

## Evolución de la tecnología en suspensiones y su impacto en seguridad vehicular

*Evolution of suspension technology and its impact on vehicle safety*

**Balón Cantos Cristhian Ronald**

Instituto Superior Tecnológico Universitario Luís Arboleda Martínez  
balon.c.6410@istlam.edu.ec  
<https://orcid.org/0009-0009-3505-4408>  
Manta – Ecuador

**Lucas Palma Ronny Adrián**

Instituto Superior Tecnológico Universitario Luís Arboleda Martínez  
lucas.r.7568@istlam.edu.ec  
<https://orcid.org/0009-0005-0953-9381>  
Manta – Ecuador

**Ing. Reyes Constante Manuel Vicente**

Instituto Superior Tecnológico Universitario Luís Arboleda Martínez  
m.reyes@istlam.edu.ec  
<https://orcid.org/0009-0006-0926-6210>  
Manta – Ecuador

### **Formato de citación APA**

Balón, C., Lucas, R. & Reyes, M. (2026). *Evolución de la tecnología en suspensiones y su impacto en seguridad vehicular*. Revista REG, Vol. 5 (Nº. 1), p. 353 – 371.

### **CIENCIA INTERACTIVA**

**Vol. 5 (Nº. 1). Enero – marzo 2026.**

**ISSN: 3073-1259**

Fecha de recepción: 15-01-2026

Fecha de aceptación :26-01-2026

Fecha de publicación:30-03-2026



## RESUMEN

La evolución acelerada de la tecnología automotriz ha transformado los sistemas de suspensión vehicular desde configuraciones pasivas de funcionamiento mecánico hacia sistemas semiactivos y activos con control electrónico e inteligencia artificial, lo que ha generado nuevos desafíos para la formación técnica y la seguridad vial. En este contexto, el objetivo general de este trabajo es analizar la evolución de la tecnología en los sistemas de suspensión y su impacto en la seguridad vehicular, considerando los aportes teóricos, los avances tecnológicos y su aplicación en el contexto actual. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, con un diseño no experimental y alcance descriptivo, sustentado en una revisión sistemática de la literatura científica basada en el modelo SPICE y las directrices PRISMA, mediante la consulta de bases de datos académicas como Google Académico, SciELO y Scopus, considerando estudios publicados entre 2022 y 2025 en español e inglés. Los resultados evidencian que la incorporación de suspensiones semiactivas y activas, junto con sensores, control predictivo, aprendizaje automático y sistemas de asistencia avanzada al conductor, mejora de manera significativa la estabilidad dinámica, la adherencia neumático-calzada y la capacidad de respuesta ante maniobras críticas. Se concluye que la evolución tecnológica de los sistemas de suspensión constituye un factor determinante en la seguridad vehicular, al integrarse como un subsistema inteligente dentro del control global del vehículo, contribuyendo de forma directa a la prevención de siniestros viales.

**PALABRAS CLAVE:** suspensión vehicular, seguridad vehicular, suspensión activa, estabilidad dinámica, control electrónico.

---

### ABSTRACT

The rapid evolution of automotive technology has transformed vehicle suspension systems from mechanical passive configurations into semi-active and active systems driven by electronic control and artificial intelligence, creating new challenges for technical training and road safety. In this context, the primary objective of this study is to analyze the technological progression of suspension systems and its impact on vehicle safety, considering theoretical contributions, technological breakthroughs, and contemporary applications. This research follows a qualitative approach with a non-experimental, descriptive design, supported by a systematic literature review based on the SPICE model and PRISMA guidelines. Academic databases, including Google Scholar, SciELO, and Scopus, were consulted for studies published between 2022 and 2025 in both Spanish and English. The results demonstrate that the integration of semi-active and active suspensions coupled with sensors, predictive control, machine learning, and Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) significantly enhances dynamic stability, tire-road holding, and responsiveness during critical maneuvers. It is concluded that the technological evolution of suspension systems is a decisive factor in vehicle safety; by functioning as an intelligent subsystem within global vehicle control, it directly contributes to the prevention of road accidents.

**KEYWORDS:** vehicle suspension, vehicle safety, active suspension, dynamic stability, electronic control.

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la industria automotriz corre a una velocidad que la formación técnica apenas logra seguir. La llegada de sistemas complejos exige que el electromecánico se convierta en un especialista en tecnología digital, un claro ejemplo es la suspensión: lo que antes era un simple resorte, hoy es un componente inteligente vital para que el coche no pierda el control. El problema es que esta evolución se menciona apenas por encima en las aulas, dejando un vacío peligroso. Si queremos mejorar la seguridad vial en ciudades cada vez más congestionadas, es urgente entender a fondo cómo estas nuevas suspensiones mantienen el vehículo en pie (Cleofas-Sánchez et al., 2023; Padilla et al., 2022).

En el ámbito internacional, autores como Mei et al. (2025) han examinado cómo la suspensión vehicular ha tenido que transformarse para responder a las crecientes exigencias de confort y estabilidad. El estudio, centrado en el mercado chino, analiza la transición desde sistemas pasivos hasta las modernas soluciones activas y su impacto en la dinámica del coche. A través de una revisión documental exhaustiva, los investigadores demostraron que la inteligencia aplicada al chasis reduce las vibraciones, y redefine el control del vehículo. La principal conclusión es que estas tecnologías ya no son opcionales, sino pilares críticos para la seguridad vial actual.

