

**Artículo de Revisión**<https://doi.org/10.61767/mjte.005.1.3855>

Cepeda-Gómez et al., 2026

Recibido: 17-11-2025

Revisado: 20-03-2026

Aceptado: 28-03-2026

Publicado: 30-04-2026

# Estado del arte sobre la eficiencia energética en los robots móviles para la optimización de su funcionamiento

## State of art on energy efficiency in mobile robots for the optimization of their operation

Óscar Mauricio Cepeda-Gómez<sup>1,\*</sup>, Alfredo Toriz-Palacios<sup>2</sup> y Luis Rosales-Roldan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ingeniería en Sistemas Computacionales, Universidad Autónoma de Tamaulipas, E. Cárdenas González No. 1201 Pte, Colonia Jardín, C.P. 89840, Cd. Mante, Tamaulipas, México.

<sup>2</sup> Ingeniería en Mecatronica, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, C. 17-A Sur 901, Barrio de Santiago, C.P. 72410, Puebla, México.

\*Correspondencia: [omcg\\_12@hotmail.com](mailto:omcg_12@hotmail.com)

### Resumen

La tecnología de robots ha experimentado un notable avance en los últimos años, particularmente en robots autónomos. Estos robots tienen formas de aprender y tomar sus propias decisiones y con estas características están cambiando a la sociedad al hacer tareas que son de difícil o tediosa ejecución humana. Sin embargo, aunado a las ventajas que ofrecen, los robots móviles tienen el desafío del limitado tiempo de duración de su batería. Esto empeora en los robots con ruedas, ya que una carga baja no les permite terminar su trabajo de manera eficiente y por sí mismos, limitando sus acciones al mismo tiempo que aumentan los costos de su uso. En este caso, la investigación y desarrollo de técnicas avanzadas de control energético es clave. Resulta de fundamental importancia eficientizar el trabajo y optimizar el uso de energía con la que operan los robots móviles. Este artículo revisa algunos de los más recientes y significativos desarrollos en este campo. Como resultado, subraya las innovaciones en plataformas robóticas, así como los problemas energéticos que enfrentan. También se presentan las soluciones propuestas para mejorar la eficiencia y autonomía. En otras palabras, después de realizar un estudio a fondo de la literatura científica, se proporcionan las estrategias actuales y futuras para optimizar el uso de la energía en los robots móviles para maximizar sus posibles aplicaciones.

**Palabras clave:** Robots móviles, eficiencia energética, batería, energía.



## Artículo de Revisión

Cepeda-Gómez et al., 2026

### Abstract

Robotics technology has experienced remarkable advancements in recent years, particularly in autonomous robots. These robots can learn and make their own decisions, and with these characteristics, they are changing society by performing tasks that are difficult or tedious for humans. However, in addition to the advantages they offer, mobile robots face the challenge of limited battery life. This is worse for wheeled robots, as a low charge prevents them from completing their work efficiently and independently, limiting their actions while simultaneously increasing operating costs. In this case, research and development of advanced energy management techniques is key. It is of fundamental importance to improve the efficiency and optimize the energy use of mobile robots. This article reviews some of the most recent and significant developments in this field. As a result, it highlights innovations in robotic platforms, as well as the energy challenges they face. It also presents proposed solutions to improve efficiency and autonomy. In other words, after conducting a thorough review of the scientific literature, current and future strategies are provided for optimizing energy use in mobile robots to maximize their potential applications.

**Keywords:** Mobile robots, energy efficiency, battery, energy.

### 1. Introducción

En este siglo ha sido cada vez más común el uso de robots destinados a realizar tareas humanas de manera más rápida, eficiente y a menores costos, lo que ha traído un cambio en la sociedad ante la existencia de estos artefactos que incluso son capaces de aprender por sí mismos. Estos robots pueden ejecutar trabajos muy difíciles y pueden cambiar de manera relativamente rápida a un nuevo lugar, lo cual no solo mejora el trabajo, sino que al mismo tiempo está cambiando la interacción humana con el mundo trayendo nuevas oportunidades para el futuro (Guarnizo et al., 2024).

Sin embargo, aunado a las ventajas que representa el uso de robots móviles, esto tienen el reto de operar con condiciones de baja duración de la batería. Este problema empeora en los robots móviles con ruedas, porque una carga útil baja no les permite terminar sus tareas de acuerdo con el objetivo planteado y de manera autónoma, lo que deja inconclusas sus acciones mientras incrementan los gastos de su operación (Wu et al., 2023).

Mejorar el rendimiento energético contribuirá a que estos robots logren su mejor funcionamiento en cada acción. En este sentido, la investigación y el avance de nuevas tecnologías para gestionar de manera eficiente la energía son clave para mejorar el tiempo y rendimiento de los robots móviles. A partir de esto, en este artículo de revisión se aborda la literatura donde se identifican algunos de los últimos y claves avances en este campo. También, se sistematizan los aportes de investigaciones ya realizadas para mejorar el uso de energía y lograr mayor autonomía de los robots móviles. En otras palabras, después de hacer un estudio de la literatura científica, se muestran los métodos actuales y por venir para mejorar el uso de energía en los robots móviles y aprovechar al máximo sus posibles usos. La búsqueda fue realizada en Google Scholar, Scielo, IEEE Xplore y Redalyc con la palabra clave más importante que era robótica móvil junto con las palabras uso de energía, eficiencia y reciclaje con energía sostenible. Se consideraron cuatro bases de datos, con el objetivo de encontrar los trabajos más significativos en cada campo sin perder aportaciones valiosas que no estuvieran registradas en alguna de las bases de datos, así como para ganar confiabilidad en los resultados



## Artículo de Revisión

Cepeda-Gómez et al., 2026

hallados en común. En la búsqueda se tomaron en cuenta artículos, libros y tesis publicadas al respecto. En cuanto a la distribución de artículos encontrados por tema, el que mayor número de artículos registró fue el de frenado regenerativo como 7 artículos y 3 referidos para cada uno de los otros temas.

El trabajo considera la relación entre desempeño operativo y consumo de energía, ya que un comportamiento más eficiente del robot no solo mejora la precisión o el tiempo de ejecución de las tareas, sino que también contribuye a un uso más racional de la batería. Esta optimización resulta especialmente relevante en robots móviles, donde la autonomía está fuertemente condicionada por la gestión energética Wu et. al. (2023). Por tanto, las aportaciones del estudio en términos de uso de energías renovables, optimización energética, navegación autónoma y frenado regenerativo de energía inciden de forma clara en la reducción del consumo energético y en la mejora de la autonomía, lo que justifica su inclusión dentro del análisis del estado del arte sobre eficiencia energética en robots móviles.

El estado del arte en la robótica móvil se enfoca en superar el desafío del uso de energía al investigar y desarrollar tecnologías avanzadas para la gestión de la misma. A continuación, se agrupan los estudios en los principales temas identificados.

### 2. Uso de energías renovables en robótica móvil

Desde hace algunas décadas se ha incrementado el uso de energía renovable que tiene aplicaciones cada vez más complejas y su uso en robots no es la excepción con el fin de su automatización para ahorrar tiempo, aumentar la productividad y optimizar el rendimiento. La energía renovable es inagotable y se recicla constantemente. Las fuentes de energía renovable incluyen la luz solar, el agua, el viento, calor geotérmico y varios tipos de biomásas. Perino et.al. (2021) en su artículo “Energías renovables y sustentabilidad: una eficiente forma

de gestionar los recursos naturales” abordan la crisis socioecológica actual ocasionada por el cambio climático, y centran su análisis en la promoción de alternativas para enfrentarla. Asimismo, resaltan el papel de la ética ambiental, campo del saber que focaliza sus reflexiones en la relación del hombre con el medioambiente. De igual manera, los autores demandan un punto de equilibrio entre la ciencia, el desarrollo tecnológico y el rol de las energías renovables para alcanzar una biosfera sostenible. Es importante considerar que este paradigma emergente instala la necesidad de reconocer los derechos intrínsecos de la esfera de la vida y vislumbra la conjunción indisoluble: energías renovables-sostenibilidad como un objetivo válido para el bienestar del medioambiente.

