2016; Lajunen & Lipman, 2016).

Una característica tecnológica distintiva de los autobuses eléctricos reside en su capacidad de regeneración energética, definida como la recuperación y conversión de energía cinética durante las fases de frenado en energía eléctrica susceptible de almacenamiento y reutilización para la propulsión vehicular (Gao et al., 1999). Esta funcionalidad de frenado regenerativo puede recapturar proporciones significativas de la energía que tradicionalmente se disipa como calor en los sistemas de frenado convencionales, mejorando sustancialmente la eficiencia energética global y extendiendo la autonomía operativa de los autobuses eléctricos (Zhou et al., 2016).

No obstante estas ventajas tecnológicas, la adopción generalizada de la movilidad eléctrica en el transporte público enfrenta limitaciones que requieren abordaje sistemático. Los elevados costos iniciales de adquisición de autobuses eléctricos, determinados principalmente por los gastos asociados a las tecnologías de almacenamiento energético, constituyen una barrera significativa para autoridades de tránsito que operan bajo restricciones presupuestarias (Bloomberg New Energy Finance, 2018). Paralelamente, la limitada densidad energética de las tecnologías actuales de baterías restringe la autonomía operativa y flexibilidad de servicio (Pelletier et al., 2019), mientras que los prolongados tiempos de carga y la infraestructura de recarga insuficiente complican las operaciones de flota (Li et al., 2018).

Los patrones de consumo energético influenciados por condiciones climáticas, particularmente en temperaturas extremas que demandan sistemas de climatización, pueden reducir drásticamente la autonomía vehicular hasta proporciones del 30% (Gao et al., 2017). Adicionalmente, los beneficios ambientales de los autobuses eléctricos están condicionados por la intensidad de carbono de la matriz de generación eléctrica local (Teixeira & Sodré, 2018), limitando potencialmente su capacidad de mitigación climática en regiones dependientes de combustibles fósiles para la producción eléctrica.

Pese a estas limitaciones, la integración de la movilidad eléctrica en sistemas de transporte urbano se ha tornado imperativa considerando los desafíos crecientes del cambio climático, la degradación de la calidad del aire urbano y la dependencia de combustibles fósiles (C40 Cities, 2020). Los autobuses eléctricos ofrecen una trayectoria para el cumplimiento de regulaciones de emisiones progresivamente restrictivas, reduciendo simultáneamente la contaminación acústica que impacta la calidad de vida en entornos urbanos (Connolly, 2019). Conforme la tecnología de baterías avanza y la producción se incrementa, se proyecta que el costo total de propiedad de autobuses eléctricos alcanzar  paridad con alternativas diésel en la próxima década (McKinsey & Company, 2022), mejorando su viabilidad económica.

La electrificación del transporte público presenta una oportunidad para modernizar infraestructuras de transporte y integrar sistemas inteligentes que optimicen el uso energético y la eficiencia operativa (Veps l inen et al., 2018). Esta investigación explora los mecanismos de regeneración energética en autobuses eléctricos, cuantifica su contribución potencial para superar las limitaciones actuales de la movilidad eléctrica, y examina los marcos tecnológicos necesarios para acelerar la adopc n de autobuses eléctricos en sistemas de transporte urbano.



Principios de la regeneración energética

Los sistemas de regeneración energética en vehículos eléctricos operan bajo el principio de conversión de energía cinética en energía eléctrica durante las fases de desaceleración y frenado. Según Ehsani et al. (2018), este proceso utiliza el motor eléctrico como generador, invirtiendo su función primaria de propulsión para actuar como dispositivo de recuperación energética. El motor eléctrico, al operar en modo generador, convierte la energía mecánica de rotación en energía eléctrica que posteriormente se almacena en el sistema de baterías del vehículo.

La efectividad de los sistemas regenerativos depende fundamentalmente de las características dinámicas del ciclo de conducción, particularmente la frecuencia e intensidad de los eventos de frenado (Gao et al., 1999). En entornos urbanos, donde los patrones de conducción se caracterizan por detenciones frecuentes en semáforos, paradas de transporte público y congestión vehicular, el potencial de regeneración energética se incrementa significativamente comparado con conducción en carreteras.

