

Artificial intelligence algorithms used in autonomous driving to reduce private vehicle accidents: A Review

Dante Denys Rios Peña¹, and Emily Baca Marroquin, MA¹

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, u20242583@utp.edu.pe, abaca@utp.edu.pe

Abstract– *Artificial intelligence (AI) algorithms have become the backbone of autonomous driving, enabling vehicles to make critical decisions and operate safely in diverse driving environments. Despite advances, significant limitations exist as highly changing environments, such as urban traffic, can affect a car's ability to adjust quickly to unforeseen situations, inability to handle the unknown, and route interpretation. This review examines artificial intelligence algorithms used in autonomous driving to reduce private vehicle accidents. The review included 115 original articles published from 2019 to 2023 identified in the Scopus database that met the inclusion criteria. The results identified algorithms used commonly to reduce accidents in autonomous driving. The review highlights diverse academic contributions to neural networks, path planning, sensor fusion, radar object detection, and rule-based systems. Despite evidence of the effectiveness of artificial intelligence in reducing traffic accidents, certain challenges are evidenced, such as the lack of training data and the need to improve the accuracy of the algorithms.*

Keywords– *Artificial intelligence, autonomous driving, neural networks, deep learning, Bayesian networks*

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Algoritmos de inteligencia artificial usados en la conducción autónoma para la reducción de accidentes de vehículos particulares: Una Revisión

Dante Denys Rios Peña¹, and Emily Baca Marroquin, MA¹

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, u20242583@utp.edu.pe, abaca@utp.edu.pe

Resumen– Los algoritmos de inteligencia artificial (IA) se han convertido en la columna vertebral de la conducción autónoma, desempeñando un papel esencial en la capacitación de vehículos para tomar decisiones críticas y operar de manera segura en diversos entornos de conducción. A pesar de los avances, existen limitaciones significativas como los entornos altamente cambiantes, como el tráfico urbano, puede afectar su capacidad para ajustarse rápidamente a situaciones imprevistas, la incapacidad para manejar lo desconocido y la interpretación de rutas. El propósito de esta revisión es Comparar los algoritmos de inteligencia artificial usados en la conducción autónoma para la reducción de accidentes de vehículos particulares. El método utilizado incluyó la revisión de 553 artículos originales buscados en la base de datos Scopus seleccionando una búsqueda desde 2019 hasta 2023, de los cuales 115 estudios cumplieron con los criterios de inclusión. Los resultados presentan y organizan los hallazgos derivados del análisis de los algoritmos más comúnmente utilizados en la conducción autónoma para reducir accidentes. Las conclusiones de la investigación destacan diversas contribuciones académicas, resaltando el uso frecuente de algoritmos como redes neuronales, planificación de rutas, fusión de sensores, detección de objetos por radar y sistemas basados en reglas. A pesar de la evidencia de la efectividad de la inteligencia artificial para reducir accidentes de tráfico, también se señalan desafíos, como la falta de datos de entrenamiento y la necesidad de mejorar la precisión de los algoritmos.

Palabras Clave– Inteligencia artificial, Conducción autónoma, Red neuronal, Aprendizaje profundo, Redes bayesianas.

I. INTRODUCCIÓN

La implementación de algoritmos de inteligencia artificial en la conducción autónoma es primordial ya que permite que los vehículos sean capaces de tomar decisiones y operar de manera segura. Previamente investigadores en el campo de la conducción autónoma han desarrollado algoritmos de percepción, mapeo y navegación [1]. Dichos trabajos como probabilidad robótica han influido en cómo los algoritmos de IA se aplican a la conducción autónoma [2]

Los algoritmos cumplen un rol fundamental en la mejora de la conducción autónoma al permitir que los vehículos interpreten y reaccionen a su entorno de manera similar a como lo haría un conductor humano [2]. Las investigaciones de varias compañías, incluidas Google (Waymo) y Aurora han contribuido en la percepción y toma de decisiones en los

vehículos autónomos para mejorar el desarrollo de algoritmos de inteligencia artificial (IA)[3].

La conducción autónoma se encuentra en constante evolución y es impulsada por la convergencia de la inteligencia artificial y la ingeniería automotriz [4]. Este avance tecnológico ha sido notable en las últimas décadas y ha permitido que los vehículos operen sin intervención humana, lo que representa un hito en la industria automotriz [5]. Sin embargo, a pesar de estos avances, persisten desafíos significativos que deben abordarse para lograr una conducción autónoma verdaderamente segura y eficiente.

Uno de los retos más complicados es la capacidad de los algoritmos de inteligencia artificial para tomar decisiones rápidas y precisas en situaciones de conducción complejas y cambiantes [6]. Las carreteras presentan una diversidad de condiciones imprevistas, desde condiciones climáticas adversas hasta obstáculos inesperados, que requieren una adaptación instantánea por parte de los vehículos autónomos [7].

La ejecución de una revisión sistemática de la literatura (RSL) centrada en la comparación de algoritmos de inteligencia artificial (IA) para la conducción autónoma se justifica de manera integral [9], debido a que la diversidad de enfoques presentes en las literaturas especializadas ha sido muy amplia y una RSL permitirá realizar una síntesis exhaustiva de estos enfoques particulares, destacando las características distintivas y las áreas específicas de aplicación de cada algoritmo. La RSL proporcionará una visión integral de los métodos de evaluación utilizados en investigaciones previas, facilitará una comparación crítica y permitirá identificar aquellos algoritmos que ofrecen un rendimiento superior en diversos escenarios [12].

La presente revisión tiene como objetivo comparar los algoritmos de inteligencia artificial usados en la conducción autónoma para la reducción de accidentes de vehículos particulares [13]. Ante el creciente número de accidentes en las carreteras, la aplicación de los algoritmos de inteligencia artificial se presenta como una solución que pueda reducir los accidentes [14].