Por su parte, Dmitriev et.al. (2023) en su “Análisis comparativo del suministro eficiente de energía de microrobots basados en materiales de cambio de fase de grafeno” analizan sistemas de suministro de energía eficientes para microrobots de inspección diseñados para inspeccionar y reparar daños, y reemplazar a los humanos en la realización de tareas difíciles o peligrosas. El análisis basado en métodos modernos de estimación y cálculo de la eficiencia de los sistemas de energía, muestra que varias fuentes de energía para microrobots pueden incluir supercondensadores, baterías y otras arquitecturas de energía. Los sistemas de almacenamiento de energía más eficientes utilizan materiales que convierten calor en electricidad usando la radiación infrarroja de fuentes térmicas o de cambio de fase para la conversión de energía. Se demuestra que los basados en grafeno pueden ser dispositivos eficientes para el almacenamiento de energía termosolar para microrobots. La incorporación de nanopartículas de grafeno puede actuar como llaves térmicas para impulsar la locomoción de microrobots en superficies. En la robótica de enjambre, esto abre nuevas oportunidades para suministrar energía a múltiples microrobots utilizados en diversas aplicaciones.



## Artículo de Revisión

Cepeda-Gómez et al., 2026

Por su parte, Huayanay, J. L. (2024) en su “Seguimiento de trayectoria en robótica móvil con alimentación de energía solar” aplicó e implementó el seguimiento de trayectoria en robótica móvil con alimentación de energía solar para modelar, simular, probar y monitorear el dispositivo. Este trabajo comprende este trabajo el uso de sensores, hardware y software informático, así como el uso de micro controladores para fines de automatización. El autor presenta la dinámica de la planta tipo servo lineal, el sistema basado en métodos de control que debe ser estable y proporcionar una extensión que permita integradores únicos. Realizó modelados matemáticos del servomecanismo, estudios y análisis en tiempo continuo y discreto, además de la implementación del control y utiliza el microcontrolador Arduino para obtener resultados experimentales. Para la alimentación del robot móvil el autor considera necesario el uso de la energía proveniente de la radiación solar para convertirla en energía eléctrica mediante el flujo de electrones incidentes en los semiconductores que generalmente son de silicio, un material muy utilizado en electrónica.

Así, se ve que los robots y la automatización han presentado una gran oportunidad para obtener el máximo provecho de las fuentes de energía renovable. La automatización ofrece medios más rápidos y eficientes para la implementación de tareas difíciles para el ser humano que ya están haciendo los robots, ahorrando tiempo y coste de mano de obra y producción. En este sentido, un aumento en la incorporación de robots que usen energía renovable podría conducir al completo abandono de las otras fuentes de energía menos eficientes y duraderas.

La Tabla 1 presenta una síntesis comparativa de los principales enfoques identificados en la literatura en función de la fuente de energía empleada en robots móviles, lo cual permite comprender cómo la elección energética condiciona la autonomía, el desempeño y la viabilidad operativa de estas plataformas. El análisis muestra una clara tendencia hacia la incorporación de fuentes alternativas y complementarias a las baterías convencionales, motivada por la necesidad de reducir el impacto ambiental y extender el tiempo de operación autónoma.

**Tabla 1.** Comparación de enfoques basados en la fuente de energía.

| Fuente de energía            | Aplicación robótica                       | Ventajas  | Limitaciones                           | Referencia               |
|------------------------------|---|---|--|--------------------------|
| Energías renovables          | Robots móviles en contextos sostenibles   | Sostenibilidad y reducción de impacto ambiental | Dependencia de condiciones ambientales | de Perino et al., 2021   |
| Energía solar                | Robot móvil de seguimiento de trayectoria | Autonomía extendida y bajo costo operativo      | Baja densidad energética               | Huayanay, 2024           |
| Materiales de cambio de fase | Microrobots                               | Alta eficiencia de almacenamiento               | de Complejidad de integración          | de Dmitriev et al., 2023 |

Los trabajos basados en energías renovables, como el de Perino et al., se enfocan en una visión macro del problema energético, donde la robótica móvil se inserta dentro de un paradigma de sostenibilidad y gestión responsable de recursos. Este enfoque resulta particularmente relevante para aplicaciones de largo plazo o en entornos donde el acceso a infraestructura eléctrica es limitado. No obstante, la principal

limitación identificada radica en la dependencia directa de las condiciones ambientales, lo que introduce variabilidad e incertidumbre en la disponibilidad energética y dificulta su implementación en escenarios industriales altamente controlados.

El uso específico de energía solar, analizado por Huayanay, representa una aproximación más



## Artículo de Revisión

Cepeda-Gómez et al., 2026

aplicada y experimental, orientada a robots móviles de seguimiento de trayectoria. Este enfoque demuestra que es posible extender la autonomía operativa y reducir costos energéticos mediante la integración de paneles solares. Sin embargo, el análisis comparativo evidencia que la baja densidad energética de esta fuente restringe su uso a robots de baja potencia o a esquemas híbridos, donde la energía solar actúa como apoyo y no como fuente principal.

Por otro lado, la propuesta de Dmitriev et al. basada en materiales de cambio de fase y grafeno introduce una línea emergente de investigación con alto potencial tecnológico. Su principal aportación radica en la alta eficiencia de almacenamiento y en la posibilidad de miniaturización, lo cual resulta especialmente atractivo para microrobots. A pesar de ello, la complejidad de integración y los retos de fabricación limitan su adopción inmediata en sistemas robóticos comerciales. En conjunto, la tabla evidencia que no existe una fuente de energía universalmente óptima, sino soluciones específicas condicionadas por la escala, el entorno y la aplicación del robot móvil.

### 3. Optimización energética en robótica móvil

El estado del arte en la robótica móvil también se ha enfocado en superar el desafío del uso de energía al investigar y desarrollar tecnologías avanzadas para la gestión de la misma. Optimizar el consumo energético de los robots de ruedas es importante no solo para reducir los costes operativos, sino también para disminuir el impacto ambiental de sus procesos. Al mismo tiempo, contribuye a reducir su impacto ambiental y mejorar la productividad en sus procesos.

Soori et.al. (2023) publican un artículo titulado "Optimización del consumo de energía en robots industriales: una revisión" en el que señalan que la optimización del consumo energético en robots industriales puede reducir los costes operativos, mejorar el rendimiento y aumentar la vida útil del

robot durante la fabricación de piezas. Esto se logra mediante la elección de componentes energéticamente eficientes, como motores, accionamientos y controladores, ya que los motores sobredimensionados y los brazos robóticos pesados pueden desperdiciar energía y disminuir la eficiencia del robot. Al optimizar los programas del robot y reducir el tiempo de inactividad, se puede minimizar el consumo energético, además de potenciar el uso de motores y accionamientos eficientes que también reducen el consumo.