En el contexto regional, Vega et al. (2018) exploraron en Chile la optimización del sistema Macpherson, enfocándose en cómo este diseño debe evolucionar para satisfacer las actuales demandas de estabilidad. El estudio se centró en evaluar técnicas de simulación avanzada, utilizando un enfoque analítico que combinó modelos matemáticos con simulación multicuerpo y elementos finitos. Los hallazgos de esta revisión documental subrayan que el ajuste preciso de estos componentes no solo eleva el confort, sino que garantiza un desempeño dinámico mucho más seguro. Al final, se establece que optimizar la suspensión es un paso obligado para lograr una conducción eficiente.

En Ecuador, Alvarado-Soshina et al. (2022) analizaron la evolución de los amortiguadores desde modelos de fricción seca hasta los modernos sistemas hidráulicos. El estudio explica que el control de la viscosidad del fluido mediante impulsos electrónicos permite ajustar la amortiguación en tiempo real. Esta mejora técnica garantiza que el neumático mantenga contacto permanente con el suelo, elevando la estabilidad y el control dinámico. Los investigadores también exploran el uso de dispositivos piezoeléctricos para convertir las vibraciones mecánicas en energía eléctrica aprovechable.

Desde el punto de vista teórico, los sistemas de suspensión se fundamentan en principios de la mecánica clásica, la dinámica vehicular y la ingeniería de materiales (Barredo-Hernández et al., 2022). Su función principal es mantener el contacto constante entre las ruedas y la superficie de

rodadura, controlando los movimientos verticales, longitudinales y laterales del vehículo. La evolución tecnológica ha permitido pasar de suspensiones puramente mecánicas, como las de ballestas y resortes helicoidales, a sistemas más complejos que integran amortiguadores hidráulicos avanzados, suspensiones neumáticas y sistemas controlados electrónicamente. Estos desarrollos teóricos y tecnológicos han ampliado la comprensión del comportamiento dinámico del vehículo, demostrando que una suspensión eficiente mejora el confort, y desempeña un papel determinante en la seguridad activa (Cleofas-Sánchez et al., 2023; Romero Castro et al., 2025).

La relevancia de este estudio se basa en la urgencia de vincular el progreso de las suspensiones con la seguridad real en las calles. Es un sistema que el usuario suele ignorar, a pesar de ser una pieza crítica para no perder el control del vehículo. Investigar este tema genera datos valiosos para la enseñanza técnica y la prevención de accidentes, impulsando un mantenimiento preventivo que hoy hace mucha falta. Además, el trabajo fortalece el conocimiento académico al proponer el uso de tecnologías avanzadas para mejorar el desempeño dinámico en rutas difíciles, el fin último es reducir los siniestros viales mediante una actualización tecnológica consciente y necesaria.

En este contexto surge la siguiente pregunta científica: En este contexto surge la siguiente pregunta científica: ¿cuál es el impacto de la evolución de la tecnología en los sistemas de suspensión sobre la seguridad vehicular? En coherencia con lo expuesto, el objetivo general de este trabajo es analizar la evolución de la tecnología en los sistemas de suspensión y su impacto en la seguridad vehicular, considerando los aportes teóricos, los avances tecnológicos y su aplicación en el contexto actual.

### **MÉTODOS MATERIALES**

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, con un diseño no experimental y un alcance descriptivo, sustentado en una revisión sistemática de la literatura científica (Macias et al., 2024; Suárez Toala et al., 2025). Este enfoque permitió analizar, interpretar y sintetizar críticamente los aportes teóricos y empíricos relacionados con la evolución tecnológica de los sistemas de suspensión vehicular y su impacto en la seguridad, sin manipulación directa de variables, basándose exclusivamente en el análisis documental de estudios previos.

El proceso metodológico se estructuró a partir del modelo SPICE (Setting, Perspective, Intervention, Comparison, Evaluation), y la revisión sistemática se desarrolló siguiendo las directrices de la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), con el propósito de garantizar transparencia, rigor metodológico y trazabilidad en cada una de las etapas del estudio. Estas directrices permitieron establecer criterios claros para la

identificación, selección, evaluación y síntesis de la información, asegurando la coherencia y la reproducibilidad del proceso investigativo.

La recopilación de información se realizó mediante una búsqueda exhaustiva en las bases de datos Google Académico, SciELO y Scopus, seleccionadas por su amplia cobertura temática, reconocimiento académico y acceso a literatura científica revisada por pares. Se consideraron artículos publicados entre los años 2022 y 2025, en idiomas español e inglés, con el objetivo de garantizar la actualidad, relevancia y pertinencia del material analizado. La búsqueda se efectuó utilizando combinaciones de palabras clave y operadores booleanos (AND, OR), aplicados a los campos de título, resumen y palabras clave. La ecuación de búsqueda empleada en idioma inglés fue la siguiente:

TITLE-ABS-KEY ("vehicle suspension" OR "suspension system" OR "automotive suspension") AND ("vehicle safety" OR "road safety" OR "driving stability") AND ("active suspension" OR "semi-active suspension" OR "adaptive suspension") AND PUBYEAR > 2022.