La RSL presenta una estructura organizativa específica. La sección 2 se presenta la metodología se centra en explicarla el enfoque empleado para la Revisión Sistemática de la Literatura (RSL). La sección 3 se evidencian los resultados de los algoritmos más utilizados para la conducción autónoma. En la sección 4, la discusión profundiza en el análisis de los distintos algoritmos de inteligencia artificial proporcionando una visión clara en la importancia de distintos algoritmos para

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

perfeccionar la conducción autónoma. Por último, en la sección 5 se presentan las principales conclusiones alcanzadas y la importancia de los algoritmos. De esta manera, se señala la dirección para futuras investigaciones relacionadas con la comparación de algoritmos de inteligencia artificial para la reducción de accidentes vehiculares.

II. METODOLOGÍA

La metodología desarrollada en este estudio se apoya en las estrategias PICO para la formulación de preguntas de revisión y elaboración de ecuación de búsqueda y en la metodología PRISMA para la selección e identificación de publicaciones para la revisión. En la primera etapa, se realizó una revisión exhaustiva de la literatura en la base de datos Scopus con especial atención a los estudios que comparan algoritmos de inteligencia artificial empleados en la conducción. Se definieron criterios de inclusión y exclusión con el fin de seleccionar las publicaciones más pertinentes para la RSL. Los resultados obtenidos mediante esta metodología servirán como fundamento robusto para las conclusiones y recomendaciones finales de la comparación de los algoritmos de inteligencia artificial usados en la conducción autónoma para la reducción de accidentes de vehículos particulares.

A. Sintaxis de la ecuación de Búsqueda

Con el apoyo de la metodología PICO se presenta elabora la ecuación de búsqueda que a partir de los componentes P, I, C, y O se definieron las palabras claves que permitieron establecer la sintaxis correspondiente.

TABLA I
COMPONENTES DEL PICO

P	Población	Vehículos particulares	<i>Private automobiles, Private vehicles</i>
I	Intervención	Conducción autónoma	<i>Autonomous vehicles, Autonomous driving</i>
C	Comparación	Comparación de los algoritmos de inteligencia artificial	<i>AI algorithm, Comparative, algorithm efficiency analysis</i>
O	Resultados	Reducción de accidentes	<i>accident reduction, Decision, Accident prevention</i>

A partir de las palabras claves identificadas con los componentes PICO se elaboró una ecuación de búsqueda que permitió realizar una búsqueda sistemática en la base de datos de Scopus. La ecuación de búsqueda empleada fue la siguiente: (“*Private automobiles* “OR” *Private vehicles* “OR” *Vehicle safety*” OR “*Road vehicle*” OR “*vehicles*”) AND (“*Autonomous vehicles* “ OR “ *Autonomous driving* “ OR “*Intelligent transportation systems*” OR “*driverless car*” OR “*Automated driving*”) AND (“*AI algorithm* “ OR “*artificial intelligence algorithm*” OR “*algorithm efficiency*” OR “*efficiency analysis*” OR “*algorithms*” OR “*deep learning*” OR “*Inference algorithm*”) AND (“*accident reduction*” OR “*accident prevention*” OR “*traffic accident*”)

B. Criterios de inclusión

Fueron empleados para seleccionar las publicaciones durante el proceso de cribado del diagrama de flujo de PRISM. A continuación, se describen los 4 criterios de inclusión planteados. En primer lugar, se considerarán las publicaciones que investiguen los tipos de vehículos que utilizan la conducción autónoma. (CI1). En segundo lugar, se incluirán artículos y estudios que aborden el tema de la conducción autónoma(CI2). En tercer lugar, se considerarán aquellos estudios que comparen los diferentes tipos de algoritmos utilizados en la conducción autónoma (CI3). Por último, se incluirán estudios que aborden específicamente los algoritmos de inteligencia artificial utilizados para la toma de decisiones en la reducción de accidentes(CI4).

C. Criterios de exclusión

El primer criterio de exclusión permite separar o excluir publicaciones que no correspondan al tema de investigación (CE1). En segundo lugar, se excluyen a las publicaciones realizadas antes de 2019 (CE2). En tercer lugar, las publicaciones que carecen de información sólida sobre los algoritmos utilizados en la conducción autónoma(CE3). Por último, se excluyen aquellos artículos que no sean de acceso abierto (aquellos que no se puede acceder ni descargar) (CE4).

D. Proceso de selección PRISMA

Se presenta el diagrama PRISMA que registra los 553 documentos identificados luego de aplicar la ecuación de búsqueda en lavase de datos de Scopus. Posteriormente, se procedió con la fase de cribado revisando tanto los títulos como los resúmenes de los documentos identificados con la ecuación de búsqueda. A partir de la revisión se identificaron que 137 registros no guarden relación con los criterios de inclusión y exclusión propuestos. Como resultado se obtuvieron 416 registros de los cuales 56 no se encontraban disponibles para descarga y/o no eran accesibles resultando en 360 publicaciones elegibles. A partir de este punto se realizó la lectura completa de los 360 documentos seleccionados y luego de ser leídos a texto completo se identificaron que 254 no guardaban relación con los criterios de búsqueda definidos previamente. Por ello, los documentos a ser incluidos en la presente RSL serán 115 artículos. El proceso descrito previamente puede ser evidenciado en la Fig. 1.

III. RESULTADOS

Después de realizar la lectura crítica y registrar la información relevante mediante formularios de extracción de información del total de 115 artículos se obtuvo información relacionada a los algoritmos de inteligencia artificial usados en la conducción autónoma para la reducción de accidentes de vehículos particulares. Durante este proceso de revisión de las publicaciones, se examinaron detenidamente los estudios que específicamente abordan los diversos enfoques y perspectivas

en este campo de investigación. A continuación, se presentarán los resultados alcanzados organizados en 6 apartados.