Agregan que la implementación de sistemas de gestión energética permite monitorizar y analizar el consumo energético del robot para optimizarlo durante el funcionamiento, además de que para minimizar la pérdida de energía y reutilizarla, se puede emplear el frenado regenerativo. El proceso de fabricación de piezas se puede optimizar para minimizar los movimientos del robot y su consumo energético durante el funcionamiento. Para analizar y optimizar el consumo de energía en los programas de trabajo de los robots industriales, en su revisión literaria los autores revisan diferentes metodologías de artículos publicados en los que se discute la selección adecuada del robot, el motor del robot energéticamente eficiente y los brazos del robot de bajo peso, la programación eficiente de los programas de trabajo, el sistema de frenado regenerativo, el mantenimiento regular de los elementos del robot y el proceso optimizado de producción de piezas con respecto a la minimización del uso de energía para optimizar el consumo de energía en los robots industriales. Como resultado los autores señalan que, se pueden presentar trabajos de investigación futuros en el campo de investigación para la optimización energética, la reducción de costos operativos y el aumento de la sostenibilidad de las operaciones de los robots industriales en términos de mejora de la productividad de la fabricación de piezas.

Guarnizo et.al. (2024), en su trabajo titulado "Una revisión sobre la evolución de la robótica móvil" argumentan que la robótica móvil ha mantenido



## Artículo de Revisión

Cepeda-Gómez et al., 2026

un constante avance en el último siglo, obteniendo importantes resultados que van desde simples autómatas inspirados en la vida, hasta el desarrollo cada vez más creciente en el campo de los vehículos autónomos, pasando por exploración espacial, así como una clara tendencia en el aumento de aplicaciones industriales, gracias a la mejora en el desarrollo de procesadores, sensores tales como cámaras y el aumento en la eficiencia de las baterías aplicadas en estos artefactos. En su estudio, los autores realizan una revisión sobre la evolución de la robótica móvil desde una perspectiva histórica, partiendo desde sus orígenes hasta aplicaciones recientes en el campo de la industria y la salud, presentando una perspectiva de cómo los robots móviles se hacen cada vez más presentes en distintas aplicaciones.

Teso et.al. (2025) en su artículo titulado "Optimización energética en robots agrícolas con sistemas predictivos y Ventana Dinámica" introducen un nuevo Enfoque de Ventana Dinámica Predictiva (P-DWA), donde el algoritmo no solo anticipa la trayectoria óptima de un robot móvil en términos de tiempo, sino que también evalúa el consumo energético del movimiento. El P-DWA predice nueve posibles destinos, evalúa su rendimiento temporal y elige las tres mejores trayectorias. Mediante el modelado de los motores del robot móvil, se logra estimar el consumo energético y el par requerido para un mapa 2D y de las trayectorias predichas se determina el consumo de cada una de ellas en vatios-hora (W/h), para optar por aquellas que menor consumo requieran. Los resultados muestran que, mediante la consideración energética, es posible llegar a reducir el 9% del consumo energético comparación con el enfoque de Ventana Dinámica convencional.

La Tabla 2 compara distintas estrategias de optimización energética desde una perspectiva funcional, destacando el nivel en el que se aplica la optimización y las métricas empleadas para evaluar su efectividad. Este análisis permite identificar una evolución desde enfoques globales

de gestión energética hacia estrategias más específicas y orientadas al movimiento y la planificación de trayectorias.

El trabajo de Soori et al. se caracteriza por un enfoque integral que considera al robot como un sistema completo, donde la optimización energética abarca componentes mecánicos, eléctricos y de control. La métrica utilizada, basada en el consumo energético total, resulta adecuada para evaluar impactos operativos y económicos, especialmente en contextos industriales. Sin embargo, este tipo de enfoque suele requerir información detallada del sistema y una infraestructura de monitoreo que no siempre está disponible en robots móviles de bajo costo.

En contraste, la propuesta de Teso et al. introduce una estrategia de planificación predictiva centrada en la trayectoria del robot, incorporando explícitamente el consumo energético como criterio de decisión. El análisis comparativo muestra que este enfoque logra reducciones cuantificables en el consumo, lo que evidencia la importancia de integrar variables energéticas en los algoritmos de navegación. No obstante, su aplicación depende de modelos precisos del entorno y de los actuadores, lo que puede limitar su robustez en escenarios dinámicos.

El trabajo de Guarnizo et.al. se sitúa a un nivel intermedio, enfocándose en la optimización de los componentes eléctricos y electrónicos así evaluando la energía consumida por recorrido. Este enfoque destaca por su aplicabilidad práctica y su capacidad para comparar los sensores y actuadores bajo criterios homogéneos. En conjunto, la tabla muestra que las estrategias más efectivas son aquellas que combinan métricas energéticas claras con niveles de optimización bien definidos, evitando soluciones parciales o desconectadas del comportamiento real del robot.



## Artículo de Revisión

Cepeda-Gómez et al., 2026

**Tabla 2.** Estrategias de optimización energética.

| Estrategia                                | Nivel de optimización | Métrica energética       | Resultado principal            | Referencia            |
|---|-----------------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Gestión energética integral               | Sistema completo      | Consumo energético total | Reducción de costos operativos | Soori et al., 2023    |
| Planificación predictiva                  | Trayectoria           | Wh consumidos            | Reducción del 9% de consumo    | Teso et al., 2024     |
| Mejoramiento de los sensores y actuadores | Sensores y actuadores | Energía por recorrido    | Eficiencia en las baterías     | Guarnizo et.al., 2024 |

### 4. Hacia la navegación autónoma en los robots móviles

La navegación autónoma en los robots consiste en su capacidad para planificar su ruta y ejecutar movimientos sin intervención humana. Este proceso implica percibir el entorno y desplazarse sin intervención humana. Los autores revisan esta característica como importante para indagar en la posibilidad de mejorar y hacer más eficiente este proceso en los robots con ruedas.

Martínez et.al. (2025) en su artículo “Sistema de navegación autónoma basado en campos potenciales” presentan un sistema de navegación autónoma para un robot móvil, basado en Campos Potenciales Virtuales (CPV) combinados con planificación de rutas mediante redes topológicas y el algoritmo de Dijkstra. El objetivo del estudio es evitar colisiones y alcanzar un destino incluso en entornos complejos, mitigando la aparición de mínimos locales mediante nodos intermedios. La metodología incluye transformación de coordenadas, percepción con sensores de distancia y cálculo de fuerzas atractivas y repulsivas aplicadas dinámicamente. El sistema fue implementado sobre una plataforma de simulación, donde se modificaron los módulos de control y se evaluó el desempeño en distintos mapas predefinidos. Los resultados de los autores muestran que el enfoque híbrido permite una navegación eficiente y continua en escenarios con obstáculos irregulares, por lo que este trabajo establece una base sólida para

futuras implementaciones en entornos reales o tridimensionales.

Ramírez (2020) en su tesis estudia el problema de la navegación autónoma de los robots en entornos internos, la cual debe superar varias dificultades como la dimensionalidad de los datos, el costo computacional y la posible presencia de objetos móviles. Su tesis se orienta al diseño de una estrategia de planeación de rutas para la navegación autónoma de robots en entornos interiores con base en el aprendizaje automático. Para esto, el autor caracteriza algunas estrategias que reporta la literatura, se especifica el algoritmo de aprendizaje automático DQN, para luego ser implementado en la plataforma robótica Turtlebot del simulador Gazebo. Además, realizó una serie de experimentos cambiando los parámetros del algoritmo para hacer la validación de la estrategia que muestra como la plataforma robótica por medio de la exploración del ambiente y la posterior explotación de conocimiento hace una planeación de la ruta eficaz.

