

Comparative Analysis of Regulatory Frameworks for Autonomous Vehicle Safety: RSL

Carlos Ormeño¹, Giampier Montes², Carmen Cuba³, Cesar Cabrera⁴

^{1,2,3,4} Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U20246087@utp.edu.pe, U20227958@utp.edu.pe, c20369@utp.edu.pe, c20259@utp.edu.pe

Abstract— *The accelerated adoption of autonomous vehicles (AVs) has driven the development of regulatory frameworks and technical standards aimed at ensuring their safe, ethical, and legal operation. This Systematic Literature Review (SLR) aims to analyze and compare major international regulatory frameworks related to autonomous vehicle safety, identifying strengths, weaknesses, and regulatory gaps. The review focused on studies addressing vehicles with SAE Levels 3 to 5 of autonomy, paying particular attention to applied legal and regulatory frameworks, as well as their effectiveness in mitigating risks and incidents. While no formal comparison was established, priority was given to works examining regional differences between Europe, the United States, and Asia. The bibliographic search followed a structured and rigorous process to select relevant, high-quality scientific literature. The identified studies address both functional safety—understood as the vehicle’s ability to operate without causing harm—and cybersecurity, focused on protection against digital threats and unauthorized access. The findings reveal a fragmented regulatory landscape with diverse regional approaches, where some countries (e.g., Germany) show significant progress, while others remain in developmental phases. The review underscores the need to harmonize standards and strengthen international legal frameworks by integrating technical, legal, and social perspectives. This research contributes to the academic and regulatory debate by offering a comparative analysis that may serve as a foundation for more coherent and effective public policies.*

Keywords— *autonomous vehicles, regulatory frameworks, safety.*

Análisis comparativo de marcos regulatorios en seguridad de vehículos autónomos: RSL

Carlos Ormeño¹, Giampier Montes², Carmen Cuba³, Cesar Cabrera⁴

^{1,2,3,4} Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U20246087@utp.edu.pe, U20227958@utp.edu.pe, c20369@utp.edu.pe, c20259@utp.edu.pe

Resumen— La adopción acelerada de vehículos autónomos (VA) ha impulsado el desarrollo de marcos regulatorios y estándares técnicos orientados a garantizar su operación segura, ética y legal. Esta Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) tiene como propósito analizar y comparar los principales marcos regulatorios internacionales relacionados con la seguridad de los vehículos autónomos, identificando fortalezas, debilidades y vacíos normativos. La revisión se centró en estudios que abordan vehículos con niveles de autonomía del SAE 3 al 5, prestando especial atención a los marcos legales y normativos aplicados, así como a su efectividad en la mitigación de riesgos e incidentes. Aunque no se estableció una comparación formal, se priorizaron trabajos que examinan diferencias regionales entre Europa, Estados Unidos y Asia. La búsqueda bibliográfica se realizó mediante un proceso estructurado y riguroso que permitió la selección de literatura científica relevante y de calidad. Los estudios identificados abordan tanto la seguridad funcional —entendida como la capacidad del vehículo para operar sin causar daños— como la seguridad cibernética, centrada en la protección frente a amenazas digitales y accesos no autorizados. Los hallazgos revelan un escenario regulatorio fragmentado, con enfoques diversos según la región, donde algunos países muestran avances significativos (como Alemania), mientras otros continúan en fase de desarrollo. La revisión subraya la necesidad de armonizar estándares y fortalecer el marco legal internacional, integrando perspectivas técnicas, jurídicas y sociales. Esta investigación contribuye al debate académico y regulatorio al ofrecer una visión comparativa que puede servir como base para la formulación de políticas públicas más coherentes y eficaces.

Palabras clave—“vehículos autónomos”, “marcos regulatorios”, seguridad.

I. INTRODUCCIÓN

La adopción de los vehículos autónomos representa un punto de inflexión en la evolución del transporte contemporáneo, al introducir nuevas oportunidades en materia de seguridad vial, eficiencia operativa y sostenibilidad ambiental [1]. Estos sistemas, fundamentados en tecnologías como la inteligencia artificial, sensores de alta precisión y conectividad en tiempo real, ofrecen un potencial significativo para mitigar los accidentes de tránsito atribuibles a errores humanos, los cuales constituyen más del 90 % de los siniestros viales en diversas regiones, incluyendo Europa [2]. En la actualidad, compañías líderes como Waymo, Tesla, Audi y General Motors encabezan el desarrollo de vehículos con capacidades de autonomía de Nivel 3 y 4, avanzando hacia una visión a largo plazo de conducción plenamente automatizada [2].

Sin embargo, la implementación de esta tecnología avanzada implica afrontar desafíos significativos en términos de seguridad vial, ética, infraestructura y regulación. Diversos estudios coinciden en que, a pesar del

potencial de los vehículos autónomos (VA) para mejorar la movilidad y reducir accidentes, persisten limitaciones legales y vacíos normativos que impiden su adopción efectiva a gran escala [3]. Uno de los aspectos más críticos actualmente es el desarrollo de un marco regulatorio armonizado a nivel internacional que garantice una integración segura y eficiente de estos sistemas en las vías públicas [4]. Además, se ha evidenciado que la seguridad y la capacidad de respuesta de los VAs ante situaciones dinámicas y conflictivas representan retos técnicos y normativos claves en su evolución [5]. Para afrontar estos desafíos, organismos públicos y entidades regulatorias están trabajando en el diseño de normativas que no solo aseguren el cumplimiento técnico, sino que también consideren aspectos de responsabilidad civil, protección de los usuarios vulnerables y la cohesión social del entorno vial [6]. Aun así, se mantiene un desfase notable entre el avance de la tecnología y la velocidad de adaptación de las políticas públicas, generando incertidumbre en los sectores industriales y entre los usuarios potenciales [7].

Además de la seguridad, los dilemas éticos desempeñan un papel fundamental en el diseño y programación de los vehículos autónomos. La toma de decisiones en situaciones críticas, como aquellas donde se debe elegir entre diferentes vidas, plantea complejos problemas normativos que han sido ampliamente debatidos en el marco del conocido “problema del tranvía” [8]. En el caso alemán, por ejemplo, la legislación ha abordado estas cuestiones desde una perspectiva ética y jurídica con el objetivo de convertirse en un modelo internacional de regulación responsable [8]. Estos dilemas no solo conciernen a la programación algorítmica, sino que también requieren marcos legales que determinen los límites de responsabilidad y las normas de comportamiento aceptables [9].

En el ámbito de las normativas internacionales, se evidencia una creciente necesidad de armonizar los marcos regulatorios para facilitar una adopción coherente de los vehículos autónomos a nivel global [10]. Mientras países como Alemania han implementado leyes pioneras, otras regiones aún enfrentan importantes vacíos legales o mantienen requisitos que exigen la supervisión humana incluso para vehículos de Nivel 3, a pesar de que la tecnología actual permite su operación autónoma [11]. Esta disparidad regulatoria frena el despliegue efectivo de los sistemas automatizados en contextos urbanos complejos [11]. Además, sin una regulación integral que aborde estos temas de manera coordinada, se corre el riesgo de comprometer tanto la aceptación social como la seguridad pública, elementos clave para una transición exitosa hacia la movilidad autónoma [12].