A. Tipos de vehículos utilizados.

En la Fig. 2 se puede observar que la mayoría de los artículos publicados sobre vehículos autónomos se centran en automóviles Sedán. [1] y [2]. El argumento presentado en los artículos revisados sobre el enfoque en automóviles tipo Sedán se debe a que los autos sedanes son vehículos comunes y ampliamente disponibles, que facilitan la obtención de flotas para las pruebas y análisis [2] y [4]. Entre las características clave de un vehículo autónomo se incluyen sistemas avanzados de sensores, cámaras, tecnologías de rastreo y hardware con capacidad de toma de decisiones autónoma basada en el entorno circundante [5].

integrar datos de múltiples sensores, brindando una percepción completa y precisa del entorno [8] Para más detalle revisar la Fig. 3.

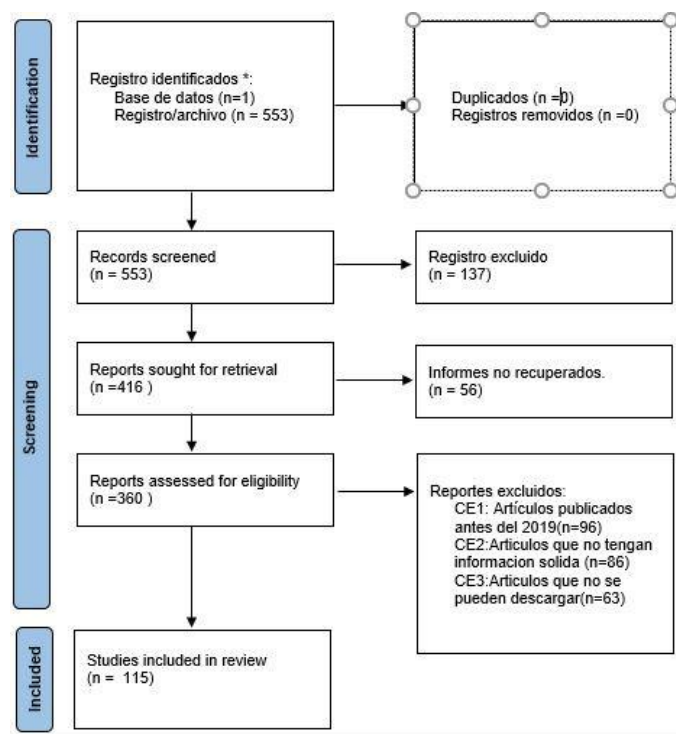


Fig. 1: Diagrama de Flujo Prisma

B. Algoritmos utilizados para la conducción autónoma.

Los artículos revisados informan que los algoritmos más utilizados en la conducción autónoma involucran una variedad de enfoques. De los cuales resaltan redes neuronales convolucionales, este algoritmo permite que los vehículos autónomos perciban su entorno visual, detecten objetos y puedan tomar decisiones informadas en tiempo real [5]. Los algoritmos de planificación de rutas son esenciales debido a que garantizan que los vehículos autónomos elijan las mejores trayectorias de conducción y eviten obstáculos de manera segura [6]. Los algoritmos de control garantizan que los vehículos sigan las rutas planificadas con precisión de esta manera pueda reaccionar ante cambios en el entorno [7]. Los sistemas de fusión de sensores desempeñan un papel crucial al

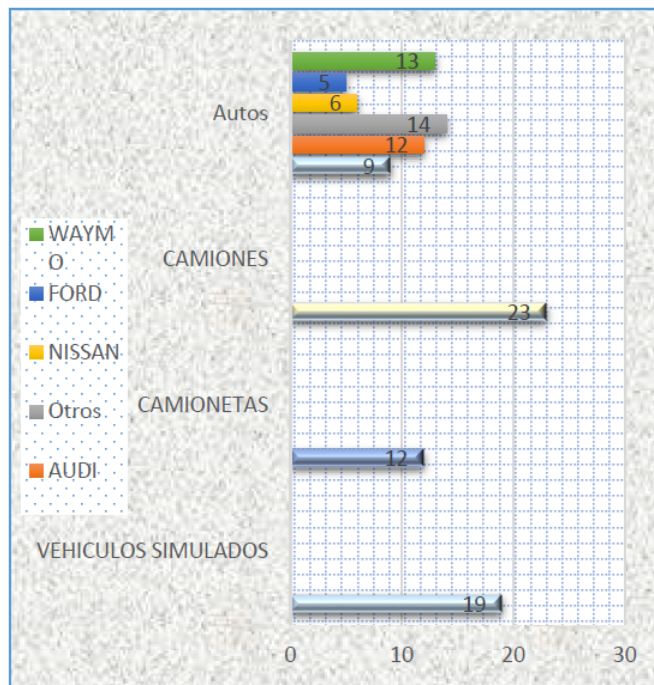


Fig. 2: Tipos de vehículos utilizados para el estudio

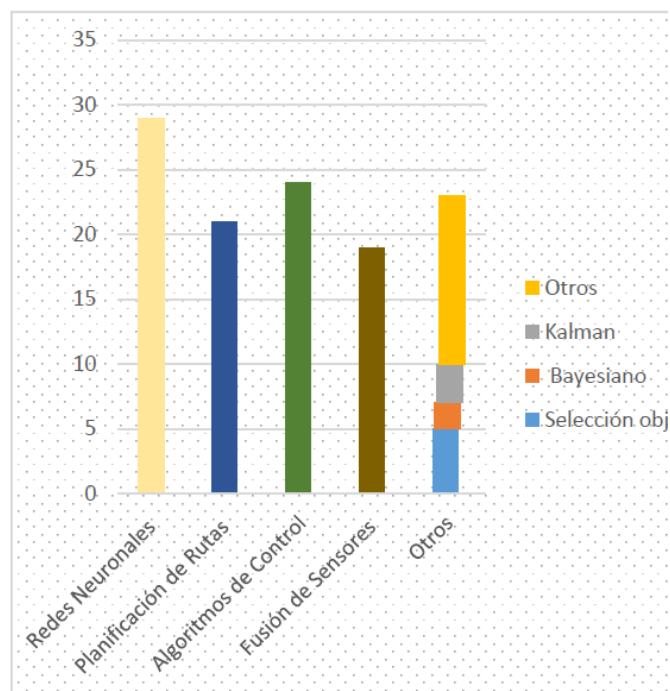


Fig. 3 Algoritmos más utilizados en la conducción autónoma.