Vizcaíno (2021) en su artículo “Estación de recarga para dotar de mayor autonomía al Robobo” explica que este consiste en una plataforma robótica móvil desarrollada por la compañía MINT de la Universidad da Coruña. Actualmente se utiliza como una herramienta para el aprendizaje y el aprovechamiento de las capacidades de la robótica autónoma y colaborativa en escuelas y centros de investigación, además cuenta con un paquete



## Artículo de Revisión

Cepeda-Gómez et al., 2026

comercial educativo que incluye cuatro unidades. Sin embargo, el funcionamiento del Robobo carece de un proceso de recarga autónomo, automatizado, homogéneo o simultáneo. Es eso que su artículo trata la importancia y el diseño de un primer prototipo electromecánico de una estación de recarga para obtener un ciclo de carga autónomo y simultáneo de hasta cuatro plataformas robóticas móviles Robobo.

Giraldo y Jiménez (2020) en su tesis "Sistema de navegación autónomo guiado mediante generación de trayectorias para un robot móvil en entorno controlado" realizaron la segmentación y comparación mediante pruebas de laboratorio, de diferentes algoritmos de planificación de trayectoria en la plataforma seleccionada, permitiendo la autonomía en la navegación de robots móviles. Se consideraron seis diferentes combinaciones de algoritmos de planificación de trayectoria y tres criterios de desempeño, los cuales fueron: distancia, tiempo y energía. Los valores de distancia, tiempo y energía obtenidos en los experimentos fueron utilizados para calcular un criterio de manera global que permitió identificar el algoritmo de planificación local que mejor se desempeñó en la prueba, que fue también el mejor en cada uno de los criterios. Asimismo, se realizó la simulación de robots multi-agentes que consistió en la programación de diferentes tipos de sensores para cada robot y de esta manera detectar obstáculos dinámicos. Del mismo modo, previendo los percances con relación al ancho de banda que acompaña la utilización de un mayor número de robots, se realizó la simulación de un manejo adecuado del ancho de banda en ROS (Robot Operative Sistem).

La capacidad de los robots móviles para ejecutar trabajos complejos se relaciona directamente con su diseño orientado a operar en condiciones que exceden las posibilidades capacidades del ser humano como los entornos hostiles,

peligrosos o altamente variables. En este sentido, los robots móviles permiten mantener un desempeño estable, reducir la exposición al riesgo y garantizar una mayor confiabilidad en la ejecución de procesos complejos (Mikołajczyk et. al., 2023).

En conjunto, la combinación de la capacidad para realizar tareas de alta complejidad y la movilidad autónoma convierte a los robots móviles en sistemas altamente versátiles, capaces de adaptarse a múltiples escenarios de trabajo, lo que justifica la importancia de optimizar su gestión energética, ya que tanto la ejecución de tareas exigentes como el desplazamiento continuo representan una demanda significativa sobre los recursos energéticos disponibles.

La Tabla 3 ofrece una visión comparativa de los principales métodos de navegación autónoma identificados en la literatura revisada, permitiendo analizar no solo las estrategias de control y planificación empleadas, sino también su relación con la eficiencia energética y la autonomía operativa de los robots móviles. A diferencia de enfoques meramente descriptivos, esta síntesis evidencia cómo la navegación autónoma constituye un elemento clave en el desempeño energético global del sistema robótico.

El trabajo de Martínez et al. 2025 se centra en un enfoque clásico pero robusto basado en campos potenciales virtuales, complementado con planificación topológica mediante el algoritmo de Dijkstra. Este método destaca por su capacidad para generar trayectorias continuas y evitar colisiones en entornos complejos, lo que contribuye indirectamente a una navegación más eficiente al reducir maniobras innecesarias. Sin embargo, el análisis revela que la problemática de los mínimos locales persiste como una limitación inherente a este tipo de enfoques, además de que los resultados se



## Artículo de Revisión

Cepeda-Gómez et al., 2026

encuentran validados principalmente en entornos simulados.

Por su parte, Ramírez 2020 introduce un paradigma basado en aprendizaje por refuerzo profundo, donde la navegación autónoma emerge como resultado de la interacción del robot con el entorno. Este enfoque representa un avance significativo en términos de adaptabilidad y toma de decisiones, ya que el

robot mejora su desempeño conforme incrementa su experiencia. Desde una perspectiva energética, esta capacidad de aprendizaje puede derivar en trayectorias más eficientes; no obstante, el elevado costo computacional y la necesidad de procesos extensos de entrenamiento limitan su aplicación en plataformas con recursos restringidos.

Tabla 3. Métodos de navegación autónoma en robots móviles

| Método de navegación                                    | Estrategia principal                              | Nivel de aplicación                   | Aportes principales                           | Limitaciones                          | Referencia               |
|---|---|---------------------------------------|---|---------------------------------------|--------------------------|
| Campos potenciales virtuales y planificación topológica | Fuerzas atractivas y repulsivas con rutas óptimas | Planificación y control de movimiento | Navegación continua y reducción de colisiones | Mínimos locales y validación limitada | Martínez et al., 2025    |
| Aprendizaje por refuerzo profundo                       | Exploración y explotación del entorno             | Planeación autónoma de rutas          | Alta adaptabilidad a entornos dinámicos       | Costo computacional elevado           | Ramírez, 2020            |
| Navegación autónoma con recarga automática              | Integración de estación de recarga                | Autonomía operativa                   | Extensión del tiempo de operación             | Dependencia de infraestructura        | Vizcaíno, 2021           |
| Planificación de trayectorias comparativa               | Evaluación por distancia tiempo y energía         | Navegación local y global             | Selección óptima con criterio energético      | Entorno de prueba controlado          | Giraldo y Jiménez, 2020  |
| Navegación condicionada por la fuente de energía        | Análisis sistémico del consumo                    | Sistema completo                      | Relación directa navegación energía           | Sin implementación experimental       | Mikołajczyk et al., 2023 |

El aporte de Vizcaíno 2021 se diferencia de los anteriores al no centrarse exclusivamente en el algoritmo de navegación, sino en la integración de la recarga autónoma como parte del sistema de movilidad. Este enfoque amplía el concepto de navegación autónoma al incorporar la capacidad del robot para gestionar su propia energía y mantener la operación continua. Aunque esta estrategia incrementa notablemente la autonomía, su dependencia de infraestructura fija reduce la flexibilidad del sistema en entornos no estructurados.

En el caso de Giraldo y Jiménez 2020, la navegación autónoma se analiza desde una perspectiva comparativa, evaluando distintos algoritmos de planificación de trayectorias bajo criterios de distancia, tiempo y energía. Este enfoque resulta particularmente relevante para el objetivo del documento, ya que incorpora explícitamente métricas energéticas en la evaluación del desempeño. El análisis demuestra que la selección adecuada del algoritmo de navegación puede generar mejoras simultáneas en eficiencia y autonomía. Sin embargo, la



## Artículo de Revisión

Cepeda-Gómez et al., 2026

validación en entornos controlados limita la generalización de los resultados.

Finalmente, el trabajo de Mikołajczyk et al. 2023 aporta una visión sistémica que vincula directamente la navegación autónoma con la fuente y gestión de energía del robot. Aunque no propone un algoritmo específico de navegación, su relevancia radica en evidenciar que las decisiones de desplazamiento y movilidad influyen de manera directa en el consumo energético y, por ende, en la autonomía del sistema. Este enfoque refuerza la idea de que la navegación no debe analizarse de forma aislada, sino como parte integral del diseño energético del robot móvil.

En conjunto, la Tabla 3 permite concluir que los métodos de navegación autónoma más relevantes son aquellos que integran criterios energéticos dentro de la planificación y el control del movimiento. La comparación evidencia una transición desde enfoques puramente geométricos o reactivos hacia estrategias más inteligentes y adaptativas, donde la eficiencia energética se consolida como un criterio fundamental para el desarrollo de robots móviles autónomos.