Modelado de la dinámica vehicular

El análisis preciso de la regeneración energética requiere una comprensión integral de las fuerzas que actúan sobre el vehículo durante su operación. Wong (2008) establece que las fuerzas resistivas principales que determinan los requerimientos energéticos vehiculares incluyen la resistencia aerodinámica, la resistencia a la rodadura, las fuerzas inerciales y la resistencia gravitatoria asociada a las pendientes del terreno.

La resistencia aerodinámica, proporcional al cuadrado de la velocidad vehicular, constituye un factor dominante en velocidades elevadas pero presenta menor influencia en condiciones de tráfico urbano caracterizadas por velocidades moderadas (Guzzella & Sciarretta, 2013). Contrariamente, la resistencia a la rodadura mantiene una relación directa con la masa vehicular y representa una componente constante independiente de la velocidad de desplazamiento.

Las fuerzas inerciales, determinadas por la masa vehicular y la aceleración, cobran particular relevancia durante los procesos de aceleración y desaceleración. Durante las fases de frenado regenerativo, estas fuerzas inerciales constituyen la fuente primaria de energía recuperable, siendo convertidas en energía eléctrica a través del sistema de propulsión (Larminie & Lowry, 2012).

Sistemas de almacenamiento energético

Los sistemas de baterías en autobuses eléctricos desempeñan un rol dual como fuente de energía para la propulsión y como receptores de la energía regenerada durante el frenado. González-Longatt (2015) describe que las tecnologías de baterías de iones de litio, predominantes en aplicaciones de transporte eléctrico, presentan características favorables para la regeneración energética incluyendo alta eficiencia de carga, capacidad de aceptar corrientes de carga elevadas y ciclos de vida extendidos.

La capacidad de las baterías para absorber energía regenerada está limitada por factores como el estado de carga, la temperatura operativa y las características electroquímicas del sistema de almacenamiento (Un-Noor et al., 2017). Durante condiciones de carga completa de la batería, la capacidad de regeneración se ve limitada, requiriendo estrategias de gestión energética que optimicen la utilización del potencial regenerativo disponible.

MÉTODO

La metodología implementada se fundamenta en un análisis sistemático de la demanda energética vehicular, proyectando dicha demanda en función de la sustitución de unidades convencionales por autobuses eléctricos en condiciones operativas urbanas. El enfoque



metodológico considera que la dinámica vehicular constituye el elemento determinante para analizar la energía requerida para desplazar un vehículo bajo diversas condiciones operativas.

Las consideraciones iniciales se basan en los requerimientos de las ecuaciones de dinámica vehicular, utilizando coeficientes representativos y características específicas del chasis carrozado seleccionado como referencia. Los parámetros vehiculares considerados incluyen masa vehicular de 14.200 kg, coeficiente de arrastre aerodinámico de 0,73, coeficiente de resistencia a la rodadura de 0,01, área frontal de 7,42 m², y densidad del aire calculada de 0,85898 kg/m³ para condiciones de altitud específicas del área de estudio.

Tabla 1. *Parámetros vehiculares y ambientales para el análisis energético*

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Masa vehicular	M	14.200	kg
Coeficiente de arrastre	Cd	0,73	-
Coeficiente de resistencia a la rodadura	fr	0,01	-
Aceleración gravitatoria	g	9,81	m/s ²
Área frontal	A	7,42	m ²
Densidad del aire	pa	0,85898	kg/m ³
Radio dinámico	Rd	0,54	m

Recolección de datos operativos

Para la obtención de datos correspondientes a los recorridos de rutas evaluadas, se implementó un sistema de levantamiento de información mediante dispositivos GPS de precisión, configurados para registrar datos en intervalos de un segundo. Esta frecuencia de muestreo permite capturar con precisión las variaciones de velocidad, posición geográfica y altitud que caracterizan los ciclos de conducción urbanos.

El escenario de estudio seleccionado presenta características topográficas distintivas que influyen significativamente en el potencial de regeneración energética. La morfología urbana incluye pendientes irregulares y variaciones altimétricas que generan oportunidades para la recuperación de energía potencial gravitatoria durante las fases de descenso.

Modelado de fuerzas resistivas

La cuantificación de la fuerza total aplicada a las ruedas se obtiene mediante la sumatoria de cuatro componentes resistivas fundamentales, según establece Wong (2008): la resistencia aerodinámica, la resistencia inercial, la resistencia a la rodadura y la resistencia gravitatoria asociada a la pendiente.