C. Metodologías utilizadas

Las metodologías son esenciales para el progreso y la mejora continua de los algoritmos de inteligencia artificial utilizados en la conducción autónoma. Esto se debe a que permiten tomar decisiones más eficaces en tiempo real que conlleva a una disminución significativa los accidentes de tránsito. En la Tabla II se registra las diversas metodologías abordadas por los autores. Sobre todo, se observan que las que más resaltan y se repiten en los artículos son [8] y [9].

Tabla II
METODOLOGÍAS EMPLEADAS

Metodología	Importancia
Recopilación y Anotación de Datos [8], [10] y [11]	Consiste en recopilar datos, lo que supone la instalación de sensores en vehículos de prueba para adquirir información del entorno, incluyendo imágenes, radar y datos de ultrasonido
Entrenamiento de Modelos de Aprendizaje Automático [12], [15]	La mayoría de los sistemas de percepción utilizados en la conducción autónoma se apoyan en modelos de aprendizaje automático.
Simulación [2],[16] y [17]	Desempeña un papel esencial en la validación y evaluación de algoritmos de conducción autónoma. Se generan ambientes virtuales que simulan condiciones de conducción reales, lo que habilita a los ingenieros para analizar el desempeño de los algoritmos de forma segura y bajo control.
Pruebas en Carreteras Reales y Retroalimentación [16] y [18]	Los vehículos autónomos equipados con los algoritmos se someten a pruebas en carreteras públicas bajo la supervisión de conductores de seguridad.

D. Contribución de los algoritmos en la conducción autónoma

En la siguiente Tabla III se muestran las contribuciones más resaltantes que algoritmos han aportado al campo de la conducción autónoma. Los continuos avances en los algoritmos de inteligencia artificial han marcado una presencia notable, transformando de manera significativa el panorama de la conducción autónoma [7]. Estos desarrollos han generado soluciones innovadoras que trascienden las limitaciones convencionales, al tiempo que mejoran aspectos críticos relacionados con la seguridad vial [10]. La integración de estos algoritmos ayuda a reconocer objetos, peatones, vehículos y señales de tráfico en el entorno del vehículo [2]. Los algoritmos de IA contribuyen al monitoreo constante de sistemas y sensores para detectar posibles fallos o anomalías, lo que es crucial para garantizar la seguridad de la conducción autónoma. A continuación, en la Tabla III, se presentarán los algoritmos que han realizado las contribuciones más destacadas.

E. Limitación de los Algoritmos

En la siguiente Tabla IV, se muestra diversas limitaciones de los algoritmos en el contexto de la conducción autónoma, que requieren atención continua para mejorar de dichas limitaciones y poder adaptarlo a entornos dinámicos y cambiantes. Una de las restricciones fundamentales se encuentra en la dependencia de grandes conjuntos de datos para

el entrenamiento de algoritmos [11]. Esta necesidad de datos voluminosos no solo plantea desafíos prácticos en términos de almacenamiento y procesamiento sino en cómo procesa dichas informaciones [12]. En la Tabla IV se muestra las limitaciones que más resaltan.

Tabla III
CONTRIBUCIONES DE ALGORITMOS A LA CONDUCCIÓN AUTÓNOMA

Algoritmo	Contribuciones
Redes Neuronales [18] y [19]	Avances en la detección de comportamientos riesgosos. Incremento en la precisión de la identificación de objetos y obstáculos.
Planificación de Rutas [21] y [22]	Optimización eficiente de las rutas para minimizar el riesgo de accidentes. Reducción del tiempo de viaje y mejora de la eficiencia del tráfico.
Algoritmos de Control [4] y [23]	Respuesta rápida y precisa a situaciones de emergencia. Estabilización del vehículo y control efectivo de la velocidad y dirección. Mejora en la seguridad y maniobrabilidad del vehículo.
Fusión de Sensores [24] y [26]	Integración de sensores para una percepción más completa del entorno. Mayor precisión y confiabilidad en la detección de objetos y obstáculos. Reducción de falsos positivos y mejora en la toma de decisiones.
Filtro de Kalman [18] y [26]	Mejora de la estimación y predicción de estados en sistemas dinámicos. Reducción de ruido y errores en mediciones y seguimiento de objetos.
Aprendizaje Bayesiano [16] y [17]	Manejo eficiente de la incertidumbre y actualización continua de creencias. Aprendizaje adaptativo basado en la evidencia y mejora de la toma de decisiones bajo incertidumbre.

Tabla IV
LIMITACIONES DE LOS ALGORITMOS

Algoritmo	Limitación
Redes Neuronales [22] y [28]	Requiere grandes conjuntos de datos para entrenamiento. Puede ser vulnerable a ataques adversarios y generar decisiones difíciles de interpretar.
Planificación de Rutas [29] y [30]	Sensible a cambios rápidos en el entorno que pueden no estar reflejados en los mapas estáticos.
Algoritmos de Control [22] y [31]	Requiere una modelización precisa del sistema y puede no ser óptimo para sistemas altamente no lineales o desconocidos.
Fusión de Sensores [1] y [2]	Complejidad en la integración de diferentes tipos de sensores y en la sincronización de sus datos. Puede ser costoso implementar múltiples sensores de alta calidad.
Filtro de Kalman [3], [4] y [28]	Supone linealidad y normalidad en la distribución de datos, lo que puede ser limitante en situaciones no lineales o con distribuciones no gaussianas. Sensible a cambios bruscos.
Aprendizaje Bayesiano [3],[4] y [28]	Puede ser computacionalmente costoso, especialmente en entornos con grandes cantidades de datos y alta dimensionalidad. Sensible a la elección de hiperparámetros.

F. Algoritmos para la reducción de accidentes

Los principales algoritmos destinados a la reducción de accidentes revelan una diversidad de enfoques que buscan mejorar la seguridad [13]. Las Redes Neuronales destacan por su capacidad para aprender patrones complejos y tomar decisiones en tiempo real, siendo especialmente útiles en

situaciones dinámicas de tráfico como se muestra en la (Fig. 4). Sin embargo, su desventaja radica en la necesidad de grandes conjuntos de datos que le permite tomar un mayor tiempo de respuesta (Fig 5).