### 5. Frenado regenerativo como alternativa de recuperación energética para los robots móviles

Uno de los grandes problemas en el campo de los robots que se mueven es la escasa duración de las baterías. Aunque hay mejoras en formas de guardar energía, como las baterías de litio, estas no dan suficiente tiempo para usar en trabajos que necesitan seguir mucho tiempo y sin parar en sitios difíciles. Según señalan Guarnizo et al. (2024), este corte frena que los robots muestren todo su talento en lugares donde no es muy común la ayuda humana, lo

cual limita su uso en áreas como llevar cosas sin gente alrededor, buscar cosas en lugares difíciles y la industria de servicios. Para sortear este escollo, la investigación deberá dirigirse no sólo hacia el incremento de la potencia de las baterías, sino también hacia el desarrollo de sistemas avanzados de administración de energía que optimicen la utilización en tiempo real, minimizando el desperdicio y aumentando la vida útil de los autómatas (Miguélez et.al., 2020). En este sentido, la incorporación de herramientas como la energía extraída durante la deceleración o la utilización de fuentes alternativas, como los supercondensadores, lograrían complementar los resultados y, cuando se mezclan con baterías de alta capacidad, aumentarían significativamente la capacidad de los autómatas.

Hang et.al. (2022) en “Control predictivo de movimiento no lineal para robots móviles autónomos considerando el control activo tolerante a fallos y el frenado regenerativo” proponen un marco de control de chasis integrado para mejorar el rendimiento y la seguridad de los robots móviles autónomos. En el módulo de control de movimiento longitudinal, se diseñó un controlador de seguimiento de velocidad con un algoritmo de control integrado de realimentación y anticipación. Además, se aplicó el método de control predictivo de modelo no lineal al diseño del controlador de seguimiento de trayectoria de la dirección en las cuatro ruedas. Para abordar la falla de actuadores clave, diseñaron un algoritmo de control activo tolerante a fallas mediante la reasignación de los pares de tracción o frenado de los actuadores restantes en funcionamiento normal y utilizaron el método de mínimos cuadrados ponderados para dicha reasignación. Los resultados de la simulación mostraron que los robots móviles autónomos pueden mejorar la estabilidad de conducción y la seguridad de frenado en condiciones de falla de este y así recuperar la energía de frenado



## Artículo de Revisión

Cepeda-Gómez et al., 2026

durante las desaceleraciones, lo que hace relevante este trabajo frente al análisis de este método para optimizar la energía utilizada.

Hu et.al. (2025) en su artículo "Braking Control of Mobile Robots Using Integral Sliding-Mode Algorithm with Composite Convergence Regulation" proponen una estrategia de seguimiento del coeficiente de deslizamiento basada en un algoritmo de modo deslizante integral mejorado, regulado por una ley de convergencia compuesta para mejorar la capacidad de frenado rápido y prevenir el deslizamiento durante el funcionamiento del robot móvil. Establecen un modelo matemático de un robot móvil de una sola rueda, introduciendo una curva de relación entre el coeficiente de deslizamiento y el coeficiente de adherencia del pavimento para estimar este último, y se diseña un controlador de modo deslizante integral mejorado. Realizaron simulaciones bajo dos condiciones de funcionamiento típicas para comparar la estrategia de control propuesta con el control convencional por modos deslizantes, regulado por una ley de convergencia exponencial. Finalmente, llevaron a cabo experimentos de seguimiento del coeficiente de deslizamiento del robot móvil para verificar los resultados de la simulación, los cuales demuestran que la estrategia de control propuesta permite que el robot móvil alcance el estado de frenado ideal de forma más rápida y estable, mejorando así el efecto de frenado del sistema ABS.

Hwang et.al. (2023) en "Regenerative Braking Control Strategy Based on AI Algorithm to Improve Driving Comfort of Autonomous Vehicles" proponen un sistema de frenado regenerativo de confort que utiliza redes neuronales artificiales como estrategia de control del vehículo para las condiciones de frenado. El confort de un vehículo autónomo depende principalmente de su algoritmo de control. Señalan que si el confort del pasajero se

predice inicialmente en función de los límites de aceleración y deceleración, se puede ajustar el algoritmo de control, lo que contribuiría a mejorar el confort de marcha. Implementaron un análisis numérico de la estrategia de control, garantizando una reducción de las sacudidas. Además, aplicaron la retropropagación para estimar con mayor precisión los límites de la fuerza de frenado del sistema de frenado regenerativo. Verificaron el algoritmo desarrollado mediante simulaciones comparándolo con el sistema de frenado convencional. La propuesta ofrece un frenado regenerativo eficaz dentro de los límites establecidos y garantiza un mayor confort para los pasajeros.

Ziadia et.al. (2023) en "Diseño de una estrategia de frenado regenerativo adaptativo basada en el rendimiento de regeneración naturalista para vehículos inteligentes" proponen una nueva estrategia de frenado regenerativo que busca un equilibrio entre el rendimiento óptimo del control de frenado y el rendimiento de regeneración natural, satisfaciendo al mismo tiempo la preferencia por la velocidad máxima al conducir entre paradas. Los autores consideran el rendimiento de regeneración natural, para lo que predicen la potencia regenerada por tres conductores a largo plazo utilizando redes de memoria a corto y largo plazo y un modelo autorregresivo exógeno no lineal. Posteriormente, realizaron una estimación de la tasa de maximización de la recuperación de energía para obtener una idea del rendimiento de regeneración natural. Utilizan programación dinámica para optimizar el perfil de desaceleración. Los resultados demuestran que la estrategia de frenado regenerativo propuesta es adaptativa, mejorando la eficiencia de regeneración en un 39,6 % para el conductor 1, un 16 % para el conductor 2 y un 26 % para el conductor 3, y prediciendo la optimalidad de algunos comportamientos de desaceleración.



## Artículo de Revisión

Cepeda-Gómez et al., 2026

Prakash (2025) en “Integración de la IA y el ML en el frenado regenerativo de vehículos eléctricos: una revisión” explora la integración de la inteligencia artificial y las técnicas de aprendizaje automático en los sistemas de frenado regenerativo para superar los desafíos energéticos de los vehículos eléctricos. Este estudio examina técnicas de IA como modelos de regresión, redes neuronales, aprendizaje profundo por refuerzo, lógica difusa, algoritmos genéticos y técnicas basadas en inteligencia de enjambre para el frenado regenerativo. El estudio también compara las estrategias basadas en IA con los métodos de frenado tradicionales. El artículo proporciona un análisis comparativo de múltiples enfoques de IA, evaluando su impacto en el rendimiento del frenado y la recuperación de energía, y propone un marco de IA híbrido. El autor aborda los desafíos en la implementación en tiempo real, la adaptabilidad a la carretera y la integración del control del vehículo. Asimismo, analiza futuras investigaciones que optimicen el rendimiento de frenado, como la comunicación V2X, la computación en el borde y la IA explicable, etc.