De manera complementaria, se utilizó una ecuación con términos equivalentes en idioma español, con el propósito de ampliar el alcance de la revisión y asegurar la inclusión de investigaciones relevantes publicadas en este idioma:

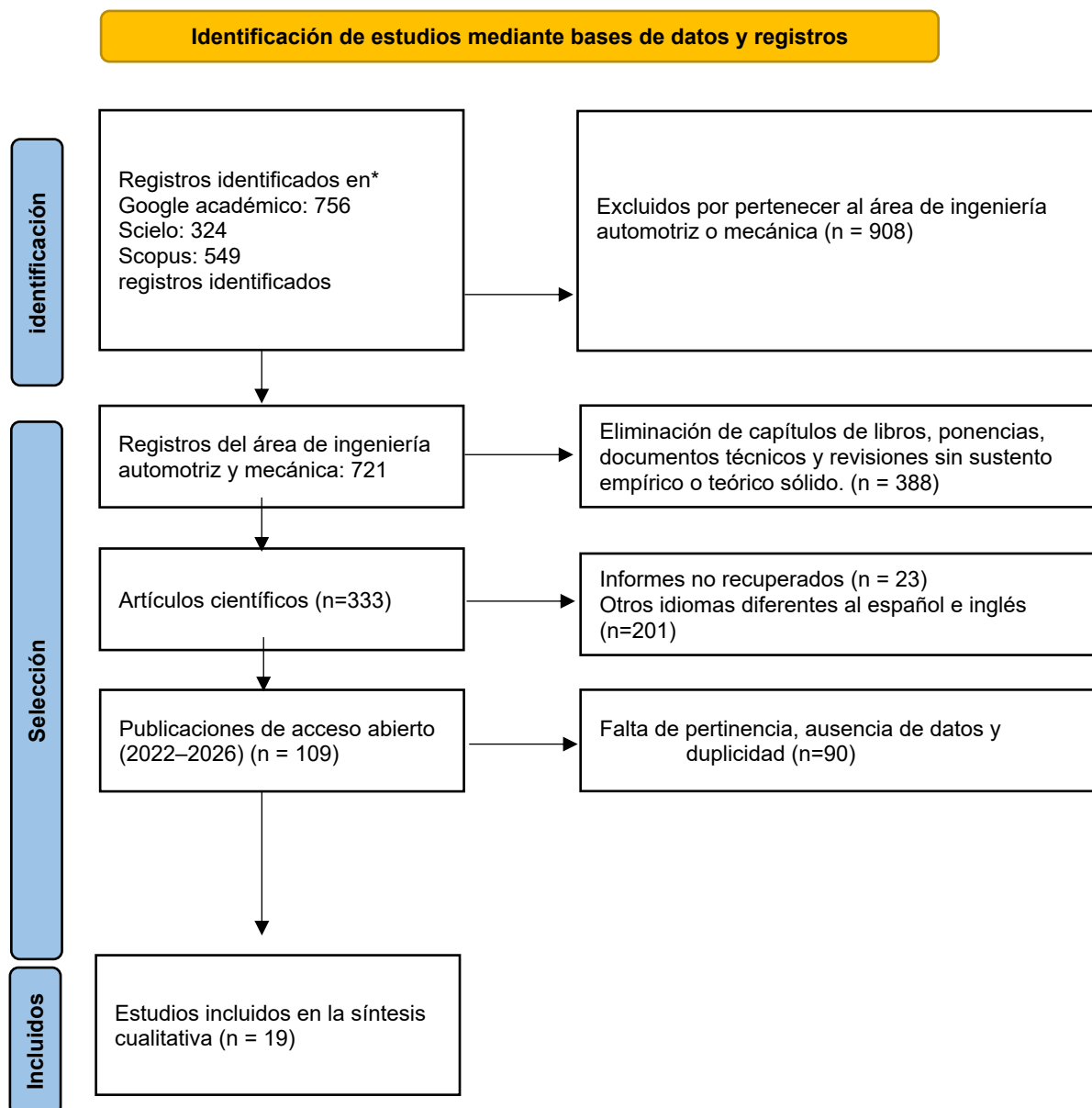
TITLE-ABS-KEY  
("suspensión vehicular" OR "sistema de suspensión" OR "suspensión automotriz") AND  
("seguridad vehicular" OR "seguridad vial" OR "estabilidad del vehículo") AND  
("suspensión activa" OR "suspensión semiactiva" OR "suspensión adaptativa") AND PUBYEAR > 2022

Durante el proceso de depuración del material se aplicaron criterios de inclusión y exclusión con el fin de garantizar la pertinencia y calidad de los estudios seleccionados. Se incluyeron investigaciones pertenecientes al ámbito de la ingeniería automotriz, mecánica y disciplinas afines, publicadas en revistas científicas con revisión por pares, de acceso abierto y con un enfoque explícito en los sistemas de suspensión y la seguridad vehicular. Se excluyeron documentos de carácter divulgativo, publicaciones sin respaldo científico, estudios fuera del periodo temporal establecido o aquellos que no abordaban directamente la relación entre la evolución tecnológica de la suspensión y la seguridad del vehículo (Abad Aveiga et al., 2025; Luzuriaga Viñan et al., 2025).

El proceso comenzó con una búsqueda en bases de datos seleccionadas, seguida de un primer filtro donde se revisaron títulos y resúmenes. Posteriormente, se realizó una lectura integral de cada texto para confirmar que cumplían con los criterios de elegibilidad antes de incluirlos definitivamente. Para manejar el volumen de información, se diseñó una matriz bibliográfica donde

se organizaron detalles como el autor, año, país y objetivos de cada fuente. También se registraron la metodología, el tipo de suspensión estudiada y los descubrimientos más importantes sobre seguridad automotriz. Gracias a este orden, fue posible comparar los datos y generar una síntesis crítica que responde directamente al objetivo central de la investigación.

**Figura 1.** Diagrama del proceso de identificación, cribado y selección de estudios científicos mediante bases de datos y registros, según PRISMA 2020



*Nota.* Elaboración propia.