La cooperación entre las distintas partes interesadas, incluidos gobiernos, empresas tecnológicas y organizaciones internacionales es crucial para garantizar que el desarrollo de los vehículos autónomos se lleve a cabo de forma coherente, responsable y alineada con un marco legal sólido [13]. Desde la Unión Europea se promueve la creación de un marco jurídico uniforme que prevenga riesgos y regule la responsabilidad civil asociada a la conducción automatizada, adaptando la normativa existente a los desafíos que plantea esta nueva tecnología [13].

Por otra parte, La participación ciudadana resulta fundamental para la aceptación social de los vehículos autónomos, especialmente cuando se abordan temas como la privacidad, la seguridad y la justicia algorítmica. Diversos estudios sugieren que un enfoque inclusivo, que considere los valores sociales en la formulación de políticas públicas, puede fortalecer la confianza en esta tecnología emergente [14]. Al mismo tiempo, la investigación en inteligencia artificial orientada a mejorar la capacidad de los vehículos para responder ante situaciones impredecibles en carretera sigue siendo esencial. Esto implica el desarrollo de entornos regulatorios que, además de atender a la seguridad y la ética, promuevan la innovación tecnológica continua para lograr sistemas de conducción autónoma más inteligentes y eficaces [15].

En este contexto, la intención de la presente Revisión Sistemática de la Literatura es comprender cómo los marcos regulatorios y las condiciones funcionales han contribuido a garantizar la seguridad operativa y legal de los vehículos autónomos, con énfasis en la protección de los usuarios y su interacción segura en entornos viales automatizados.

La revisión tendrá la siguiente estructura: primero, se expone la metodología utilizada para la selección y análisis de estudios relevantes sobre marcos regulatorios en vehículos autónomos. Luego, se presentan los resultados más significativos, seguidos de un análisis comparativo de los enfoques normativos aplicados a distintos niveles de autonomía y contextos geográficos. Finalmente, se discuten las implicancias de los hallazgos para la formulación de políticas públicas y se plantean conclusiones orientadas a futuras líneas de investigación.

II. METODOLOGÍA

El avance normativo en torno a los vehículos autónomos ha generado un creciente interés por comprender la efectividad y coherencia de los marcos regulatorios existentes a nivel internacional. En este estudio, se desarrolló una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) orientada a examinar y comparar dichas regulaciones bajo un enfoque riguroso, ordenado y transparente.

La estrategia metodológica empleada se basó en estudios anteriores sobre gobernanza tecnológica, seguridad normativa y automatización vehicular. Esto permitió seleccionar datos relevantes, accesibles y útiles para futuras investigaciones comparativas. El proceso se organizó de la siguiente manera:

Formulación de interrogantes clave: Se identificaron preguntas orientadas a determinar cómo las regulaciones existentes abordan la seguridad funcional y cibernética de los vehículos autónomos, y cómo varían entre regiones.

Selección de base de datos científica: Se eligió la base Scopus por su alta indexación y cobertura en publicaciones científicas sobre transporte, derecho tecnológico y automatización.

Diseño de una búsqueda estructurada: Se utilizaron términos específicos combinados con operadores booleanos (“autonomous vehicles”, “regulatory framework”, “safety standards”, entre otros), lo que permitió recuperar estudios relevantes en contextos normativos diversos. Criterios de inclusión y exclusión definidos: Se incluyeron estudios sobre vehículos autónomos y marcos regulatorios con énfasis en seguridad. Se excluyeron publicaciones sin acceso completo, no científicas o centradas exclusivamente en aspectos técnicos.

El proceso de cribado permitió identificar artículos altamente relevantes que abordan de manera directa las preguntas de investigación. Por ejemplo, Andraško, Hamulák, Mesarčík, Kerikmäe y Kajander examinan los desafíos de la gobernanza de datos en vehículos conectados dentro del marco legal de la Unión Europea, destacando vacíos regulatorios en torno al tratamiento de datos personales y responsabilidad compartida [16]. Por su parte, Khan, Shiwakoti, Stasinopoulos y Warren desarrollan modelos de ciberseguridad para vehículos automatizados, identificando la necesidad de políticas regulatorias específicas para mitigar ataques cibernéticos en sistemas críticos [17].

Loranc-Borkowska contribuye con un análisis sobre la responsabilidad civil derivada de fallos físicos en automóviles autónomos en el contexto del derecho polaco, revelando la ausencia de normas claras frente a defectos tecnológicos [18]. Tran y Le, por otro lado, proponen un marco regulatorio comparativo entre Europa y el sudeste asiático, explorando cómo los principios europeos pueden adaptarse a otras jurisdicciones con distintos niveles de desarrollo normativo [19]. Finalmente, Bertolini y Riccaboni argumentan que los marcos de responsabilidad vigentes en Europa influyen directamente en la selección de tecnologías emergentes, recomendando un enfoque basado en gestión de riesgos a nivel supranacional [20].

Este diseño metodológico asegura una revisión crítica, comparativa y actualizada de los marcos regulatorios vinculados a la seguridad de los vehículos autónomos, aportando insumos valiosos para propuestas de mejora normativa, armonización internacional y formulación de políticas públicas alineadas con los avances tecnológicos del sector.

A. Estrategia de Búsqueda

La búsqueda se realizó mediante preguntas de investigación PICO, general con sus preguntas específicas.

TABLA I
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

General	RQ: ¿Qué marcos regulatorios se han implementado para garantizar la seguridad de los vehículos autónomos, considerando sus niveles de autonomía, dentro de diferentes contextos de aplicación?
---------	--

P	RQ1: ¿Cómo ha evolucionado entre 2020 y 2025 el enfoque de los estudios sobre la clasificación de los vehículos autónomos en relación con su seguridad, y cómo ha cambiado su abordaje en la literatura científica a lo largo del tiempo?
I	RQ2: ¿Qué tipos de marcos regulatorios han sido aplicados o propuestos para regular la seguridad de vehículos autónomos?
C	RQ3: ¿Qué diferencias existen entre los marcos regulatorios de distintas regiones respecto al enfoque adoptado para la seguridad en vehículos autónomos, y qué ventajas o limitaciones se han identificado?
O	RQ4: ¿Qué evidencias existen en la literatura sobre el grado de implementación y consolidación de los marcos regulatorios orientados a la seguridad de los vehículos autónomos?

B. Criterios de inclusión y exclusión:

Luego de formular la pregunta PICO junto con sus respectivas derivadas, se establecieron los criterios de inclusión y exclusión.

TABLA II
CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

Inclusión	
CRI01	Estudios sobre vehículos autónomos.
CRI02	Análisis de marcos regulatorios.
CRI03	Autonomía SAE vinculada a seguridad.
CRI04	Eficacia regulatoria en prevenir incidentes.
CRI05	Publicaciones entre 2020 y 2025.
Exclusión	
CRE01	El área geográfica de aplicación no está claramente definida
CRE02	Sin acceso al texto completo.
CRE03	Normativas obsoletas o sin aplicación.
CRE04	Enfoque solo en tecnologías especializadas.
CRE05	Idioma distinto de inglés o español.