Kim et.al. (2021) en su artículo “Estrategia de frenado regenerativo parametrizada y óptima en energía para vehículos electrificados conectados y autónomos: un enfoque de programación dinámica en tiempo real” presentan un sistema de planificación de velocidad vehicular denominado Sistema de Planificación de Desaceleración Óptima en Energía cuyo objetivo es maximizar la recuperación de energía del frenado regenerativo en vehículos eléctricos conectados y autónomos. Se calcula un perfil de velocidad óptimo para la recuperación de energía en función de los requisitos de desaceleración necesarios para girar o detenerse en una intersección. Este cálculo maximiza la energía de frenado regenerativo, respetando las limitaciones físicas del sistema de propulsión electrificado. Para la validación y comparación del sistema con diferentes distancias de previsualización, se

presentan pruebas de simulación de conducción con un entorno vial virtual y conectividad vehículo-infraestructura. Se demuestra que a mayor distancia de previsualización en el sistema, mayor es la recuperación de energía. Señalan que en comparación con las pruebas de simulación con conductor presente, la conducción autónoma basada en este sistema muestra mejoras en la recuperación de energía y una reducción en el tiempo de viaje.

Mei et.al. (2023) en “Control de frenado regenerativo multiobjetivo conmutable basado en MPC mediante regulación de flujo para vehículos eléctricos” abordan el control independiente en lazo cerrado de la posición y la presión, así como el mantenimiento de la sensibilidad del pedal. Desarrollaron un método basado en un Modelo de control predictivo para la regulación de presión de los cilindros de las ruedas durante la regeneración. Gracias al seguimiento preciso de los valores deseados de desplazamiento y presión, se garantiza una sensación de pedal uniforme, como lo indica la curva de fuerza aplicada frente a desplazamiento. La comparación de casos valida su eficacia en todas las condiciones de funcionamiento regenerativo. Concluyen que, mediante este método, no solo se logra una distribución uniforme de la fuerza de frenado entre las ruedas delanteras y traseras, sino que también se consigue el control coordinado del frenado hidráulico-eléctrico en las ruedas motrices. Además, señalan que el método funciona eficazmente en sistemas hidráulicos con diferentes zonas muertas.

Szumska (2025) en “Sistemas de frenado regenerativo en vehículos eléctricos: una revisión exhaustiva del diseño, las estrategias de control y los desafíos de eficiencia” examina los avances en sistemas de frenado regenerativo desde 2005 hasta 2024, centrándose en el diseño del sistema, las estrategias de control, las tecnologías de almacenamiento de energía y el impacto de los



## Artículo de Revisión

Cepeda-Gómez et al., 2026

factores externos y cinemáticos en la eficiencia de recuperación. Destaca una transición desde los controladores básicos hacia algoritmos predictivos avanzados como el Control Predictivo Basado en Modelos y enfoques de aprendizaje automático. Agrega que tecnologías como el frenado electrónico y los motores integrados en las ruedas mejoran la seguridad y la estabilidad, destacando estos últimos en configuraciones de tracción total frente a las de un solo eje. Entre los desafíos se incluyen los elevados requisitos computacionales, la fiabilidad de los componentes en condiciones adversas y la falta de pruebas estandarizadas. Encuentra que las lagunas de investigación abarcan la degradación a largo plazo y la autonomía, la integración del vehículo y efectos del comportamiento del conductor. Sugiere que en el futuro, se debería explorar el uso de sistemas híbridos de asistencia al conductor rentables, controles predictivos robustos para vehículos eléctricos autónomos y marcos estandarizados para mejorar el rendimiento de los sistemas de asistencia al conductor basados en la conducción y apoyar el transporte sostenible.

La Tabla 4 sintetiza los principales métodos de control orientados a la recuperación de energía, con especial énfasis en el frenado regenerativo y en el uso de algoritmos avanzados. El análisis revela una clara tendencia hacia la adopción de técnicas predictivas y basadas en inteligencia artificial para maximizar la eficiencia energética sin comprometer la estabilidad y seguridad del sistema.

Adicionalmente, en la Tabla 4 sintetiza los principales enfoques empleados para la evaluación energética en robots móviles, poniendo énfasis en las métricas utilizadas y en los niveles de validación reportados por la literatura reciente. Los trabajos analizados evidencian una evolución desde métricas globales de consumo energético hacia indicadores más específicos, como la energía recuperada durante

el frenado y el consumo asociado a ciclos de movimiento. Esta diversidad de métricas refleja la complejidad inherente a la optimización energética, donde el desempeño no depende de un solo subsistema, sino de la interacción entre control, actuadores y gestión de energía. El análisis comparativo muestra que los estudios con validación experimental aportan mayor solidez empírica, mientras que las revisiones teóricas y estudios basados en simulación permiten identificar tendencias, limitaciones y líneas futuras de investigación. En conjunto, la tabla refuerza la necesidad de adoptar criterios energéticos estandarizados que faciliten la comparación entre enfoques y fortalezcan el desarrollo de robots móviles con mayor autonomía y eficiencia.

El enfoque propuesto por Hang et al., basado en control predictivo no lineal combinado con tolerancia activa a fallos, destaca por su capacidad para mejorar simultáneamente la estabilidad del robot y la recuperación de energía durante el frenado. Este tipo de solución resulta especialmente relevante para robots móviles autónomos que operan en entornos complejos. Sin embargo, el alto costo computacional asociado limita su implementación en plataformas con recursos de procesamiento restringidos.

El método de modo deslizante integral presentado por Hu et al. ofrece una alternativa más ligera desde el punto de vista computacional, logrando respuestas rápidas y estables en el control de frenado. El análisis comparativo muestra que, si bien este enfoque es eficaz, se apoya en modelos simplificados que pueden no capturar completamente la dinámica real de robots más complejos o de múltiples ruedas.

Finalmente, la estrategia basada en redes neuronales propuesta por Hwang et al. introduce el aprendizaje automático como herramienta para mejorar tanto la eficiencia energética como



## Artículo de Revisión

Cepeda-Gómez et al., 2026

el confort de operación. Este enfoque representa una línea prometedora, ya que permite adaptar el control a diferentes condiciones de operación. No obstante, la necesidad de entrenamiento previo y grandes volúmenes de datos plantea retos adicionales para su implementación en tiempo real.

En conjunto, las tablas y su análisis evidencian que la optimización energética en robots móviles requiere un enfoque integrado, donde la fuente de energía, la estrategia de optimización y los métodos de control se diseñen de forma coherente, considerando tanto las ventajas técnicas como las limitaciones prácticas de cada propuesta.

**Tabla 4.** Métricas energéticas y enfoques de validación en robots móviles.

| Métrica energética              | Enfoque principal                     | Nivel de validación | Aporte al análisis energético                       | Limitaciones identificadas          | Referencia     |
|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------|---|-------------------------------------|----------------|
| Consumo energético total        | Gestión energética del sistema        | Simulación          | Relación directa entre control y consumo            | Escenarios simplificados            | Miguelez, 2020 |
| Energía recuperada              | Frenado regenerativo                  | Experimental        | Incremento de eficiencia durante desaceleración     | Alto costo computacional            | Hang, 2022     |
| Consumo instantáneo             | Control de frenado                    | Experimental        | Respuesta estable y eficiente                       | Modelo dinámico reducido            | Hu, 2025       |
| Energía recuperada y confort    | Control basado en redes neuronales    | Experimental        | Optimización simultánea de eficiencia y estabilidad | Requiere entrenamiento previo       | Hwang, 2023    |
| Autonomía energética            | Gestión híbrida de energía            | Simulación          | Extensión del tiempo de operación                   | Falta de pruebas físicas            | Ziadia, 2023   |
| Eficiencia energética global    | Análisis integral del sistema         | Revisión teórica    | Identificación de retos y tendencias                | Ausencia de validación experimental | Prakash, 2025  |
| Consumo por ciclo de movimiento | Optimización de actuadores            | Experimental        | Reducción del gasto energético mecánico             | Aplicación específica               | Kim, 2021      |
| Wh consumidos                   | Planificación energética trayectorias | Mixto               | Mejora cuantificable de autonomía                   | Dependencia del entorno             | Mei, 2023      |
| Energía almacenada y recuperada | Sistemas de almacenamiento avanzados  | Revisión teórica    | Visión comparativa de tecnologías emergentes        | Enfoque no aplicado                 | Szumaska, 2025 |

## 6. Destacados

El análisis comparativo de la literatura permite identificar que las estrategias de optimización energética en robots móviles pueden agruparse en cuatro ejes principales: selección y gestión de la fuente de energía, optimización del movimiento y la planificación de trayectorias, recuperación de energía mediante frenado regenerativo y sistemas de gestión energética

basados en algoritmos predictivos e inteligencia artificial. A diferencia de trabajos centrados únicamente en navegación o control, los estudios que integran explícitamente métricas energéticas demuestran reducciones medibles en el consumo, lo que evidencia la necesidad de enfoques multidisciplinarios.