Mientras que los Sistemas basados en reglas y la detección de objetos por radar proporcionan respuestas muy rápidas a pesar de ello, no destacan en la capacidad de procesar datos (Fig. 4). Esta comparación subraya la importancia de equilibrar la velocidad de respuesta con la capacidad de adaptación en entornos de conducción donde la reducción de accidentes no solo depende la rapidez sino también de la calidad múltiples decisiones tomadas por los algoritmos.

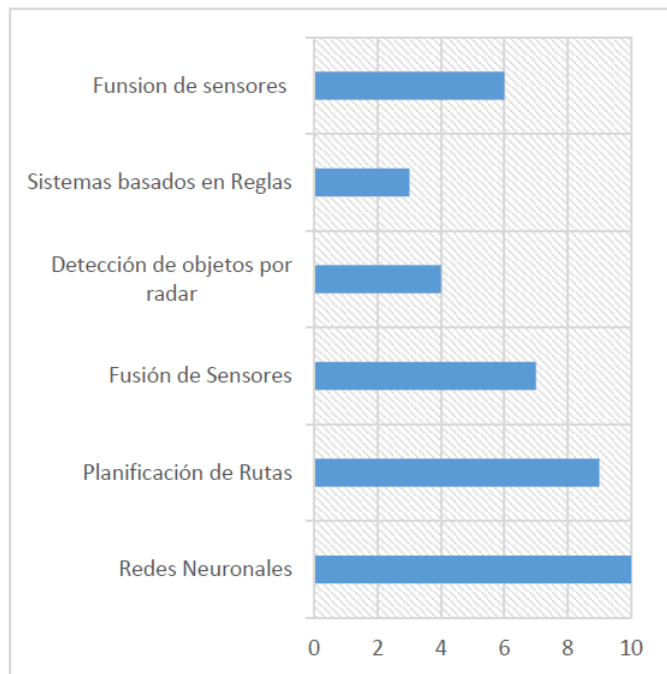


Fig 4. Algoritmos con m1s relevancia (escala 1-10)

IV. DISCUSI3N.

La presente revisi3n sistem1tica de la literatura ha explorado de manera exhaustiva el paisaje actual de conocimientos relacionados con la comparaci3n de los algoritmos de inteligencia artificial. A trav3s de un enfoque meticuloso y riguroso, hemos identificado, analizado y sintetizado una amplia gama de estudios, investigaciones y contribuciones acad3micas relevantes.

En primer lugar, se observa que los veh3culos utilizados para las pruebas en menor cantidad son los camiones y camionetas a comparaci3n de los autos sedanes los cuales las marcas m1s utilizadas son Ford, Nissan, Audi, Google (a trav3s de Waymo). Los cuales cumple con las caracter1sticas de estar implementados con sensores como c1maras y radares, por lo cual estos veh3culos utilizan inteligencia artificial para procesar datos y tomar decisiones en tiempo real [28]. Su sistema de

navegaci3n aut3noma les permite planificar rutas y adaptarse al entorno circundante.

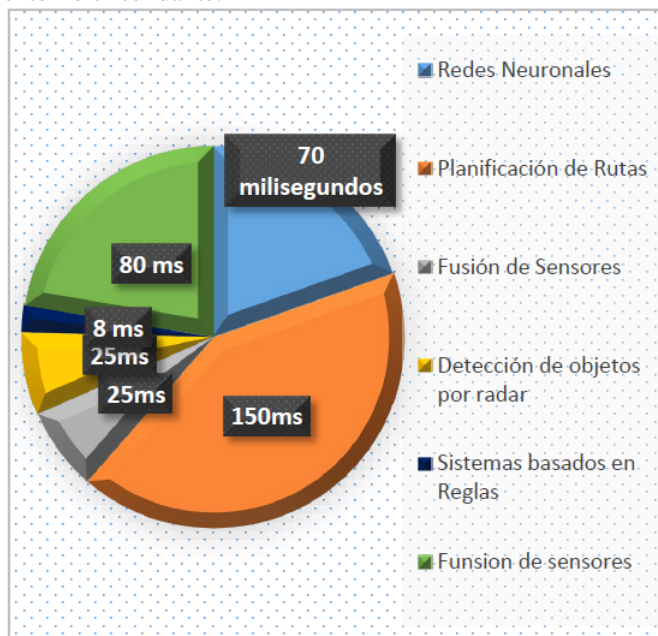


Fig 5. Tiempo de respuesta de los algoritmos

En segundo lugar, esta revisi3n sistem1tica encontr3 que los algoritmos m1s utilizados para la conducci3n aut3noma son las redes neuronales, planificaci3n de rutas y fusi3n de sensores y sistemas basado en reglas, sin embargo, los algoritmos bayesianos pueden ser aplicados en diversas 1reas, como en los algoritmos de planeaci3n de rutas [29]. Ya que algoritmos bayesianos pueden evaluar la probabilidad de diferentes eventos y ayudar en la toma de decisiones basada en la informaci3n disponible [30]. Adem1s los algoritmos bayesianos pueden ser utilizados en las redes neuronales para modelar la incertidumbre asociada con la toma de decisiones en entornos din1micos debido a que son eficientes para manejar la incertidumbre y la variabilidad en los datos y evaluar los riesgos asociados con diferentes rutas posibles [27].

En tercer lugar, se encontr3 que la mayor1a de los estudios condice que las metodolog1as m1s utilizadas que son la recopilaci3n y anotaci3n de datos [31] [32] y [33], y entrenamientos de modelo de aprendizaje [34], [35], [36] y [37], sin embargo, tambi3n resaltan las metodolog1as de simulaci3n [38], [39], [40],[41], [42], [43] y [44] y pruebas de carreteras con radares [18].