C. Ecuación de búsqueda:

Para garantizar una recuperación sistemática, precisa y exhaustiva de literatura científica relevante, se desarrolló una estrategia de búsqueda avanzada basada en operadores booleanos aplicada a la base de datos Scopus. Esta estrategia tuvo como objetivo identificar estudios relacionados con vehículos autónomos, particularmente en lo referente a sus marcos regulatorios y efectividad normativa en materia de seguridad. Para ello se utilizaron los siguientes términos de búsqueda: (TITLE-ABS-KEY (("autonomous cars" OR "autonomous driving" OR "self-driving cars" OR "automated vehicles" OR "driverless cars" OR "robotic vehicles" OR "intelligent vehicles" OR "connected and autonomous vehicles" OR "autonomous driving systems" OR "automated driving systems" OR "self-driving systems" OR "vehicle automation" OR "automated driving technologies" OR "SAE Level 3" OR "SAE Level 4" OR "SAE Level 5" OR "Automated driving" OR "autonomous transport")) AND TITLE-ABS-KEY (("law" OR "laws" OR "legislation" OR "legal frameworks" OR "legal guidelines" OR "statutory requirements" OR "government policy" OR "governmental policy" OR "public policy" OR "policy instruments" OR "policy frameworks" OR "norms" OR "directives" OR "mandates" OR "standards" OR "technical standards" OR "international standards" OR "safety standards" OR "compliance requirements" OR "certification schemes" OR "regulatory frameworks" OR "automated driving

regulation")) AND TITLE-ABS-KEY (("regulations" OR "regulatory differences" OR "policy differences" OR "regional comparison" OR "international comparison" OR "comparative regulation" OR "Europe vs USA" OR "EU regulation" OR "US regulation" OR "Asia regulation" OR "regulatory gap" OR "regulatory" OR "Japan's legal system" OR "Italian legal system" OR "Germany")) AND TITLE-ABS-KEY (("regulation effectiveness" OR "regulatory effectiveness" OR "impact of regulations" OR "regulatory impact" OR "effectiveness" OR "policy effectiveness" OR "safety outcomes" OR "safety performance" OR "safety evaluation" OR "impact assessment" OR "risk mitigation" OR "risk reduction" OR "safety improvement" OR "compliance impact" OR "accident reduction" OR "incident prevention" OR "failure rate" OR "incident rate" OR "safety indicators" OR "regulation" OR "regulatory compliance" OR "regulatory framework"))) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))

D. Selección de datos:

Luego de la filtración y recolección de información de los artículos, estas se organizaron en una tabla de datos.

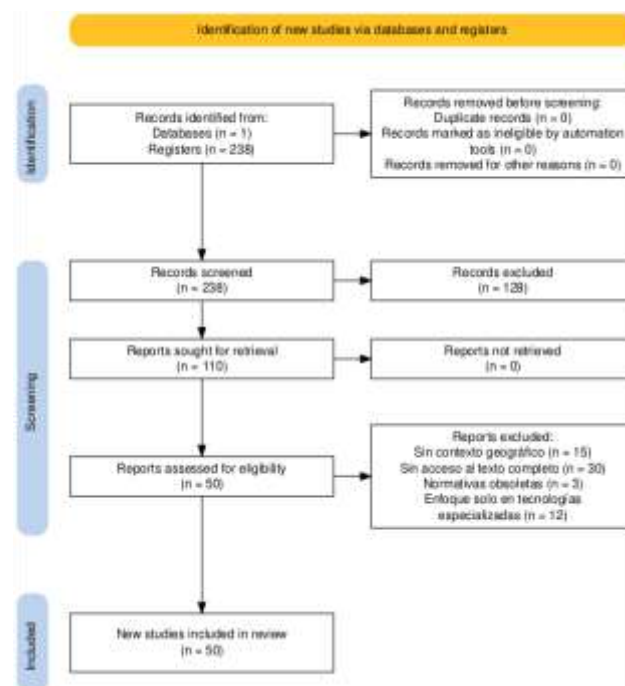


Fig. 1 Diagrama de Flujo PRISMA

III. RESULTADOS

1. Resultados bibliométricos

Los resultados bibliométricos de esta Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) permiten identificar tendencias clave en la investigación sobre marcos regulatorios relacionados con la seguridad de los vehículos autónomos durante el periodo 2020-2025. Se analizaron un total de 50 artículos, los cuales reflejan una diversidad en cuanto a países de origen, sectores aplicados y herramientas regulatorias mencionadas. En términos geográficos, Alemania se destaca como el país con mayor número de publicaciones (14 artículos), siendo el marco alemán la herramienta más citada, con una amplia aplicación tanto en el sector legal como en el sector público. Le siguen Estados Unidos y Australia, con 7 artículos cada uno, donde herramientas

como la NHTSA y estándares en desarrollo son protagonistas del marco regulatorio en esos países. China, con 4 artículos, también refleja un interés creciente, aunque enfocado principalmente en marcos en desarrollo. Respecto a los sectores aplicados, el sector público domina la literatura, con 26 estudios, lo que sugiere una fuerte preocupación institucional por adaptar normativas ante los desafíos de esta tecnología. El sector legal ocupa el segundo lugar con 16 artículos, destacando la atención hacia la responsabilidad civil y la integración normativa de nuevas tecnologías. Por su parte, el sector de seguridad de datos está presente en 8 estudios, especialmente vinculado a marcos como el GDPR, el SCM y el MRC, lo cual evidencia un espacio aún limitado en comparación con otros sectores. En cuanto a las herramientas regulatorias mencionadas, se identifican tanto normas consolidadas como en desarrollo. Entre las más citadas destacan el marco alemán, el reglamento europeo GDPR y la regulación estadounidense NHTSA. También se observan herramientas emergentes y en etapa experimental en países como Italia, Países Bajos o Tailandia, que aún están evaluando el alcance y aplicación de sus marcos normativos. Estos hallazgos reflejan una evolución hacia enfoques cada vez más multidisciplinarios, que integran no solo la seguridad vial, sino también aspectos éticos, legales y de protección de datos. Asimismo, se evidencia una tendencia hacia la consolidación de marcos normativos existentes, al tiempo que persiste un esfuerzo global por adaptar las regulaciones a la velocidad del avance tecnológico.