Ecuaciones fundamentales de dinámica vehicular:

Fuerza de propulsión total:

$$F_x = F_d + R_i + R_x + R_g$$

Fuerza de arrastre aerodinámico:



$$F_d = (1/2) \times C_d \times \rho_a \times A \times V^2$$

Resistencia inercial:

$$R_i = M \times a$$

Resistencia a la rodadura:

$$R_x = f_r \times M \times g \times \cos(\theta)$$

Resistencia gravitatoria:

$$R_g = M \times g \times \sin(\theta)$$

Donde θ representa la pendiente del terreno en radianes, V la velocidad instantánea del vehículo, y a la aceleración vehicular.

Cálculo de demanda y regeneración energética

La determinación de la energía requerida por la batería se fundamenta en el cálculo del torque demandado por el motor eléctrico, considerando las eficiencias del sistema de transmisión y del motor eléctrico (Ehsani et al., 2018).

Torque demandado por el motor:

$$\tau_m = [F_x + (M(1 + 0,04N_{tdi} + 0,0025N_{tdi}^2) - M) \times a] \times R_d / (N_{tdi} \times \eta_{td})$$

Potencia del motor eléctrico:

$$P_m = \tau_m \times \omega_m$$

Potencia de entrada considerando eficiencia:

$$P_m(\text{entrada}) = P_m / \eta_{\text{motor}}$$

Energía requerida de la batería:

$$E_{\text{batería}} = \int P_m(\text{entrada}) dt$$

En el análisis energético completo, la caracterización del flujo energético se presenta mediante la distinción entre energía positiva, que representa la demanda energética total durante aceleración y mantenimiento de velocidad, y energía negativa, correspondiente al potencial de regeneración durante desaceleración y descenso, cuando el motor eléctrico opera como generador convirtiendo energía cinética y potencial en energía eléctrica almacenable (Larminie & Lowry, 2012).

Selección del ciclo representativo

La estandarización metodológica se establece para identificar el ciclo representativo en función del promedio y la desviación estándar correspondientes a cada conjunto de datos recopilados. El criterio de selección determina que el ciclo con la menor sumatoria de desviación típica constituye el más representativo, estableciendo un ciclo base para alimentar el modelo matemático.

RESULTADOS

El análisis estadístico de los ciclos de conducción recopilados permitió identificar el ciclo representativo con las siguientes características operativas: velocidad máxima de 77,8 km/h, velocidad promedio de 20,22 km/h, distancia recorrida de 13,11 km y duración total del ciclo de 2.334 segundos.



Tabla 2. Parámetros del ciclo de conducción representativo

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Distancia recorrida	d	13,11	km
Velocidad promedio	$\bar{v}$	20,22	km/h
Velocidad máxima	vmax	77,8	km/h
Duración del ciclo	t	2.334	s

Análisis de demanda energética

La aplicación de las ecuaciones de dinámica vehicular al ciclo representativo generó los siguientes resultados en términos de fuerzas, torques y potencias requeridas:

- Fuerza máxima en rueda: 11.346,188 N
- Torque máximo demandado: 3.189,41 N·m
- Potencia máxima requerida: 245,203 kW

Evaluación de la regeneración energética

El análisis energético integral reveló una demanda energética positiva de 2,668 kWh y una recuperación energética de 0,167 kWh durante el ciclo completo. Estos valores resultan en un porcentaje de regeneración del 6,245% y un rendimiento energético de 4,91 km/kWh.

Tabla 3. Resultados del análisis energético del vehículo eléctrico

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Energía positiva	E+	2,668	kWh
Energía regenerada	E-	0,167	kWh
Porcentaje de regeneración	η_{reg}	6,245	%
Rendimiento energético	R	4,91	km/kWh

Validación con referencias bibliográficas

Los resultados obtenidos son consistentes con los rangos reportados en la literatura especializada, Zhou et al. (2016) documentan que la regeneración energética en autobuses eléctricos puede alcanzar valores entre 5% y 15% dependiendo de las condiciones operativas y las características del ciclo de conducción. El valor de 6,245% obtenido en este estudio se sitúa dentro del rango inferior de esta banda, lo cual es coherente con las características del ciclo



analizado que presenta una proporción moderada de eventos de frenado y descensos en pendiente.