Por 1ltimo, los algoritmos desempe1an un papel crucial en la toma de decisiones y el control de veh3culos aut3nomos, garantizando la seguridad y eficiencia del sistema para la reducci3n de accidentes[45-49]. En este contexto, se discuten los diferentes algoritmos y la relevancia en la conducci3n aut3noma. Las redes neuronales es uno de los algoritmos principales en el procesamiento de datos, pero con un tiempo de respuesta alto, a comparaci3n de los algoritmos de fusi3n de sensores que no tiene alta relevancia, pero su capacidad de tiempo de respuesta es menor a 12 milisegundo [50-55]. Otro

de los algoritmos importante para la conducción autónoma es el algoritmo de planificación de rutas que procesa grandes cantidades de datos por ende su tiempo de respuesta es alto que oscila entre 150 a 170 ms haciéndolo poco eficiente en las respuestas inmediatas antes circunstancias inesperadas [56].

Ninguno de los estudios sostiene que los algoritmos de inteligencia artificial estén completamente perfeccionados para llevar a cabo la conducción autónoma sin provocar algún tipo de accidente. Por lo tanto, es importante destacar que, a pesar de los notables avances en la investigación y desarrollo de algoritmos de inteligencia artificial para la conducción autónoma, la tecnología aún no ha alcanzado un estado de perfección que garantice la ausencia total de riesgos. En este sentido, ningún estudio respalda la afirmación de que los algoritmos de inteligencia artificial están completamente perfeccionados y libres de la posibilidad de provocar accidentes durante la conducción autónoma.

V. CONCLUSIÓN.

En conclusión, la revisión sistemática de la literatura sobre la comparación de algoritmos de inteligencia artificial en la conducción autónoma para reducir accidentes de vehículos particulares ha demostrado que la inteligencia artificial tiene un gran potencial para mejorar la seguridad en las carreteras.

A través una amplia gama de estudios, investigaciones y contribuciones académicas relevantes que han explorado el paisaje actual de conocimientos relacionados con la comparación de algoritmos de inteligencia artificial se puede concluir que:

Los algoritmos más utilizados en la conducción autónoma son las redes neuronales, la planificación de rutas, la fusión de sensores, la detección de objetos por radar y los sistemas basados en reglas. Además, se ha encontrado que la mayoría de los estudios se han centrado en vehículos sedanes, mientras que los camiones y camionetas han sido menos estudiados.

Los algoritmos de inteligencia artificial pueden reducir significativamente el número de accidentes de tráfico y mejorar la seguridad en las carreteras. Sin embargo, también se han identificado desafíos importantes en la implementación de la conducción autónoma, como la falta de datos de entrenamiento y la necesidad de mejorar la precisión de los algoritmos.

En general, la revisión sistemática de la literatura ha proporcionado una visión detallada y exhaustiva de los avances actuales en la comparación de algoritmos de inteligencia artificial en la conducción autónoma. Se espera que en el futuro esta información sea útil para los investigadores, ingenieros y diseñadores que trabajan en el desarrollo de sistemas de conducción autónoma más seguros y eficientes.

AGRADECIMIENTOS

El autor Ríos Peña desea agradecer a la Universidad Tecnológica del Perú por el apoyo en el desarrollo de la publicación, y en especial a Emily Baca Marroquín y Juan Magallanes docentes del curso Formación para la Investigación

- Sistemas ya que el presente documento fue elaborado y asesorado en el marco del curso durante el semestre académico 2023-II.

REFERENCIAS

- [1] A. Paranjothi, M. S. Khan, R. Patan, R. M. Parizi, and M. Atiquzzaman, "Anatomo: A congestion identification and control scheme in connected vehicles using network tomography," *Comput Commun*, vol. 151, pp. 275–289, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.comcom.2020.01.017.
- [2] "Retraction: Vehicle detection for vision-based intelligent transportation systems using convolutional neural network algorithm (Journal of Advanced Transportation (2022) 2022 (11) DOI: 10.1155/2022/9189600)," *Journal of Advanced Transportation*, vol. 2022. Hindawi Limited, 2022. doi: 10.1155/2022/9782608.
- [3] K. Ren, Q. Wang, C. Wang, Z. Qin, and X. Lin, "The Security of Autonomous Driving: Threats, Defenses, and Future Directions," *Proceedings of the IEEE*, vol. 108, no. 2. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 357–372, Feb. 01, 2020. doi: 10.1109/JPROC.2019.2948775.
- [4] M. Malayjerdi, B. C. Baykara, R. Sell, and E. Malayjerdi, "Safety Assessment and Simulation of Autonomous Vehicle in Urban Environments," in *Proceedings of the International Conference of DAAAM Baltic*, DAAAM International Vienna, 2021. doi: 10.1088/1757-899X/1140/1/012032.
- [5] E. Esenturk, A. G. Wallace, S. Khastgir, and P. Jennings, "Identification of Traffic Accident Patterns via Cluster Analysis and Test Scenario Development for Autonomous Vehicles," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 6660–6675, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3140052.
- [6] C. Kyrkou et al., "Towards artificial-intelligence-based cybersecurity for robustifying automated driving systems against camera sensor attacks," in *Proceedings of IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI, ISVLSI*, IEEE Computer Society, Jul. 2020, pp. 476–481. doi: 10.1109/ISVLSI49217.2020.00-11.
- [7] J. Liao, T. Liu, X. Tang, X. Mu, B. Huang, and D. Cao, "Decision-making strategy on highway for autonomous vehicles using deep reinforcement learning," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 177804–177814, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3022755.
- [8] S. Sabeeh and K. Wesolowski, "Congestion Control in Autonomous Resource Selection of Cellular-V2X," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 7450–7460, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3238466.
- [9] M. I. Hussain, M. A. Rafique, J. Kim, M. Jeon, and W. Pedrycz, "Artificial Proprioceptive Reflex Warning Using EMG in Advanced Driving Assistance System," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 31, pp. 1635–1644, 2023, doi: 10.1109/TNSRE.2023.3254151.
- [10] D. An, J. Liu, M. Zhang, X. Chen, M. Chen, and H. Sun, "Uncertainty modeling and runtime verification for autonomous vehicles driving control: A machine learning-based approach," *Journal of Systems and Software*, vol. 167, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.jss.2020.110617.
- [11] C. Wang, Z. Wang, L. Zhang, H. Yu, and D. Cao, "Post-Impact Motion Planning and Tracking Control for Autonomous Vehicles," *Chinese Journal of Mechanical Engineering (English Edition)*, vol. 35, no. 1, Dec. 2022, doi: 10.1186/s10033-022-00745-w.
- [12] J. Xing, "Traffic Sign Recognition From Digital Images Using Deep Learning."
- [13] Y. Liu, G. Liu, Y. Wu, W. He, Y. Zhang, and Z. Chen, "Reinforcement-Learning-Based Decision and Control for Autonomous Vehicle at Two-Way Single-Lane Unsignalized Intersection," *Electronics (Switzerland)*, vol. 11, no. 8, Apr. 2022, doi: 10.3390/electronics11081203.
- [14] G. Liu, H. Jin, J. Li, X. Hu, and J. Li, "A Bayesian deep learning method for freeway incident detection with uncertainty quantification," *Accid Anal Prev*, vol. 176, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.aap.2022.106796.
- [15] S. David, V. P. Ajay, and N. Kirubanandasarathy, "VANET based self-governed vehicle strategy in association with multi-object recognition and key mapping features," in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2020, pp. 3838–3845. doi: 10.1016/j.matpr.2020.06.224.