TABLA III
ARTÍCULOS SELECCIONADOS

Artículo	Año	País	Sector aplicado	Herramientas implementadas
[1]	2024	Alemania	Sector publico	Marco Alemán, SAE J3016
[2]	2024	Eslovenia	Sector publico	SAE J3016, RTRA
[3]	2025	Croacia	Sector Legal	En desarrollo
[4]	2024	Alemania	Sector publico	Marco Alemán, SAE J3016
[5]	2024	Alemania	Sector publico	CEPE 2021
[6]	2024	China	Sector Legal	En desarrollo
[7]	2023	Serbia	Seguridad de datos	GDPR
[8]	2023	Suiza	Seguridad de datos	SCM
[9]	2023	Alemania	Sector legal	Marco Alemán
[10]	2023	Australia	Seguridad de datos	MRC
[11]	2023	Unión Europea	Sector Legal	Reglamento 2022/1426
[12]	2023	Singapur	Sector Legal	Marco penal (PCRC)
[13]	2022	Estados Unidos	Seguridad de datos	DSRC
[14]	2022	Estados Unidos	Sector publico	CPUC
[15]	2022	Italia	Sector Legal	Experimental
[16]	2021	Unión Europea	Seguridad de datos	GDPR
[17]	2023	Australia	Seguridad de datos	SRF
[18]	2020	Polonia	Sector publico	Sistema jurídico civil de Polonia
[19]	2022	Singapur	Sector publico	RTA, LTA Y CETRAN

[20]	2020	Unión Europea	Sector Legal	En desarrollo
[21]	2025	Australia	Sector Legal	En desarrollo
[22]	2025	Alemania	Sector publico	Marco Alemán
[23]	2024	Alemania	Sector publico	Marco Alemán
[24]	2023	Corea del sur	Sector publico	PEGASUS
[25]	2022	Países bajos	Sector publico	Experimental
[26]	2022	Alemania	Sector legal	Marco Alemán
[27]	2022	Tailandia	Sector Legal	En desarrollo
[28]	2021	Australia	Sector Legal	En desarrollo
[29]	2021	Unión Europea	Seguridad de datos	Directiva NIS
[30]	2021	Estados Unidos	Sector publico	NHTSA
[31]	2020	Estados Unidos	Sector publico	NHTSA
[32]	2020	Alemania	Sector publico	Marco Alemán
[33]	2020	Estados Unidos	Sector publico	NHTSA
[34]	2020	Alemania	Sector publico	Marco Alemán
[35]	2020	Rusia	Sector Legal	En desarrollo
[36]	2020	Estados Unidos	Sector publico	NHTSA
[37]	2020	Australia	Sector Legal	En desarrollo
[38]	2025	China	Sector Legal	En desarrollo
[39]	2025	China	Seguridad de datos	PIPL
[40]	2022	Naciones Unidas	Sector publico	ALKS
[41]	2022	Unión Europea	Sector Legal	En desarrollo
[42]	2025	Estados Unidos	Sector publico	NHTSA
[43]	2022	Estados Unidos	Sector publico	NHTSA
[44]	2021	Alemania	Sector publico	Marco Alemán
[45]	2022	Alemania	Sector publico	Marco Alemán
[46]	2020	Alemania	Sector publico	Marco Alemán
[47]	2022	Estados Unidos	Sector publico	NHTSA
[48]	2023	Alemania	Sector publico	Marco Alemán
[49]	2020	China	Sector Legal	En desarrollo
[50]	2020	Alemania	Sector publico	Marco Alemán

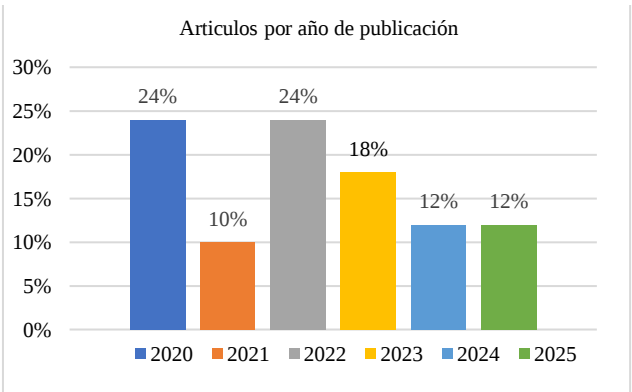
2. Hallazgos obtenidos de la revisión

La figura muestra un mapa de coocurrencia de términos extraídos de artículos científicos. Se observan agrupaciones temáticas que reflejan las áreas más abordadas en la literatura relacionada con vehículos autónomos. Entre los conceptos más destacados se encuentran “vehículos autónomos”, “regulaciones”, “autos autónomos”, “responsabilidad civil” y “seguridad”, lo que evidencia un enfoque significativo en los marcos normativos, los riesgos asociados y las implicaciones legales de esta tecnología emergente. Las conexiones entre los términos indican una alta frecuencia de concurrencia, lo que sugiere que las discusiones regulatorias están profundamente entrelazadas con aspectos técnicos, jurídicos, sociales y de seguridad. Esta visualización proporciona una perspectiva general sobre los ejes conceptuales más estudiados, permitiendo identificar oportunidades para futuras investigaciones en áreas menos

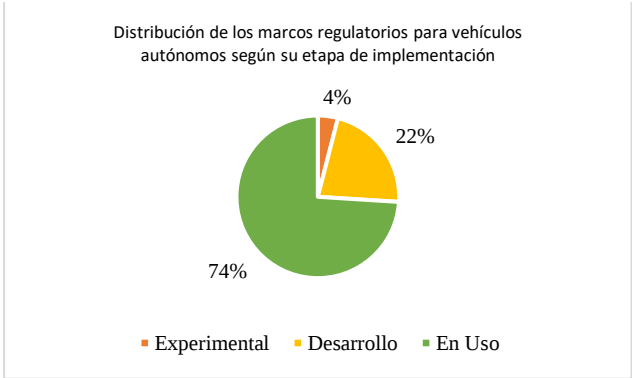
exploradas como la responsabilidad legal, la seguridad operativa o la ética de la automatización.



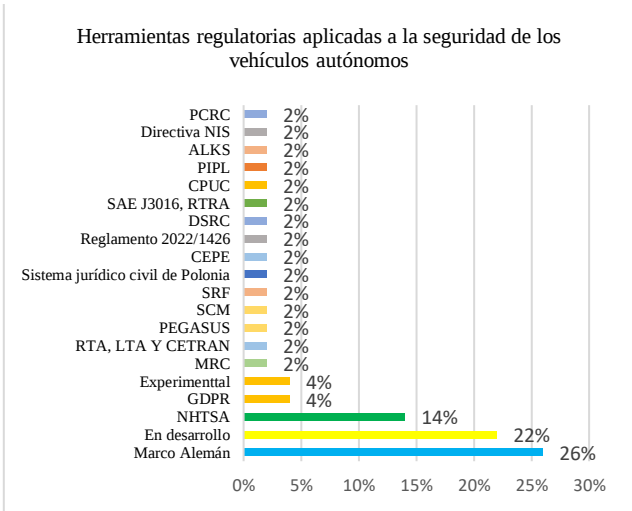
En la figura 3, se revela que entre los años 2020 y 2025, el mayor porcentaje de publicaciones se concentró en 2020 y 2022, con un 24% cada uno, lo que indica un alto interés inicial y renovado en los marcos regulatorios para vehículos autónomos. Posteriormente, se observó una disminución en 2021, con un 10%, seguida por un repunte en 2023, con un 18%, lo que sugiere una renovación en el interés o nuevos desarrollos normativos durante ese período. En los años más recientes, 2024 y 2025, la producción se mantuvo más baja, con un 12% en cada año. Esta estabilización puede explicarse, en parte, por la homologación normativa en algunos países, donde los marcos legales fundamentales ya han sido establecidos, reduciendo así la necesidad de nuevas propuestas académicas y trasladando la atención hacia estudios más aplicados o evaluativos.