Esta revisión de literatura muestra un panorama general de los nuevos avances en materia de uso



## Artículo de Revisión

Cepeda-Gómez et al., 2026

de energía en los robots móviles, destacando el progreso en distintos campos importantes. Primero, se ha notado una mejora en la autonomía de los robots móviles debido al avance en el uso de energías como baterías de iones de litio y el uso de energías renovables (Mikołajczyk et al., 2023;). Estas han permitido alargar tiempo de trabajo de robots en tareas cada vez más complejas. También, se han añadido sistemas para usar energía cinética durante el proceso de frenado regenerativo, lo que se ha convertido en una buena forma para contribuir al ahorro de energía global, haciéndolos más eficientes (Hu et al., 2025).

Otro avance importante ha sido la mejora en los sistemas de carga automática. Se han sugerido y probado métodos técnicos para que los robots carguen sus baterías de manera cada vez más autónoma sin intervención humana, lo que asegura un funcionamiento continuo. Dentro de estas formas se identificaron la mejora en el lugar de estaciones de carga y la creación de robots con cargadores móviles para evitar que detengan sus tareas por falta de energía (Vizcaíno, 2021).

En el área de los métodos de algoritmos complicados, los cambios en el control y guía, como el uso del aprendizaje de las máquinas y el uso de la inteligencia artificial, han brindado grandes mejoras en el uso de energía en los robots. Estos algoritmos, mezclados con formas de control que se basan en datos y aprendizaje automático, han mejorado mucho el trabajo del tren de fuerza, disminuyendo tanto el gasto de energía como las emisiones que vienen con su movimiento (Prakash, 2025).

### 7. Consideraciones finales

Los hallazgos mencionados plantean varias direcciones estratégicas para la investigación futura en robótica móvil. Es esencial continuar avanzando en el desarrollo de tecnologías de almacenamiento y reutilización de energía, así como en sistemas de gestión energética que permitan superar las limitaciones actuales. Para

ello, se deben explorar enfoques que no solo mejoren la densidad energética de las baterías, sino que también optimicen los sistemas de recuperación y reciclaje de energía que incrementen la autonomía de los robots en operaciones prolongadas.

Adicionalmente, la investigación debe centrarse en el diseño de métodos de recarga que sean más flexibles y escalables para diferentes usos. Las soluciones actuales, aunque efectivas en entornos controlados, no se adaptan con facilidad a escenarios de mayor complejidad o escala. Es importante revisar a profundidad las formas de carga automática que se pueden ser más eficientes en varias áreas y lugares de trabajo, disminuyendo la necesidad de instalaciones fijas y haciendo que los robots sean cada vez más autónomos.

En cuanto a los robots de dimensiones pequeñas, la mejora de la unión de tecnológicas que usan energía es un reto importante. La investigación del futuro debe trabajar en creación de mejores formas para medir la autonomía y efectividad de estos objetos mientras están funcionando. También, es esencial identificar la huella tanto en el medio ambiente como a nivel social de estas nuevas técnicas; asegurando que las soluciones que sugieren no solo sean óptimas, sino también amigables con el planeta y el ser humano.

El aumento de la duración de la fuente de energía debe ser un aspecto clave en el desarrollo de robots móviles, asegurando que su uso ayude a la sociedad y no cause problemas. Esta integración permitirá que la investigación futura en robots no solo mejore en aspectos técnicos, sino también en aspectos de responsabilidad hacia el medio ambiente y la sociedad. Estos hallazgos y las ideas planteadas destacan la necesidad de una búsqueda constante y variada para las dificultades de hoy en día, permitiendo que los robots móviles de ruedas sean lo óptimos posible, por el mayor tiempo, de manera autónoma y sin dañar el medio ambiente y a la sociedad.



## Artículo de Revisión

Cepeda-Gómez et al., 2026

Asimismo, el trabajo aporta evidencia de que la optimización energética no debe entenderse únicamente como una mejora en las fuentes de energía o en los sistemas de almacenamiento, sino también como el resultado de estrategias de control, planificación y operación más eficientes para los robots móviles (Teso et al., 2024). Este enfoque amplía la perspectiva del estado del arte al mostrar que la eficiencia energética puede alcanzarse mediante soluciones integrales que consideren el desempeño global del robot como el uso de energías renovables, la optimización energética, la navegación autónoma y el frenado regenerativo (Hwang et al., 2023).

Este artículo de revisión evidencia que la optimización energética en robots móviles es un problema transversal que involucra hardware, software y estrategias de control. Los avances en almacenamiento de energía, particularmente baterías de iones de litio y sistemas híbridos con supercondensadores, junto con técnicas de frenado regenerativo y planificación de trayectorias energéticamente conscientes, constituyen las principales líneas de desarrollo actuales. A partir de la literatura analizada, se identifica como reto futuro la integración efectiva de estas tecnologías en plataformas reales, especialmente en robots de pequeña escala, así como la validación experimental bajo condiciones operativas prolongadas.

Se incorporan tablas comparativas formales que contrastan los enfoques de optimización energética en robots móviles según fuente de energía, estrategia de control, métrica energética empleada y nivel de validación experimental. Estas tablas permiten identificar tendencias, vacíos de investigación y ventajas relativas entre metodologías.

A diferencia de revisiones previas centradas en describir arquitecturas robóticas o algoritmos de navegación, los trabajos analizados muestran que la inclusión explícita de variables energéticas en la planificación y el control produce mejoras cuantificables en autonomía y eficiencia. Sin embargo, se observa una fragmentación en los enfoques, ya que muchos estudios optimizan

subsistemas de forma aislada sin considerar una gestión energética integral del robot.

La literatura reciente coincide en que las baterías de iones de litio, aunque dominantes, presentan limitaciones en ciclos de carga, densidad energética y degradación. Por ello, la integración con supercondensadores y sistemas de frenado regenerativo emerge como una solución viable, aunque aún enfrenta desafíos de costo, complejidad de control y validación a largo plazo en plataformas reales.

En este sentido, el estudio contribuye al objetivo principal del manuscrito al explorar en la literatura la idea de que la autonomía y la eficiencia de los robots móviles dependen tanto de la gestión energética directa como de la optimización de sus procesos internos, lo que justifica plenamente su inclusión y discusión dentro del trabajo de revisión.

### Declaraciones y afirmaciones

**Fondos:** Los autores declaran que no se recibió financiamiento para este trabajo.

**Conflicto de interés:** Los autores no declaran conflicto de interés.

**Aprobación ética:** No aplica

**Consentimiento para participar:** No aplica

**Consentimiento para publicar:** No aplica

**Disponibilidad de los datos:** Contactar al autor de correspondencia para solicitar información acerca de este estudio.

**Contribución del autor:** Los autores declaran que participaron de forma conjunta en todas las etapas de elaboración del manuscrito.