- [16] A. Reyes-muñoz and J. Guerrero-ibáñez, "Vulnerable Road Users and Connected Autonomous Vehicles Interaction: A Survey," *Sensors*, vol. 22, no. 12. MDPI, Jun. 01, 2022. doi: 10.3390/s22124614.
- [17] X. Wang et al., "Vehicle behavior analysis using reconstructed 3D parameters for road safety," *Saf Sci*, vol. 144, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.ssci.2021.105419.
- [18] D. Li, A. Liu, H. Pan, and W. Chen, "Safe, efficient and socially-compatible decision of automated vehicles: a case study of unsignalized intersection driving," *Nov. 2021*, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2111.02977>
- [19] J. Negrini De Araujo, V. Palade, and T. Sedighi, "Improving the Pedestrian Detection Performance in the Absence of Rich Training Datasets: A UK Case Study," 2022. [Online]. Available: <https://www.oajaiml.com/>
- [20] A. S. Akopov, L. A. Beklaryan, and A. L. Beklaryan, "Simulation-Based Optimisation for Autonomous Transportation Systems Using a Parallel Real-Coded Genetic Algorithm with Scalable Nonuniform Mutation," *Cybernetics and Information Technologies*, vol. 21, no. 3, pp. 127–144, Sep. 2021, doi: 10.2478/cait-2021-0034.
- [21] O. Sharma, N. C. Sahoo, and N. B. Puhana, "Kernelized convolutional transformer network based driver behavior estimation for conflict resolution at unsignalized roundabout," *ISA Trans*, vol. 133, pp. 13–28, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.isatra.2022.07.004.
- [22] J. Cao et al., "Front vehicle detection algorithm for smart car based on improved SSD model," *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 16, pp. 1–21, Aug. 2020, doi: 10.3390/s20164646.
- [23] S. A. Almalki and F. Sheldon, "Prospectus: An Online Polymorphic Attack Detection Model for Intelligent Transportation Systems," in *Proceedings - 2020 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence, CSCI 2020*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Dec. 2020, pp. 1115–1119. doi: 10.1109/CSCI51800.2020.00207.
- [24] M. Chu et al., "Work with AI and Work for AI: Autonomous Vehicle Safety Drivers' Lived Experiences," in *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, Association for Computing Machinery, Apr. 2023. doi: 10.1145/3544548.3581564.
- [25] Y. L. Lin and C. Wen, "Vehicle Vision Robust Detection and Recognition Method," *Intern J Pattern Recognit Artif Intell*, vol. 34, no. 10, Sep. 2020, doi: 10.1142/S02180014205050204.
- [26] C. Mu, L. Du, and X. Zhao, "Event triggered rolling horizon based systematical trajectory planning for merging platoons at mainline-ramp intersection," *Transp Res Part C Emerg Technol*, vol. 125, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.trc.2021.103006.
- [27] K. Takaguchi, A. Kappes, J. M. Yearsley, T. Sawai, D. J. C. Wilkinson, and J. Savulescu, "Personal ethical settings for driverless cars and the utility paradox: An ethical analysis of public attitudes in UK and Japan," *PLoS One*, vol. 17, no. 11 November, Nov. 2022, doi: 10.1371/journal.pone.0275812.
- [28] Y. H. Khalil and H. T. Mouftah, "Exploiting Multi-Modal Fusion for Urban Autonomous Driving Using Latent Deep Reinforcement Learning," *IEEE Trans Veh Technol*, vol. 72, no. 3, pp. 2921–2935, Mar. 2023, doi: 10.1109/TVT.2022.3217299.
- [29] F. N. Ortataş and E. Çetin, "Traffic sign recognition and the application of simulation using machine learning in electric and autonomous vehicles," *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, vol. 8, no. 3, pp. 1081–1092, 2021, doi: 10.31202/ecjse.867733.
- [30] V. Abedi, M. H. Zadeh, J. Dargahi, and P. Fekri, "Software Failures Prediction in Self-Driving Vehicles," in *IEEE Vehicular Technology Conference*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Nov. 2020. doi: 10.1109/VTC2020-Fall49728.2020.9348849.
- [31] A. Balador et al., "Survey on decentralized congestion control methods for vehicular communication," *Vehicular Communications*, vol. 33. Elsevier Inc., Jan. 01, 2022. doi: 10.1016/j.vehcom.2021.100394.
- [32] "Towards Autonomous Vehicles and Machinery in Mill Yards of the Forest Industry Technologies and Proposals for Autonomous Vehicle Operations".
- [33] Z. Liu, H. Jia, and Y. Wang, "Urban expressway parallel pattern recognition based on intelligent IOT data processing for smart city," *Comput Commun*, vol. 155, pp. 40–47, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.comcom.2020.03.014.
- [34] H. Yan, "Vehicle Safety-Assisted Driving Technology Based on Computer Artificial Intelligence Environment," *Comput Intell Neurosci*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/4390394.
- [35] T. Ard et al., "Energy and flow effects of optimal automated driving in mixed traffic: Vehicle-in-the-loop experimental results," *Transp Res Part C Emerg Technol*, vol. 130, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.trc.2021.103168.