En la figura 4, el análisis de las herramientas regulatorias identificadas en los estudios muestra que la mayoría, un 74%, se encuentran en uso, lo que evidencia un avance significativo en la implementación de marcos normativos para vehículos autónomos. Por otro lado, un 22% de las herramientas están en desarrollo, lo cual refleja un interés creciente por parte de varios países en adaptar su legislación a esta nueva tecnología. Solo un 4% se clasifica como experimental, lo que indica que los enfoques de prueba aún son limitados. Esta distribución sugiere una tendencia hacia la consolidación de regulaciones existentes, mientras se mantiene una evolución paralela en contextos donde aún se están definiendo los lineamientos adecuados.



La Figura 5 ilustra la frecuencia con la que se mencionan distintos marcos regulatorios en el análisis de seguridad de vehículos autónomos. El marco alemán destaca como el más citado, con un 26%, de las menciones, consolidándose como un referente clave en el contexto europeo. Le sigue de cerca el grupo de marcos en desarrollo, con un 22%, lo que indica una importante actividad normativa emergente en distintos países y regiones. La NHTSA de Estados Unidos ocupa el tercer lugar con un 14%, reflejando su papel activo en el diseño regulatorio nacional para vehículos automatizados. Otras herramientas como el GDPR (Reglamento General de Protección de Datos) y la categoría Experimental, cada uno con un 4%, también aparecen como marcos relevantes, aunque menos frecuentes. Finalmente, un conjunto de marcos aparece con una sola mención cada uno, representando el 2% respectivamente: MRC (2%), RTA, LTA y CETRAN (2%), PEGASUS (2%), SCM (2%), SRF (2%), el Sistema jurídico civil de Polonia (2%), CEPE (2%), el Reglamento 2022/1426 (2%), DSRC (2%), SAE J3016 y RTRA (2%), CPUC (2%), PCRC (2%), PIPL (2%), ALKS (2%) y la Directiva NIS (2%). Esta distribución evidencia cómo algunos marcos regulatorios se están consolidando como referentes globales, mientras que otros se mantienen en etapas preliminares, experimentales o con aplicación más localizada o sectorial.



La figura 6, muestra la distribución proporcional de los enfoques temáticos identificados en los marcos regulatorios para vehículos autónomos. Se observa que el

sector público representa la mayor proporción, con un 52%, lo que refleja una fuerte presencia de normas relacionadas con pruebas en vías públicas, permisos y zonas designadas. Le sigue el sector legal con un 32%, indicando una atención relevante a leyes, normativas generales y procesos de homologación. En menor medida, se encuentran los marcos centrados en la seguridad de datos, con un 16%, lo cual sugiere que, aunque es un componente importante, aún no ha alcanzado el mismo nivel de desarrollo normativo que los otros sectores. Esta distribución evidencia que la regulación se ha centrado principalmente en los aspectos operativos y jurídicos, mientras que la protección de datos personales sigue en evolución.

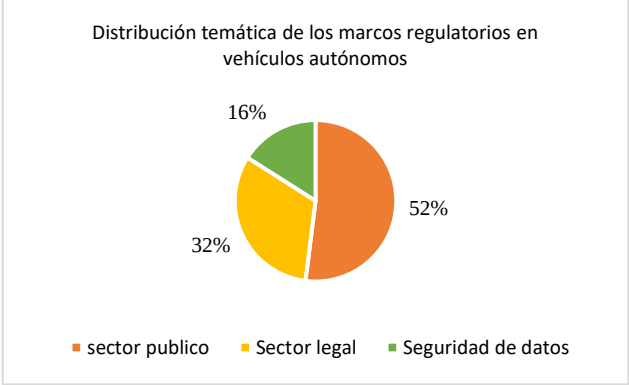


Fig. 6 Distribución temática de los marcos regulatorios en vehículos autónomos.

La figura 7, muestra la distribución del estado de avance de las herramientas regulatorias para vehículos autónomos, diferenciadas por categoría de implementación: desarrollo, uso y experimental, y por sector involucrado: sector legal, sector público y seguridad de datos. En la categoría de uso se concentra la mayor proporción de herramientas, con un claro predominio del sector público, 50%, seguido por seguridad de datos, 16% y en menor medida el sector legal, 8%. Esta alta presencia refleja un avance significativo en la implementación activa de marcos regulatorios. En contraste, en la categoría de desarrollo, la participación más alta corresponde al sector legal, con un 22%, lo que evidencia un proceso legislativo aún en curso para abordar los desafíos de los vehículos autónomos desde el plano jurídico. Por otro lado, la categoría experimental presenta proporciones muy bajas: 2% en el sector legal y 2% en el sector público, mientras que seguridad de datos no registra participación. Esto indica que los enfoques regulatorios aún están poco orientados a la experimentación o innovación normativa controlada.

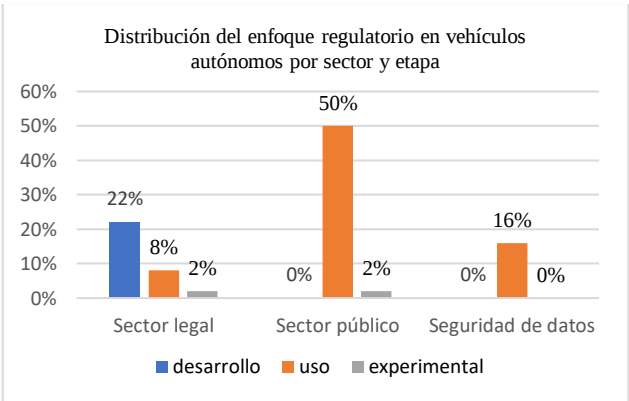


Fig. 7 Distribución del enfoque regulatorio en vehículos autónomos por sector y etapa.