Finalmente, la información sistematizada fue analizada mediante un enfoque comparativo y temático, lo que permitió identificar tendencias tecnológicas, diferencias entre los distintos tipos de

sistemas de suspensión y vacíos de conocimiento en relación con su influencia en la estabilidad, el control dinámico y la seguridad vehicular. Este procedimiento garantizó la validez y confiabilidad del estudio, al ofrecer una visión integral y actualizada sobre la evolución de las suspensiones pasivas, semiactivas y activas, así como su contribución a la reducción del riesgo de pérdida de control del vehículo, la mejora del comportamiento dinámico y el fortalecimiento de la seguridad vial en el contexto del desarrollo tecnológico automotriz.

## RESULTADOS

Los resultados del estudio se agruparon en dos categorías centrales: i) la evolución tecnológica de los sistemas de suspensión vehicular, que incluye el avance desde configuraciones tradicionales hasta suspensiones semiactivas y activas con control electrónico; y ii) el impacto de dichas tecnologías en la seguridad vehicular, considerando su influencia en la estabilidad, el control dinámico del vehículo, la adherencia de los neumáticos a la calzada y la reducción del riesgo de siniestros, tal como se expone a continuación:

**Tabla 1.** Estudios sobre la evolución tecnológica de la suspensión vehicular (semiactiva y activa)

N.º	Cita	Tema central	Objetivo del estudio	Metodología	Resultados principales	Innovación tecnológica
1	(Yang et al., 2022)	A study on a vehicle semi-active suspension control system based on road elevation identification	Anticipar baches mediante lectura previa del camino.	Desarrollo de Algoritmo de percepción LIDAR y simulación <i>hardware-in-the-loop</i> .	Reducción de sacudidas verticales al ajustar amortiguador antes del impacto.	Uso de LIDAR y redes neuronales para control predictivo.
2	(Huang et al., 2025)	Intelligent Active Suspension Control Method Based on Hierarchical Multi-Sensor Perception Fusion	Optimizar la estabilidad mediante la unión de varios sensores.	Diseño de arquitectura con IMU, GPS, LiDAR, cámara y radar; controlador BP-PID y simulaciones <i>hardware-in-the-loop</i> .	Mejora de hasta un 11 % en el control de balanceo y cabeceo en curvas.	Percepción 360° adaptable al entorno de manejo.
3	(Tu, 2024)	Enhancing Road Holding and Vehicle	Maximizar adherencia y suelo	Modelado half-car, diseño de controlador	Estabilidad del chasis mejorada en un	Control predictivo avanzado



		Comfort for an Active Suspension System utilizing Model Predictive Control and Deep Learning	suavidad de marcha.	de MPC con restricciones de fuerza y simulaciones comparativas.	46 % con límites de actuador.	
4	(Yeneneh et al., 2025)	Optimizing active suspension systems with robust $H^\infty$ control and adaptive techniques under uncertainties	Desarrollar un marco robusto-adaptativo para optimizar el desempeño de una suspensión activa.	Diseño de controlador $H^\infty$ combinado con técnicas adaptativas y simulaciones bajo perturbaciones.	Mejora simultánea del confort y la estabilidad con alta robustez ante variaciones de parámetros.	Integración de control robusto $H^\infty$ con adaptación en tiempo real.
5	(Min & Wei, 2024)	An adaptive control strategy for a semi-active suspension integrated with intelligent tires	Desarrollar un control adaptativo basado en clasificación de irregularidades de la carretera.	Clasificación de irregularidades mediante vibraciones y diseño de controlador adaptativo; simulaciones.	Mejora del confort y la estabilidad al ajustar dinámicamente la amortiguación.	Clasificación en tiempo real del estado de la carretera.
6	(Zhao et al., 2025)	Advances in machine learning-based active vibration control for automotive seat suspensions: A comprehensive review	Mitigar las vibraciones que llegan directamente al conductor.	Desarrollo y simulación de modelos basados en aprendizaje automático.	Superioridad en la absorción de impactos frente a amortiguadores clásicos.	Aplicación de IA para aislar la cabina de las vibraciones del motor y suelo.
7	(Dridi et al., 2023)	A new approach to controlling an active suspension system based on reinforcement learning	Mejorar confort y seguridad frente a suspensiones pasivas.	Modelado del vehículo, diseño de ley de control y simulaciones comparativas.	Mejor control dinámico y confort en diversas condiciones de operación.	Sistema que "aprende" a reaccionar ante condiciones críticas.
8	(Qiu et al., 2025)	Integrating digital twins	Integrar gemelos	Desarrollo de gemelo digital,	Mejor desempeño	Integración de <i>Digital</i>

		with neural networks for adaptive control of automotive suspension systems	digitales y redes neuronales para control adaptativo.	entrenamiento de red neuronal y simulaciones.	dinámico frente a controladores tradicionales.	<i>Twins</i> en la gestión de la suspensión.
9	(Alvarado Rodríguez et al., 2025)	Análisis de los sistemas de seguridad activa en vehículos eléctricos: Evaluación de su eficiencia y contribución a la prevención de accidentes	Evaluar la eficiencia de la suspensión en autos eléctricos de alto torque.	Estudio aplicado con pruebas en vehículos eléctricos.	Evidencia de la influencia directa de la suspensión en la seguridad activa.	Sincronización de la suspensión con el frenado regenerativo.