Las autoras leyeron y aprobaron la versión final del manuscrito.



## Artículo de Revisión

Cepeda-Gómez et al., 2026

### Referencias

1. Dmitriev, AS. Zhukov, AA. y Mikhailova, IA. (2023). Análisis comparativo del suministro eficiente de energía de microrobots basados en materiales de cambio de fase de grafeno. *Nanotechnol Russia* 18, 916–926. <https://doi.org/10.1134/S2635167623600657>
2. Giraldo Paniagua, K. E. y Jiménez Salazar, S. (2020). Sistema de navegación autónomo guiado mediante generación de trayectorias para un robot móvil en entorno controlado [Trabajo de grado] Universidad EIA. <https://repository.eia.edu.co/server/api/core/bitstreams/ce8ac042-41cf-4d0f-a8e8-217579de8ed1/content>
3. Guarnizo, J., Bautista, D., y Sierra, J. Una revisión sobre la evolución de la robótica móvil. [Tesis de grado]. Universidad Santo Tomás. <https://doi.org/10.15332/dt.inv.2021.02848>
4. Hang, P., Lou, B. y Lv, C. (2022). Control predictivo de movimiento no lineal para robots móviles autónomos considerando el control activo tolerante a fallos y el frenado regenerativo. *Sensors*, 22 (10), 3939. <https://doi.org/10.3390/s22103939>
5. Hu, H., Long, D., Liang, Y., Wang, B., Wang, X., & Su, R. (2025). Braking Control of Mobile Robots Using Integral Sliding-Mode Algorithm with Composite Convergence Regulation. *Processes*, 13(9), 2887. <https://doi.org/10.3390/pr13092887>
6. Huayanay Villar, J. L. (2024). Seguimiento de trayectoria en robótica móvil con alimentación de energía solar. *Revista De Investigación Científica De La UNF – Aypate*, 2(4)\*\*, 1–12. <https://doi.org/10.57063/ricay.v2i4.64>
7. Hwang, M. H., Lee, G. S., Kim, E., Kim, H. W., Yoon, S., Talluri, T., & Cha, H. R. (2023). Regenerative Braking Control Strategy Based on AI Algorithm to Improve Driving Comfort of Autonomous Vehicles. *Applied Sciences*, 13(2), 946. <https://doi.org/10.3390/app13020946>
8. Kim, J. Y., Kim, S. K., Kim, J-W., Kato, S., & Kumamoto, S. (2021). Estrategia de frenado regenerativo parametrizada y óptima en energía para vehículos electrificados conectados y autónomos: un enfoque de programación dinámica en tiempo real. *IEEE Transactions*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9492071>
9. Liu, B., Li, G., & Wang, S. (2024). Investigación sobre la estrategia de control de recuperación de energía de frenado multimodo para vehículos eléctricos de batería. *Ciencias Aplicadas*, 14(15), 6505. <https://doi.org/10.3390/app14156505>
10. Martínez Ramírez, F. Rodríguez Salinas, E., Peluelas Rivas, U., y Minamikoyama, Y. (2025). Sistema de navegación autónoma basado en campos potenciales. *Memorias del XXI Congreso Internacional de la SOMIM*. [https://somim.org.mx/memorias/memorias2025/articulos/A3\\_31.pdf](https://somim.org.mx/memorias/memorias2025/articulos/A3_31.pdf)
11. Mei, M., Cheng, S., Mu, H., Pei, Y., & Li, B. (2023). Control de frenado regenerativo multiobjetivo conmutable basado en MPC mediante regulación de flujo para vehículos eléctricos. *Frontiers in Robotics and AI*, 10, 1078253. <https://doi.org/10.3389/frobt.2023.1078253>
12. Miguélez Machado, C.G., Benítez González, I.O., Rivera Rivera, A.M, y Moreno Vega, V. (2020). Implementación de sistema operativo robótico en una plataforma de robot móvil. *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 41(3), 79-92. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59282020000300079&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282020000300079&lng=es&tlng=es)



## Artículo de Revisión

Cepeda-Gómez et al., 2026

13. Mikołajczyk, T., Mikołajewski, D., Kłodowski, A., Łukaszewicz, A., Mikołajewska, E., Paczkowski, T., Macko, M., & Skornia, M. (2023). Energy sources of mobile robot power systems: A systematic review and comparison of efficiency. *Applied Sciences*, 13(13), 7547. <https://doi.org/10.3390/app13137547>
14. Nguyen Duc-Nam, Vu Le-Huy, Le Trong-An, Nguyen Dinh-Trung, Nguyen Huy Viet-Anh. (2024). Design and Implementation of a Solar-Powered Mobile Robot for Transportation Application. *Universal Journal of Mechanical Engineering*. 12 (2) p.p. 17-24, 2024. <https://doi.org/10.13189/ujme.2024.120201>.
15. Perino, E.J; Kiessling Dirán, R.A; Silnik A.A, Perelló, A.D. (2021). Energías renovables y sustentabilidad: una eficiente forma de gestionar los recursos naturales. *Revista Digital Universitaria*. 22 (3). [https://www.revista.unam.mx/2021v22n3/energias\\_renovables\\_y\\_sustentabilidad\\_una\\_eficiente\\_forma\\_de\\_gestionar\\_los\\_recursos\\_naturales/](https://www.revista.unam.mx/2021v22n3/energias_renovables_y_sustentabilidad_una_eficiente_forma_de_gestionar_los_recursos_naturales/)
16. Prakash, Z. (2025). Integración de la IA y el ML en el frenado regenerativo de vehículos eléctricos: una revisión. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 8. <https://doi.org/10.3389/frai.2025.1626804>
17. Ramírez Bedoya, D. L. (2020). Diseño de una estrategia para la planeación de rutas de navegación autónoma de un robot móvil en entornos interiores usando un algoritmo de aprendizaje automático [Tesis de grado]. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/items/a8802cd9-af05-4074-a36a-5036537f3996>
18. Soori, M; Arezoo, B. y Dastres, R. (2023). Optimización del consumo de energía en robots industriales: una revisión. *Robótica Cognitiva*. 3. P.p. 142-157. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667241323000174>
19. Szumska, E. M. (2025). Sistemas de frenado regenerativo en vehículos eléctricos: una revisión exhaustiva del diseño, las estrategias de control y los desafíos de eficiencia. *Energies*, 18(10), 2422. <https://doi.org/10.3390/en18102422>
20. Teso-Fz-Betoño, D., Aramendia, I., Ramos-Hernanz, J. A., Caballero-Martin, D., Affou, H., & Lopez-Guede, J. M. (2025). Optimización de la eficiencia energética con un enfoque predictivo de ventanas dinámicas para la navegación de robots móviles. *Sostenibilidad*, 17(10), 4526. <https://doi.org/10.3390/su17104526>
21. Vizcaíno-Delgado, M. (2021). Estación de recarga para dotar de mayor autonomía al Robobo. *Tecnología en Marcha*. 34. p.p. 90-100. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8158929.pdf>
22. Wu M, Yeong CF, Su ELM, Holderbaum W, Yang C. (2023). "Una revisión sobre la eficiencia energética en robots móviles autónomos". *Inteligencia robótica y automatización*, 43 (6). p.p. 648–668, doi: <https://doi.org/10.1108/RIA-05-2023-0060>
23. Ziadia, M., Kelouwani, S., Amamou, A., & Agbossou, K. (2023). Diseño de una estrategia de frenado regenerativo adaptativo basada en el rendimiento de regeneración naturalista para vehículos inteligentes. *IEEE Access*, 11, 99573–99610. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3313553>