La Figura 8 presenta cómo diversos marcos regulatorios se distribuyen entre tres áreas clave: el sector legal, el sector público y la seguridad de datos. Se observa que el marco alemán tiene una representación destacada en el sector público (22%) y una presencia más moderada en el sector legal (4%), lo que indica un enfoque normativo orientado tanto a lo institucional como a lo jurídico. Por su parte, los marcos en desarrollo concentran su participación exclusivamente en el sector legal (22%), lo que refleja una fase normativa centrada en la formulación de estructuras legales. La NHTSA se posiciona como un referente relevante en el sector público (14%), reafirmando su papel en políticas de aplicación y supervisión en Estados Unidos. La regulación Experimental alcanza un 2% tanto en el sector legal como en el sector público, representando un modelo híbrido en evaluación. En cuanto a la seguridad de datos, aunque menos representada, destacan el GDPR (4%), así como marcos como MRC (2%), RTA, LTA y CETRAN (2%), PEGASUS (2%), SCM (2%), SRF (2%), el Sistema jurídico civil de Polonia (2%), CEPE (2%), el Reglamento 2022/1426 (2%), DSRC (2%), SAE J3016 y RTRA (2%), CPUC (2%), PCRC (2%), PIPL (2%), ALKS (2%) y la Directiva NIS (2%), que abordan específicamente la protección de datos personales y ciberseguridad. Esta distribución sugiere que, si bien la mayoría de las normativas actuales se centran en aspectos institucionales y legales de la conducción autónoma, la dimensión relativa a la seguridad de datos todavía está en proceso de consolidación normativa.

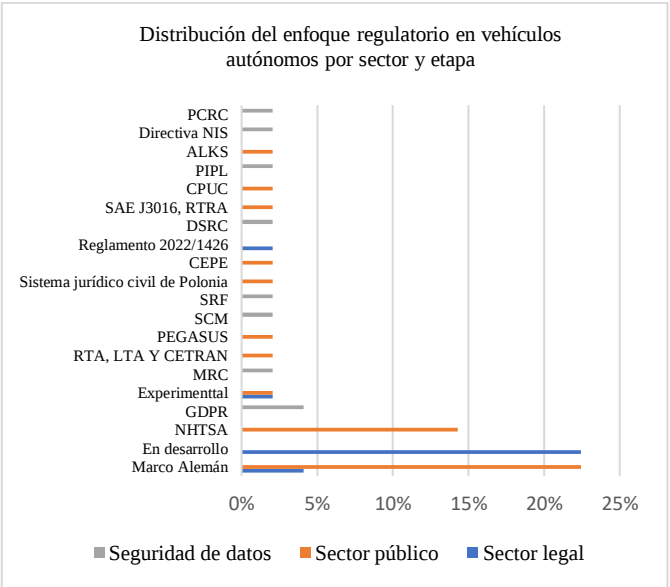


Fig. 8 Distribución sectorial de los marcos regulatorios aplicables a vehículos autónomo

IV. DISCUSIÓN

Los hallazgos de esta revisión sistemática permiten abordar de manera crítica las preguntas de investigación planteadas, situando la discusión en el contexto de la literatura académica y regulatoria sobre vehículos autónomos (VA). Entre 2020 y 2025, la investigación sobre la clasificación y seguridad de vehículos autónomos evolucionó notablemente. De acuerdo con los resultados obtenidos, en la figura 3 se muestra que en los años 2020 y 2022 concentran el mayor porcentaje de publicaciones, 24% en cada año, lo que refleja un alto interés inicial. En contraste, el año con menos publicaciones fue en 2021, con solo 10%,

evidenciando una caída momentánea en la producción científica. Esta variación sugiere una fase inicial en la implementación de estos marcos regulatorios, después de un interés muy alto sobre esta tecnología. Sin embargo, en los años posteriores se evidenció un interés global para llegar a la homologación normativa. Siguiendo con el análisis, la figura 4 señala en qué etapa de implementación se encuentran los marcos regulatorios. En cuanto a las herramientas regulatorias que están en uso abarca el 74%, indicando una implementación activa y en menor medida solo un 4% son clasificadas como experimentales. Se sugiere promover entornos de prueba regulatoria que permitan experimentar con nuevas soluciones normativas sin comprometer la seguridad. Es importante señalar que, en la figura 5 se destacan los marcos regulatorios encontrados, resaltando el marco alemán con un 26%, reafirmando una influencia normativa importante. En cambio, marcos regulatorios menos mencionados como PEGSUS, CEPE o la Directiva NIS apenas alcanzan un 2% cada uno, sugiriendo un impacto limitado. Sería útil analizar las condiciones que han permitido al marco alemán posicionarse como referencia y replicar estas buenas prácticas en otras regiones con marcos emergentes. Siguiendo con el análisis de la figura 6, los marcos regulatorios se enfocan principalmente en el sector público, que concentra un 52%, mientras que la seguridad de los datos apenas alcanza un 16%. Esta distribución refleja una atención limitada hacia la ciberseguridad, a pesar de su importancia. Resulta oportuno equilibrar estos enfoques y fortalecer las normas relacionadas con la protección de datos en los vehículos autónomos.

La evidencia recogida en la literatura muestra que los marcos regulatorios para vehículos autónomos han alcanzado un grado significativo de implementación, especialmente en el sector público, lo que sugiere una eficacia creciente en la prevención de fallos o incidentes relacionados con su seguridad. Un aspecto clave es que, en la figura 7 combina el sector y la etapa donde el sector público lidera con el 50% en la etapa de uso, mientras que un 22% de los marcos del sector legal siguen en desarrollo. Además, la escasa presencia de enfoques experimentales, apenas 2% en los sectores legal y público, y nula en seguridad de datos, evidencia una limitada apuesta por la innovación normativa controlada. En conjunto, estos datos sugieren que, si bien la implementación de marcos regulatorios ha avanzado de forma efectiva en sectores clave para la seguridad operacional, todavía existen oportunidades de mejora, especialmente en la adaptación legislativa y en el desarrollo de enfoques experimentales que permitan anticipar nuevos riesgos.

Finalmente, la figura 8 muestra la distribución sectorial de marcos regulatorios donde el marco alemán predomina en el sector público con 22% y también tiene presencia en el sector legal con 4%. Otros marcos, como GDPR, MRC, PEGSUS o CEPE, solo aparecen con un 2%, lo que refleja su limitada adopción sectorial. Esta concentración normativa refuerza la necesidad de impulsar marcos adaptativos y con mayor interoperabilidad entre sectores, especialmente en temas de ética, privacidad y algoritmos. En síntesis, el análisis comparativo de los marcos regulatorios en la seguridad de los vehículos autónomos revela avances significativos en la consolidación de normativas, especialmente en países como Alemania y Estados Unidos; sin embargo, persisten desafíos

importantes en áreas como la protección de datos, la responsabilidad legal y la regulación ética. La predominancia de enfoques centrados en el sector público y legal refleja una intención clara de controlar el despliegue tecnológico, pero también expone la necesidad de regulaciones más adaptativas y proactivas frente a una tecnología en constante evolución. A medida que los vehículos autónomos avanzan hacia una adopción más amplia, será fundamental que los marcos regulatorios acompañen este proceso no solo desde una perspectiva técnica, sino también social y jurídica, para garantizar una integración segura, equitativa y sostenible en las distintas realidades globales.