**Nota.** Elaboración propia.

Del análisis técnico de la literatura se desprende que la evolución de los sistemas de suspensión activa y semi-activa ha permitido incrementos sustanciales en el desempeño dinámico del vehículo, particularmente en términos de confort vibracional, estabilidad lateral y control del chasis. Los estudios de Yang et al. (2022) y Huang et al. (2025) evidencian que la integración de sistemas de percepción multisensorial (LiDAR, IMU, GPS, radar y visión artificial) posibilita la estimación anticipada del perfil de la vía, lo que permite una modulación predictiva de la fuerza de amortiguamiento y una reducción significativa de las aceleraciones verticales transmitidas a la carrocería. De manera complementaria, las investigaciones desarrolladas por Tu (2024) y Yeneneh et al. (2025) confirman que la aplicación de controladores avanzados, como el Control Predictivo Basado en Modelo (MPC) y las estrategias robustas  $H_\infty$  con adaptación en línea, mejoran de forma simultánea la adherencia neumática-calzada, el control de cabeceo y balanceo, y la robustez del sistema frente a incertidumbres paramétricas y perturbaciones externas.

Por otra parte, los resultados reportados por Min & Wei (2024), Dridi et al. (2023), Zhao et al. (2025) y Qiu et al. (2025) destacan el impacto del aprendizaje automático, aprendizaje por refuerzo y gemelos digitales en la optimización del comportamiento dinámico de la suspensión. Estas técnicas permiten la identificación en tiempo real del estado de la carretera, la auto-sintonización de los parámetros de control y una atenuación superior de vibraciones respecto a sistemas convencionales, incluso en condiciones de operación variables. Finalmente, el estudio de Alvarado Rodríguez et al. (2025) demuestra que, en vehículos eléctricos de alto par motor, la suspensión constituye un

componente crítico de la seguridad activa, al interactuar de manera sinérgica con sistemas como el frenado regenerativo, contribuyendo a la estabilidad longitudinal y a la mitigación del riesgo de pérdida de control.

**Tabla 2.** Estudios sobre tecnologías vehiculares y su impacto en la seguridad y estabilidad

N.º	Cita	Tema central	Objetivo del estudio	Metodología	Resultados principales	Innovación tecnológica
1	(Gong et al., 2025)	Predicting road adhesion coefficient with a fusion strategy of SHAP dynamic parameters	Desarrollar un modelo interpretable de estimación de adherencia para sistemas de seguridad activa.	Modelo vehicular 7-DOF, modelo de neumáticos Magic Formula; XGBoost con SHAP, BNN y SVR con fusión bayesiana.	Reducción del MAE entre 16–19 % y del RMSE entre 11–16 % frente a modelos individuales.	IA interpretable en tiempo real para seguridad activa.
2	(Pang et al., 2025)	Research on vehicle lateral stability control under low-adhesion road conditions using proximal policy optimization algorithm	Mejorar la estabilidad lateral del vehículo en condiciones de fricción reducida.	Algoritmo PPO (Proximal Policy Optimization) en modelo 7-DOF.	Mayor estabilidad en frenadas de emergencia y reducción del riesgo de derrape.	Aprendizaje por refuerzo para control coordinado.
3	(Zhou et al., 2025)	Real time dynamic adhesion coefficient estimation and BP neural network optimized lateral stability control for distributed drive electric vehicles	Incrementar la seguridad de vehículos eléctricos con tracción distribuida.	Red neuronal BP integrada a un esquema de control jerárquico.	Estimación precisa de adherencia en tiempo real y mejora de la estabilidad.	Gestión jerárquica para vehículos de tracción integral.

4	(Abut et al., 2025)	Active Suspension Control for Improved Ride Comfort and Vehicle Performance Using HHO-Based Type-I and Type-II Fuzzy Logic	Optimizar el confort de marcha y la estabilidad vehicular.	Optimización basada en el algoritmo Harris Hawks (HHO) en MATLAB.	Reducción de aceleraciones verticales y deflexión de neumáticos.	Lógica difusa avanzada para el control de actuadores activos.
5	(Tsai et al., 2025)	Digital Twin-based control co-design of full vehicle active suspensions via deep reinforcement learning	Reducir la distancia de frenado en superficies asimétricas (split-μ).	Optimización conjunta de frenado-dirección con modelo de neumático Dugoff.	Reducción de hasta 13 % en la distancia de frenado y mejora de estabilidad.	Uso de gemelos digitales para optimizar frenado y dirección.
6	(Liu et al., 2025)	Dynamics and control of articulated passenger vehicles on roads	Incrementar la estabilidad dinámica en vehículos de gran tamaño.	Modelado dinámico lateral-longitudinal y control activo.	Mejora de estabilidad y seguimiento de trayectoria en curvas.	Integración de dirección, frenado y suspensión activa.
7	(Kumar et al., 2025)	Integrated Effects of Aerodynamic Control and Active Suspension Systems on Vehicle Stability and Handling Dynamics During High-Speed Maneuvers	Evaluar el desempeño dinámico combinado del vehículo.	Simulación CFD acoplada a dinámica vehicular.	Mejora en estabilidad en curvas y respuesta dinámica.	Integración aerodinámica-control con suspensión activa.
8	(Padilla et al., 2022)	Demanda del sistema ADAS: un análisis de la percepción de los conductores	Analizar la percepción y demanda de sistemas ADAS en conductores.	Encuestas estructuradas y análisis estadístico.	Evidencia de reducción de accidentes mediante asistencia al conductor.	Integración de ADAS orientados a estabilidad y adherencia.