- [36] S. Y. Chou, A. Dewabharata, and F. E. Zulvia, "Dynamic space allocation based on internal demand for optimizing release of shared parking," *Sensors*, vol. 22, no. 1, Jan. 2022, doi: 10.3390/s22010235.
- [37] R. Ren et al., "Vehicle crash simulations for safety: Introduction of connected and automated vehicles on the roadways," *Accid Anal Prev*, vol. 186, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.aap.2023.107021.
- [38] L.-H. Nguyen, V.-L. Nguyen, and J.-J. Kuo, "IEEE Access Efficient Reinforcement Learning-based Transmission Control for Mitigating Chancel
- [39] Congestion in 5G V2X Sidelink", doi: 10.1109/ACCESS.2021.DOI.
- [40] P. Kowalczyk, M. Komorkiewicz, P. Skruch, and M. Szelest, "Efficient Characterization Method for Big Automotive Datasets Used for Perception System Development and Verification," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 12629–12643, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3145192.
- [41] R. Bibi et al., "Edge AI-Based Automated Detection and Classification of Road Anomalies in VANET Using Deep Learning," *Comput Intell Neurosci*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/6262194.
- [42] F. Fadhil, M. Abdulghani, A. Salih, and M. Ghazal, "Traffic Surveillance: Vehicle Detection and Pose Estimation Based on Deep Learning," *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. 99, no. 2, pp. 131–134, 2023, doi: 10.15199/48.2023.02.22.
- [43] J. J. Wee, C. Tee, and M. K. O. Goh, "Forward Collision Warning for Autonomous Driving," *Journal of Logistics, Informatics and Service Science*, vol. 9, no. 3, pp. 208–225, 2022, doi: 10.33168/LISS.2022.0315.
- [44] Roohullah, F. Wahid, S. Ali, I. A. Abbasi, S. Baseer, and H. U. Khan, "Accident Detection in Autonomous Vehicles Using Modified Restricted Boltzmann Machine," *Security and Communication Networks*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/6424835.
- [45] M. Yue, C. Fang, H. Zhang, and J. Shangquan, "Adaptive authority allocation-based driver-automation shared control for autonomous vehicles," *Accid Anal Prev*, vol. 160, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.aap.2021.106301.
- [46] M. Minea, C. M. Dumitrescu, and I. M. Costea, "Advanced e-call support based on non-intrusive driver condition monitoring for connected and autonomous vehicles," *Sensors*, vol. 21, no. 24, Dec. 2021, doi: 10.3390/s21248272.
- [47] Z. Zhong, S. Huang, X. Liu, B. Zhang, and D. Dong, "Adversarial attacks on YOLACT instance segmentation," *Comput Secur*, vol. 116, May 2022, doi: 10.1016/j.cose.2022.102682.
- [48] D. Qiao and F. Zulkernine, "Adaptive Feature Fusion for Cooperative Perception using LiDAR Point Clouds," *Jul. 2022*, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2208.00116>
- [49] V. Behzadan and A. Munir, "Adversarial Reinforcement Learning Framework for Benchmarking Collision Avoidance Mechanisms in Autonomous Vehicles," *Jun. 2018*, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1806.01368>
- [50] C. Shea-Blymyer and H. Abbas, "Algorithmic ethics: Formalization and verification of autonomous vehicle obligations," *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems*, vol. 5, no. 4, Oct. 2021, doi: 10.1145/3460975.
- [51] S. Manne, E. L. Lydia, I. V. Pustokhina, D. A. Pustokhin, V. S. Parvathy, and K. Shankar, "An intelligent energy management and traffic predictive model for autonomous vehicle systems," *Soft comput*, vol. 25, no. 18, pp. 11941–11953, Sep. 2021, doi: 10.1007/s00500-021-05614-7.
- [52] A. Zekry, A. Sayed, M. Moussa, and M. Elhabiby, "Anomaly Detection using IoT Sensor-Assisted ConvLSTM Models for Connected Vehicles," in *IEEE Vehicular Technology Conference*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Apr. 2021. doi: 10.1109/VTC2021-Spring51267.2021.9449086.
- [53] Y. Wang, S. Yang, J. Li, S. Xu, and J. Wang, "An Emergency Driving Intervention System Designed for Driver Disability Scenarios Based on Emergency Risk Field," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 20, no. 3, Feb. 2023, doi: 10.3390/ijerph20032278.

- [54]M. Waqas et al., “Authentication of vehicles and road side units in intelligent transportation system,” *Computers, Materials and Continua*, vol. 64, no. 1, pp. 359–371, 2020, doi: 10.32604/CMC.2020.09821.
- [55]Q. Shangguan, T. Fu, J. Wang, T. Luo, and S. Fang, “An integrated methodology for real-time driving risk status prediction using naturalistic driving data,” *Accid Anal Prev*, vol. 156, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.aap.2021.106122.
- [56]M. I. Hussain, M. A. Rafique, J. Kim, M. Jeon, and W. Pedrycz, “Artificial Proprioceptive Reflex Warning Using EMG in Advanced Driving Assistance System,” *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 31, pp. 1635–1644, 2023, doi: 10.1109/TNSRE.2023.3254151.
- [57]X. Wang et al., “Autonomous driving testing scenario generation based on in-depth vehicle-to-powered two-wheeler crash data in China,” *Accid. Anal Prev*, vol. 176, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.aap.2022.106812.