V. CONCLUSIÓN

Esta revisión sistemática evidencia que el desarrollo de marcos regulatorios para la seguridad de los vehículos autónomos ha avanzado significativamente entre 2020 y 2025, especialmente en países con fuerte institucionalidad normativa como Alemania, Estados Unidos y Australia. La mayoría de las herramientas regulatorias identificadas ya están en uso, lo que demuestra un compromiso activo por parte del sector público en la estructuración de entornos legales que habiliten una movilidad automatizada segura. Sin embargo, el análisis también identifica desafíos clave que requieren atención urgente: la limitada integración del enfoque de ciberseguridad, la escasa adopción de marcos experimentales y la débil interoperabilidad entre sectores normativos (público, legal, digital). Estas limitaciones podrían comprometer la capacidad de los marcos existentes para adaptarse a la rápida evolución tecnológica y a los nuevos escenarios de riesgo.

En ese sentido, se recomienda avanzar hacia una regulación dinámica, basada en evidencia empírica, que incorpore principios de ética digital, justicia algorítmica y participación ciudadana. Además, es crucial fomentar marcos regulatorios flexibles que permitan la innovación controlada y anticipen dilemas legales antes de su manifestación práctica.

Finalmente, esta revisión aporta una base conceptual sólida para futuras investigaciones y el diseño de políticas públicas orientadas a la armonización normativa internacional. Un enfoque multisectorial, interdisciplinario y centrado en el usuario será fundamental para garantizar que los vehículos autónomos no solo sean técnicamente viables, sino también socialmente aceptables y jurídicamente seguros.

REFERENCIAS

- [1] Pericle Salvini, Lars Kunze, and Marina Jirotko, 'On Self-Driving Cars and Its (Broken?) Promises. A Case Study Analysis of the German Act on Autonomous Driving', *Technology in Society*, 78 (2024), 102628 DOI: 10.1016/j.techsoc.2024.102628
- [2] Sever, T., & Contissa, G. (2024). *Automated driving regulations – where are we now? Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 24, 101033. DOI: 10.1016/j.trip.2024.101033
- [3] Milenković, M.; Sumpor, D.; Tokić, S. Legal and Safety Aspects of the Application of Automated and Autonomous Vehicles in the Republic of Croatia. *World Electr. Veh. J.* 2025, 16, 34. DOI: 10.3390/wevj16010034
- [4] A. Stampf, A.-K. Knuth, M. Colley, and E. Rukzio, "Law and order: Investigating the effects of conflictual situations in manual and automated driving in a German sample," *Int. J. Hum.-Comput. Stud.*, vol. 187, Art. no. 103260, Mar. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2024.103260>
- [5] R. Alms and P. Wagner, "Control transitions in Level 3 automation: Safety implications in mixed-autonomy traffic," *Safety*, vol. 10, no. 1, Art. no. 1, Dec. 2023. DOI: 10.3390/safety10010001