9	Ziryawulawo et al. (2023)	Machine learning based driver monitoring system: A case study for the Kayoola EVS	Complementar sistemas automotrices de seguridad.	Aprendizaje automático aplicado a sensores de monitoreo.	Mejora en prevención de siniestros mediante alertas tempranas.	IA aplicada al monitoreo del conductor.
10	(Huang et al., 2026)	Joint estimation method of vehicle speed and tire-road adhesion coefficient using parallel unscented Kalman filter	Optimizar el control de estabilidad vehicular.	Filtro de Kalman extendido.	Alta precisión en estimación longitudinal y lateral.	Estimación conjunta sin sensores adicionales.

Nota. Elaboración propia.

Los datos recopilados en la Tabla 2 confirman un salto tecnológico importante en cómo entendemos la adherencia entre el neumático y el asfalto. Hoy, el control de estabilidad ya no depende de cálculos estáticos, sino de la capacidad de predecir escenarios críticos en milisegundos. Propuestas como las de Gong et al. (2025) y Huang et al. (2026) dejan claro que el uso de herramientas como el aprendizaje automático y los filtros de Kalman en paralelo no son solo teoría; estas tecnologías logran reducir drásticamente los márgenes de error en la medición de variables dinámicas, lo que permite que los sistemas de seguridad actúen con una precisión antes imposible.

Por otro lado, la llegada de los vehículos eléctricos con tracción distribuida ha planteado nuevos retos que Pang et al. (2025) y Zhou et al. (2025) abordan mediante redes neuronales. Sus hallazgos demuestran que, al integrar algoritmos que aprenden del entorno, es posible evitar derrapes o pérdidas de control durante cambios de carril bruscos, algo vital para la seguridad operativa de estos nuevos modelos.

El estudio también resalta una tendencia hacia la gestión integral del chasis. Investigadores como Abut, Tsai, Liu y Kumar (2025) coinciden en que la suspensión activa ya no trabaja sola; ahora se coordina con el frenado, la dirección e incluso la aerodinámica. Esta sinergia no solo sirve para que el viaje sea más cómodo al reducir sacudidas verticales, sino que tiene efectos prácticos inmediatos, como acortar la distancia de frenado en suelos resbaladizos y mejorar el agarre en curvas rápidas. Finalmente, los aportes de Padilla et al. (2022) y Ziryawulawo et al. (2023) añaden el factor humano a la ecuación. Al combinar los sistemas ADAS con el monitoreo del conductor mediante inteligencia

artificial, la seguridad deja de ser un conjunto de piezas sueltas para convertirse en un escudo preventivo que cuida tanto la integridad de la máquina como la del usuario.

## DISCUSIÓN

Los datos de la Tabla 1 confirman que la suspensión no es un componente pasivo, es el eje de un control inteligente del chasis, tal como plantean (Habibi, 2025). La clave aquí es la versatilidad: al ajustar la rigidez y el amortiguamiento sobre la marcha, el vehículo gestiona mucho mejor las fuerzas verticales y los empujes laterales en curvas. Esta transformación tecnológica convierte a la suspensión en una herramienta activa que dicta el comportamiento dinámico del auto, garantizando que el confort y la estabilidad dejen de ser compromisos opuestos para trabajar en conjunto.

Si analizamos el control automático, es evidente que el aprendizaje automático y los enfoques predictivos superan por mucho a las estrategias convencionales. La gran ventaja, como explican Kimball et al. (2024), es que estos controladores avanzados reaccionan y se corrigen las incertidumbres propias de un sistema tan impredecible como el vehicular. Los estudios revisados respaldan este avance: hoy es posible mantener la estabilidad y el confort al mismo tiempo, sin importar que cambie la carga del auto, la velocidad o el estado del asfalto.

En relación con la seguridad activa, los resultados de la Tabla 2 destacan la relevancia de la estimación en tiempo real del coeficiente de adherencia neumático-calzada, aspecto ampliamente discutido por Habibi (2025). Una estimación precisa de esta variable permite optimizar la actuación de sistemas como el ESC y el control de tracción. La reducción de errores de estimación reportada en los estudios revisados se traduce en una mayor capacidad del vehículo para mantener la estabilidad direccional durante frenadas de emergencia y maniobras en superficies de baja fricción.

Asimismo, la evidencia recopilada respalda el enfoque de control integrado del vehículo, donde la suspensión activa interactúa con el frenado, la dirección y el control aerodinámico. Según (Barredo-Hernández et al., 2022), esta integración mejora la distribución de fuerzas longitudinales y laterales, incrementando la capacidad de seguimiento de trayectoria. Los resultados analizados confirman que dicha coordinación reduce distancias de frenado y mejora el comportamiento dinámico en curvas, especialmente en vehículos eléctricos y plataformas de gran masa.

Finalmente, la incorporación de sistemas ADAS y monitoreo inteligente del conductor amplía la discusión hacia una concepción preventiva de la seguridad vehicular. Autores como Moncayo & Lino Calle (2025) sostienen que la reducción del riesgo de siniestros depende tanto del desempeño técnico del vehículo como de la interacción humano-máquina. En concordancia, se evidencian que la

combinación de control dinámico avanzado con inteligencia artificial aplicada al factor humano consolida un enfoque integral de seguridad activa orientado a la anticipación y mitigación de eventos críticos.

### CONCLUSIONES

El análisis de la literatura especializada evidencia que la evolución tecnológica de los sistemas de suspensión ha redefinido su papel dentro del vehículo, al pasar de mecanismos de respuesta fija a sistemas semiactivos y activos con capacidad de regulación electrónica. Esta transformación ha permitido que la suspensión se adapte de forma continua a las condiciones de la vía y a las exigencias dinámicas del vehículo, optimizando la interacción entre el chasis y la calzada y mejorando de manera sustancial el comportamiento dinámico general.