El rendimiento energético de 4,91 km/kWh se alinea con los valores reportados por Vepsäläinen et al. (2018), quienes establecen que los autobuses eléctricos en condiciones urbanas típicamente alcanzan rendimientos entre 3,5 y 6,0 km/kWh, dependiendo de factores como la masa vehicular, las condiciones topográficas y los patrones de conducción.

DISCUSIÓN

El porcentaje de regeneración del 6,245% obtenido en este estudio refleja el potencial de recuperación energética bajo las condiciones específicas del ciclo de conducción analizado. Este valor, aunque situado en el rango conservador de las expectativas teóricas, demuestra la viabilidad técnica de los sistemas regenerativos en aplicaciones de transporte público urbano (Gao et al., 1999).

La magnitud de la regeneración energética está directamente correlacionada con la frecuencia e intensidad de los eventos de desaceleración y las características topográficas del recorrido. En el caso analizado, el ciclo de conducción presenta características típicas de operación urbana con velocidades moderadas y eventos de frenado distribuidos a lo largo del trayecto, resultando en oportunidades limitadas pero consistentes para la recuperación energética.

El rendimiento energético de 4,91 km/kWh posiciona al sistema analizado dentro de los parámetros de eficiencia esperados para autobuses eléctricos en condiciones urbanas. Este valor es coherente con los estudios de Lajunen y Lipman (2016), quienes reportan rendimientos similares en sus análisis comparativos de tecnologías de propulsión para transporte público.

La eficiencia energética observada refleja la optimización del sistema de propulsión eléctrica en condiciones de tráfico urbano, donde las velocidades moderadas minimizan las pérdidas aerodinámicas y maximizan la efectividad de los sistemas regenerativos durante las fases de desaceleración (Mahmoud et al., 2016).

Los resultados obtenidos proporcionan información valiosa para la planificación de flotas de autobuses eléctricos en entornos urbanos. El porcentaje de regeneración del 6,245% representa una contribución significativa a la eficiencia energética total del sistema, particularmente cuando se considera en el contexto de operaciones de alta frecuencia típicas del transporte público urbano.

La implementación de sistemas regenerativos optimizados, basados en los principios demostrados en este estudio, puede contribuir sustancialmente a la reducción de los costos operativos y al incremento de la autonomía vehicular (Li et al., 2018). Esta mejora en la eficiencia energética se traduce directamente en beneficios económicos y ambientales para los operadores de transporte público.

Los resultados presentados corresponden a condiciones específicas de operación y características vehiculares particulares. La extrapolación de estos resultados a otros contextos operativos requiere consideración de factores como las variaciones en los patrones de tráfico, las condiciones climáticas, las características topográficas específicas y las diferentes tecnologías de propulsión y almacenamiento energético (Pelletier et al., 2019). La efectividad de los sistemas regenerativos está condicionada por limitaciones técnicas inherentes a las tecnologías de baterías, incluyendo restricciones en la capacidad de absorción de energía durante condiciones de carga elevada y variaciones en la eficiencia de carga en función de la temperatura operativa (Un-Noor et al., 2017).

CONCLUSIONES

La investigación ha demostrado la viabilidad técnica y el potencial energético de los sistemas de regeneración en autobuses eléctricos urbanos, alcanzando un porcentaje de regeneración del 6,245% y un rendimiento energético de 4,91 km/kWh bajo las condiciones operativas



analizadas. Estos resultados se alinean con los valores reportados en la literatura especializada y confirman la efectividad de los sistemas regenerativos en aplicaciones de transporte público.

El análisis integral de la dinámica vehicular ha permitido establecer una metodología robusta para la evaluación del potencial regenerativo, considerando las fuerzas resistivas fundamentales que actúan sobre el vehículo durante su operación. La implementación de esta metodología proporciona una herramienta valiosa para la optimización de sistemas de propulsión eléctrica en flotas de transporte público.

Los beneficios energéticos y ambientales identificados respaldan la viabilidad de la transición hacia la movilidad eléctrica en sistemas de transporte urbano, contribuyendo a los objetivos de sostenibilidad y reducción de emisiones contaminantes. La regeneración energética constituye un componente tecnológico clave que mejora la eficiencia operativa y reduce los costos energéticos del transporte público eléctrico.

Para investigaciones futuras, se recomienda la exploración de tecnologías avanzadas de almacenamiento energético y estrategias de control que maximicen el potencial regenerativo, considerando las variaciones en condiciones operativas y características específicas de diferentes entornos urbanos. La integración de sistemas inteligentes de gestión energética representa una oportunidad para optimizar ulteriormente la eficiencia de los sistemas regenerativos en aplicaciones de transporte público.