Desde la perspectiva de la seguridad vehicular, los estudios revisados confirman que las suspensiones de última generación inciden directamente en el mantenimiento de la estabilidad y el control direccional, al favorecer una mejor adherencia del neumático y una respuesta más eficiente ante maniobras críticas. La integración de sensores y algoritmos de control avanzado incrementa la precisión en la actuación de los sistemas electrónicos de estabilidad, lo que contribuye a disminuir escenarios de pérdida de control en situaciones de frenado brusco o baja fricción.

Finalmente, la literatura pone de manifiesto una clara orientación hacia la coordinación de la suspensión con otros subsistemas de seguridad activa, como el frenado, la dirección y los sistemas de asistencia al conductor. Esta interacción permite abordar la seguridad desde un enfoque integral, donde la suspensión deja de estar asociada únicamente al confort y se consolida como un componente estratégico para la prevención de siniestros viales, resaltando la necesidad de una actualización constante en la formación técnica y en la aplicación de estas tecnologías.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad Aveiga, D. A., Zambrano Cabeza, I. R., López Paredes, J., García Pilay, F., & Lino Calle, V. (2025). Factores que afectan la productividad en construcción: estrategias para mejorar eficiencia en planificación, un análisis textual discursivo. *Revista Científica Multidisciplinar G-Ner@ndo*, 6(1), 2000–2017. <https://doi.org/10.60100/rcmg.v6i1.511>
- Abut, T., Salkim, E., & Tugal, H. (2025). Active Suspension Control for Improved Ride Comfort and Vehicle Performance Using HHO-Based Type-I and Type-II Fuzzy Logic. *Biomimetics*, 10(10), 673. <https://doi.org/10.3390/BIOMIMETICS10100673>
- Alvarado Rodríguez, J., Gordillo Pasaca, J. P., & Peñaloza Diaz, D. (2025). Análisis de los sistemas de seguridad activa en vehículos eléctricos: Evaluación de su eficiencia y contribución a la prevención de accidentes. *Polo Del Conocimiento*, 106(5), 2204–2230. <https://doi.org/10.23857/pc.v10i5.9566>
- Alvarado-Soshina, Y. E., Cando-Galeas, M. V., Criollo-Yanchatipan, L. P., & Cabascango-Camuendo, C. P. (2022). Evolución de los amortiguadores para vehículos. Una revisión sistemática. *Polo Del Conocimiento*, 7(4), 312–322. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i4.3826>
- Barredo-Hernández, E., Mendoza-Larios, J., Maldonado-Bravo, I. A., Mayén-Chaires, J., & Mazón-Valadez, C. (2022). Amortiguadores regenerativos para sistemas de suspensión automotriz: Una revisión. *Cultura Científica y Tecnológica*, 19(1), 1–20. <https://doi.org/10.20983/CULCYT.2022.1.3.2>
- Cleofas-Sánchez, L., Posadas-Durán, J. P. F., Martínez-Ortiz, P., Loyo-Desiderio, G., Ruvalcaba-Hernández, E. A., & Brito González, O. (2023). Automatic detection of vehicular traffic elements based on deep learning for advanced driving assistance systems. *Computacion y Sistemas*, 27(3), 643–651. <https://doi.org/10.13053/CyS-27-3-4508>
- Dridi, I., Hamza, A., & Ben Yahia, N. (2023). A new approach to controlling an active suspension system based on reinforcement learning. *Advances in Mechanical Engineering*, 15(6). <https://doi.org/10.1177/16878132231180480>;CTYPE:STRING:JOURNAL
- Gong, Y., Du, Q., Wang, F., & Zhang, L. (2025). Predicting road adhesion coefficient with a fusion strategy of SHAP dynamic parameters. *Scientific Reports* 2025 15:1, 15(1), 35603-. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-17492-2>



- Habibi, H. (2025). Control of Active Suspension Systems Based on Mechanical Wave Concepts. *Actuators* 2025, Vol. 14, Page 230, 14(5), 230. <https://doi.org/10.3390/ACT14050230>
- Huang, C., Liu, Y., Sun, X., & Wang, Y. (2025). Intelligent Active Suspension Control Method Based on Hierarchical Multi-Sensor Perception Fusion. *Sensors* (Basel, Switzerland), 25(15), 4723. <https://doi.org/10.3390/S25154723>
- Huang, Z., Fan, X., Wang, L., Yu, X., & Zhao, K. (2026). Joint estimation method of vehicle speed and tire-road adhesion coefficient using parallel unscented Kalman filter. *Measurement*, 265, 120349. <https://doi.org/10.1016/J.MEASUREMENT.2026.120349>
- Kimball, J. B., DeBoer, B., & Bubbar, K. (2024). Adaptive control and reinforcement learning for vehicle suspension control: A review. *Annual Reviews in Control*, 58, 100974. <https://doi.org/10.1016/J.ARCONTROL.2024.100974>
- Kumar, S., Mall, P. K., Shukla, R., Medhavi, A., Kumar, A., & Kumar, S. (2025). Integrated Effects of Aerodynamic Control and Active Suspension Systems on Vehicle Stability and Handling Dynamics During High-Speed Maneuvers. *The International Journal of Acoustics and Vibration*, 432. <https://doi.org/10.20855/ijav.2025.30.42203>
- Liu, Q., Zhang, C., Gordon, T. J., & Wang, J. (2025). Dynamics and control of articulated passenger vehicles on roads. *Vehicle System Dynamics*, 63(7), 1395–1457. <https://doi.org/10.1080/00423114.2025.2507405>; CTYPE:STRING:JOURNAL
- Luzuriaga Viñan, C., Perugachi Baloy, V., Vélez Bravo, G., & Lino Calle, V. (2025). Uso de modelos BIM en la planificación de obras civiles: un análisis textual discursivo de artículos de investigación. *Revista Ingenio Global*, 4(1), 175–189. <https://editorialinnova.com/index.php/rig/article/view/209>
- Macias, C., Guadamud, E., Lino, V., & Carvajal, D. (2024). Planificación Operativa En Redes De Agua Potable Para La Ciudad De Jipijapa. *Revista Alcance*, 7(1), 57–72. <https://doi.org/10.47230/ra.v7i1.61>
- Mei, Y., Wang, R., Ding, R., & Jiang, Y. (2025). Classification Evolution, Control Strategy Innovation, and Future Challenges of Vehicle Suspension Systems: A Review. *Actuators* 2025, Vol. 14, 14(10). <https://doi.org/10.3390/ACT14100485>