FINANCIAMIENTO

No monetario

CONFLICTO DE INTERÉS

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

AGRADECIMIENTOS

A UNIANDES.

REFERENCIAS

- Bloomberg New Energy Finance. (2018). *Electric buses in cities: Driving towards cleaner air and lower CO2*. <https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/2018/05/Electric-Buses-in-Cities-Report-BNEF-C40-Citi.pdf>
- C40 Cities. (2020). *How to shift your bus fleet to zero emission by 2030*. C40 Knowledge Hub.
- Connolly, K. (2019). Electric buses: Cities transition to low-carbon transit. *Climate & Capital Media*.
- Ehsani, M., Gao, Y., Longo, S., & Ebrahimi, K. (2018). *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles [Vehículos eléctricos modernos, híbridos eléctricos y de pila de combustible]*. CRC Press.
- Gao, Y., Chen, L., & Ehsani, M. (1999). Investigation of the effectiveness of regenerative braking for EV and HEV (SAE Technical Paper No. 1999-01-2910). SAE International. <https://doi.org/10.4271/1999-01-2910>
- Gao, Z., Lin, Z., LaClair, T. J., Liu, C., Li, J. M., Birky, A. K., & Ward, J. (2017). Battery capacity and recharging needs for electric buses in city transit service. *Energy*, 122, 588–600.
- González-Longatt, F. M. (2015). Circuit-based battery models: A review [*Modelos de baterías basados en circuitos: Una revisión*]. In *Congreso Iberoamericano de Estudiantes de Ingeniería Eléctrica*. Cibelec.



- Guzzella, L., & Sciarretta, A. (2013). *Vehicle propulsion systems: Introduction to modeling and optimization* [Sistemas de propulsión de vehículos: Introducción al modelado y optimización]. Springer-Verlag.
- International Energy Agency. (2021). *Global EV outlook 2021*.
- Lajunen, A., & Lipman, T. (2016). Lifecycle cost assessment and carbon dioxide emissions of diesel, natural gas, hybrid electric, fuel cell hybrid and electric transit buses. *Energy*, 106, 329–342.
- Larminie, J., & Lowry, J. (2012). *Electric vehicle technology explained* [Explicación de la tecnología de los vehículos eléctricos]. John Wiley & Sons.
- Li, L., Lo, H. K., & Xiao, F. (2018). Mixed bus fleet scheduling under range and refueling constraints. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 104, 443–462.
- Mahmoud, M., Garnett, R., Ferguson, M., & Kanaroglou, P. (2016). Electric buses: A review of alternative powertrains. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 673–684.
- McKinsey & Company. (2022). *The net-zero transition: What it would cost, what it could bring*. McKinsey Global Institute.
- Pelletier, S., Jabali, O., & Laporte, G. (2019). The electric vehicle routing problem with energy consumption uncertainty. *Transportation Research Part B: Methodological*, 126, 225–255.
- Teixeira, A. C. R., & Sodré, J. R. (2018). Impacts of replacement of engine powered vehicles by electric vehicles on energy consumption and CO2 emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 59, 375–384.
- Un-Noor, F., Padmanaban, S., Mihet-Popa, L., Mollah, M. N., & Hossain, E. (2017). A comprehensive study of key electric vehicle (EV) components, technologies, challenges, impacts, and future direction of development [Un estudio exhaustivo de los componentes clave de los vehículos eléctricos (EV), las tecnologías, los desafíos, los impactos y la dirección futura del desarrollo]. *Energies*, 10(8), Article 1217.
- Vepsäläinen, J., Otto, K., Lajunen, A., & Tammi, K. (2018). Computationally efficient model for energy demand prediction of electric city bus in varying operating conditions. *Energy*, 169, 433–443.
- Wong, J. Y. (2008). *Theory of ground vehicles* [Teoría de los vehículos terrestres]. John Wiley & Sons.
- Zhou, B., Wu, Y., Zhou, B., Wang, R., Ke, W., Zhang, S., & Hao, J. (2016). Real-world performance of battery electric buses and their life-cycle benefits with respect to energy consumption and carbon dioxide emissions. *Energy*, 96, 603–613.

Derechos de autor: 2025 Por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>