- Min, D., & Wei, Y. (2024). An adaptive control strategy for a semi-active suspension integrated with intelligent tires. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 212, 111281. <https://doi.org/10.1016/J.YMSSP.2024.111281>.
- Moncayo, J., & Lino Calle, V. (2025). Diseño estructural de pavimento flexible para la vía que Comunica la comunidad el tigre con el recinto Pimpiguasí de la Parroquia Abdón Calderón [Universidad Estatal del Sur de Manabí]. <https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/8586>
- Padilla, C., Buenaño, L., Barahona, F., & Velasteguí, E. (2022). Demanda del sistema ADAS: un análisis de la percepción de los conductores. *Universidad y Sociedad*, 15(4), 756–765. <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v15n4/2218-3620-rus-15-04-756.pdf>
- Pang, H., Huang, H., Fan, Y., Yao, L., & Chen, Y. (2025). Research on vehicle lateral stability control under low-adhesion road conditions using proximal policy optimization algorithm. *PLOS One*, 20(11), e0335686. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0335686>
- Qiu, H., Al-Nussairi, A. K. J., Chevinli, Z. S., Singh Sawaran Singh, N., Chyad, M. H., Yu, J., & Maesoumi, M. (2025). Integrating digital twins with neural networks for adaptive control of automotive suspension systems. *Scientific Reports* 2025 15:1, 15(1), 11078-. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-91243-1>
- Romero Castro, M., Toala Pilay, M., Carvajal, D., Lino, V., Gualsaquí Muenala, E., & Parrales Carreño, M. (2025). Energías renovables en sectores rurales del Ecuador: revisión sistemática de la literatura. *InnovaSciT*, 3(2), 326–340. <https://doi.org/10.70577/INNOVASCIT.V3I2.75>
- Suárez Toala, R., Vélez Soledispa, B., Arévalo Guamán, D., Lino Calle, V., & Carvajal Rivadeneira, D. (2025). Infraestructuras resilientes al cambio climático: análisis textual discursivo sobre adaptación, mitigación y sostenibilidad en la construcción. *Revista Científica Multidisciplinar G-Ner@ndo*, 6(1), 1931–1948. <https://revista.gnerando.org/revista/index.php/RCMG/article/view/507>
- Tsai, Y.-K., Chen, Y.-P., Karkaria, V., & Chen, W. (2025). Digital Twin-based control co-design of full vehicle active suspensions via deep reinforcement learning. *ArXiv Preprint*, 1–28. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2512.03891>

- Tu, D. T. (2024). Enhancing Road Holding and Vehicle Comfort for an Active Suspension System utilizing Model Predictive Control and Deep Learning. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 14(1), 12931–12936. <https://doi.org/10.48084/ETASR.6582>
- Vega, W. H., Llanes-Cedeño, E. A., Molina, J. V., & Rocha-Hoyos, J. C. (2018). Revisión de las Características de Modelado y Optimización para el Diseño del Sistema de Suspensión. *Información Tecnológica*, 29(6), 221–234. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000600221>
- Yang, Z., Shi, C., Zheng, Y., & Gu, S. (2022). A study on a vehicle semi-active suspension control system based on road elevation identification. *PLoS ONE*, 17(6), e0269406. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0269406>
- Yeneneh, K., Walle, M., Mamo, T., & Yalew, Y. (2025). Optimizing active suspension systems with robust  $h_\infty$  control and adaptive techniques under uncertainties. *Applications in Engineering Science*, 22, 100225. <https://doi.org/10.1016/J.APPLES.2025.100225>
- Zhao, Y., Zhang, Y., Guo, L., Ding, S., & Wang, X. (2025). Advances in machine learning-based active vibration control for automotive seat suspensions: A comprehensive review. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 231, 112645. <https://doi.org/10.1016/J.YMSSP.2025.112645>
- Zhou, Z., Yang, R., Xu, F., & Shen, W. (2025). Real time dynamic adhesion coefficient estimation and BP neural network optimized lateral stability control for distributed drive electric vehicles. *Scientific Reports* 2025 16:1, 16(1), 1265-. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-31029-7>

**CONFLICTO DE INTERÉS:**

*Los autores declaran que no existen conflicto de interés posibles*

**FINANCIAMIENTO**

*No existió asistencia de financiamiento de parte de pares externos al presente artículo.*

**NOTA:**

*El artículo no es producto de una publicación anterior.*