- [6] S. Zhai, L. Wang, and P. Liu, "Not in control, but liable? Attributing human responsibility for fully automated vehicle accidents," *Engineering*, vol. 33, pp. 121–132, Feb. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eng.2023.10.008>
- [7] L. Cveticanin, O. Luzanin, and I. Ninkov, "Privacy and personal data protection in self-driving car: Suggestion for legal regulation in Serbia," *Balkan Soc. Sci. Rev.*, vol. 22, pp. 171–189, Dec. 2023. DOI: 10.46763/BSSR23222171c
- [8] M. Benyahya, A. Collen, and N. A. Nijdam, "Analyses on standards and regulations for connected and automated vehicles: Identifying the certifications roadmap," *Transp. Eng.*, vol. 14, Art. no. 100205, Dec. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.treng.2023.100205>
- [9] L. Kirchmair, "How to regulate moral dilemmas involving self-driving cars: The 2021 German Act on autonomous driving, the trolley problem, and the search for a role model," *German Law J.*, vol. 24, no. 7, pp. 1184–1208, Nov. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1017/glj.2023.83>
- [10] S. K. Khan, N. Shiwakoti, P. Stasinopoulos, and M. Warren, "Cybersecurity regulatory challenges for connected and automated vehicles – State-of-the-art and future directions," *Transp. Policy*, vol. 143, pp. 58–71, Nov. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2023.09.001>
- [11] M. C. Núñez Zorrilla, "Hacia un marco legal europeo uniforme en la prevención de los riesgos y de la responsabilidad civil en el ámbito de la conducción automatizada inteligente," *Cuad. Derecho Transnacional*, vol. 15, no. 1, pp. 689–723, Mar. 2023. DOI: <https://doi.org/10.20318/cdt.2023.7558>
- [12] A. Giannini and J. Kwik, "Negligence failures and negligence fixes: A comparative analysis of criminal regulation of AI and autonomous vehicles," *Criminal Law Forum*, vol. 34, pp. 43–85, Jan. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10609-022-09422-6>
- [13] E. Uhlemann, "Should legislation dictate exact technology choices? [Connected and automated vehicles]," *IEEE Veh. Technol. Mag.*, vol. 17, no. 4, pp. 110–114, Dec. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1109/MVT.2022.3210715>
- [14] K. Mamak and J. Glanc, "Problems with the prospective connected autonomous vehicles regulation: Finding a fair balance versus the instinct for self-preservation," *Technol. Soc.*, vol. 71, Art. no. 102127, Nov. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102127>
- [15] M. C. Gaeta, "The regulation of certain aspects of autonomous driving in the Italian legal system," *Eur. J. Priv. Law Technol.*, vol. 1, pp. 263–288, 2022. DOI: <https://doi.org/10.57230/ejpl221MCCG>
- [16] J. Andraško, O. Hamuljak, M. Mesarčik, T. Kerikmäe, and A. Kajander, "Sustainable data governance for cooperative, connected and automated mobility in the European Union," *Sustainability*, vol. 13, no. 19, p. 10610, 2021. DOI: 10.3390/su131910610.
- [17] S. K. Khan, N. Shiwakoti, P. Stasinopoulos, and M. Warren, "Modelling cybersecurity regulations for automated vehicles," *Accid. Anal. Prev.*, vol. 186, p. 107054, 2023. DOI: 10.1016/j.aap.2023.107054.
- [18] J. Loranc-Borkowska, "Civil liability for damage caused by a physical defect of an autonomous car in Polish law," *Studia Iuridica Lublinensia*, vol. 29, no. 5, pp. 165–180, 2020. DOI: 10.17951/sil.2020.29.5.165-180.
- [19] D. V. Tran and C. T. Q. Le, "Developing a regulatory framework for autonomous vehicles: A proximal analysis of European approach and its application to ASEAN countries," *TalTech Journal of European Studies*, vol. 12, no. 2, pp. 165–188, 2022. DOI: 10.2478/bjes-2022-0016.
- [20] A. Bertolini and M. Riccaboni, "Grounding the case for a European approach to the regulation of automated driving: The technology-selection effect of liability rules," *Eur. J. Law Econ.*, vol. 51, no. 2, pp. 243–284, 2021. DOI: 10.1007/s10657-020-09671-5.
- [21] M. Brady, K. Tranter, and B. Bennett, "Automated vehicles, the 'driver dilemma', stopping powers, and paradigms of regulating road traffic," *Comput. Law Secur. Rev.*, vol. 56, 2025. DOI: 10.1016/j.clsr.2024.106076.
- [22] Sütfeid, J. Bronson y L. Kirchmair, "Automated Vehicle Regulation Needs to Speak to Code, not to Humans: Keeping Safety and Ethics in the Public Domain," *Philosophy and Technology*, vol. 38, no. 1, p. 15, 2025. DOI: 10.1007/s13347-025-00846-z.
- [23] F. Poszler, M. Geisslinger, and C. Lütge, "Ethical decision-making for self-driving vehicles: A proposed model & list of value-laden terms that warrant (technical) specification," *Science and Engineering Ethics*, vol. 30, no. 5, p. 47, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11948-024-00513-0>
- [24] M. Kim, J. Moon, and J. Kim, "Analysis of Korean Road Traffic Regulations to Establish Legal Layer for Evaluating Safety of Autonomous Driving," *KSCCE Journal of Civil Engineering*, vol. 27, no. 1, pp. 313–321, 2023. DOI: 10.1007/s12205-022-1885-4
- [25] J. Kester, "Insuring future automobility: A qualitative discussion of British and Dutch car insurer's responses to connected and automated vehicles," *Research in Transportation Business and Management*, vol. 45, p. 100903, 2022. DOI: 10.1016/j.rtbm.2022.100903
- [26] A. Kriebitz, R. Max, y C. Lütge, "The German Act on Autonomous Driving: Why Ethics Still Matters," *Philosophy and Technology*, vol. 35, no. 2, p. 29, 2022. DOI: 10.1007/s13347-022-00526-2
- [27] S. Ramjan y P. Sangkaew, "Understanding the adoption of autonomous vehicles in Thailand: an extended TAM approach," *Engineering Management in Production and Services*, vol. 14, no. 1, pp. 49–62, 2022. DOI: 10.2478/emj-2022-0005
- [28] L. Thiele-Evans, B. Pepper, J. Zeleznikow, N. Foster y T. Sourdin, "Regulatory approaches to managing artificial intelligence systems in autonomous vehicles in Australia," *International Journal of Law and Information Technology*, vol. 29, no. 2, pp. 79–100, 2021. DOI: <https://vuir.vu.edu.au/45209/>
- [29] C. Ducuing, "Understanding the rule of prevalence in the NIS directive: C-ITS as a case study," *Computer Law and Security Review*, vol. 40, p. 105514, 2021. DOI: 10.1016/j.clsr.2020.105514.
- [30] C. Lütge, F. Poszler, A. J. Acosta, D. Danks, G. Gottehrer, L. Mihet-Popa, y A. Naseer, "AI4People: Ethical guidelines for the automotive sector—fundamental requirements and practical recommendations," *International Journal of Technoethics*, vol. 12, no. 1, pp. 101–125, 2021. DOI: 10.4018/IJT.20210101.0a2.
- [31] D. Lee y D. J. Hess, "Regulations for on-road testing of connected and automated vehicles: Assessing the potential for global safety harmonization," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 136, pp. 85–98, 2020. DOI: 10.1016/j.tra.2020.03.026.
- [32] C. Armbrüster, "New technologies. Political, legal, economic and factual impact in Germany: German National Report. World Congress of the International Insurance Law Association (AIDA) 2018," *Zeitschrift für die gesamte Versicherungswissenschaft*, vol. 109, no. 1, pp. 9–38, 2020. DOI: 10.1007/s12297-020-00460-2.
- [33] D. J. Hess, "Incumbent-led transitions and civil society: Autonomous vehicle policy and consumer organizations in the United States," *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 151, p. 119825, 2020. DOI: 10.1016/j.techfore.2019.119825.
- [34] M. Navarro-Michel, "Application of road traffic regulations to accidents caused by automated and autonomous vehicles" *Cuadernos de Derecho Transnacional*, vol. 12, no. 1, pp. 941–961, 2020. DOI: 10.20318/cdt.2020.5231.
- [35] A. Zomarev and M. Rozhenko, "Impact of self-driving cars for urban development," *Foresight and STI Governance*, vol. 14, no. 1, pp. 70–84, 2020. DOI: 10.17323/2500-2597.2020.1.70.84.
- [36] N. E. Vellinga, "From the testing to the deployment of self-driving cars: Legal challenges to policymakers on the road ahead," *Computer Law and Security Review*, vol. 33, no. 6, pp. 847–863, 2020. DOI: 10.1016/j.clsr.2017.05.006.
- [37] N. Bolsin, "Designing national guidelines for automated vehicle trials in Australia," *International Journal of Transport Development and Integration*, vol. 2, no. 2, pp. 176–188, 2018. DOI: 10.2495/TDI-V2-N2-176-188.
- [38] Z. Pang, Z. Chen, J. Lu, B. Sun, T. Gong, X. Feng, Y. Wang, S. Yang, y Y. Cao, "Risk Assessment Method for Autonomous Vehicles Violating Safety Common Sense Based on Driving Behavior," *IEEE Access*, vol. 13, pp. 63076–63092, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3552833.
- [39] T. Sun, Y. Xu, H. Wang y Z. Chen, "A Legal Study: How Do China's Top 10 Intelligent Connected Vehicle Companies Protect Consumer Rights?," *World Electric Vehicle Journal*, vol. 16, no. 3, p. 140, 2025, doi: 10.3390/wevj16030140.
- [40] K. Mattas, G. Albano, R. Donà, M. C. Galassi, R. Suarez-Bertoa, S. Vass y B. Ciuffo, "Driver models for the definition of safety requirements of automated vehicles in international regulations. Application to motorway driving conditions," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 174, Art. no. 106743, 2022, doi: 10.1016/j.aap.2022.106743.
- [41] Aleš Filip, 'Synergies between road and rail transport in the development of safe self-driving vehicles', *International Journal of Transport Development and Integration*, vol. 6, no. 3, pp. 313–325, 2022. DOI: 10.2495/TDI-V6-N3-313-325.
- [42] Stuart Ballingall, Majid Sarvi, and Peter Sweatman, 'Safety assurance for automated systems in transport: A collective case study of real-world fatal crashes', *Journal of Safety Research*, vol. 92, pp. 27–39, 2025. DOI: 10.1016/j.jsr.2024.11.008.
- [43] Mohsin Murtaza, Chi-Tsun Cheng, Mohammad Fard, and John Zeleznikow, 'The importance of transparency in naming conventions, designs, and operations of safety features: from modern ADAS to fully autonomous driving functions', *AI and Society*, vol. 38, no. 2, pp. 983–993, 2023. DOI: 10.1007/s00146-022-01442-x.
- [44] Filippo Santoni de Sio, 'The European Commission report on ethics of connected and automated vehicles and the future of ethics of transportation', *Ethics and Information Technology*, vol. 23, no. 4, pp. 713–726, 2021. DOI: 10.1007/s10676-021-09609-8.

[45] A. Kriebitz, R. Max, y C. Lütge, "The German Act on Autonomous Driving: Why Ethics Still Matters," *Philosophy and Technology*, vol. 35, no. 2, pp. 29–31, 2022, doi: 10.1007/s13347-022-00526-2.

[46] Y. Halil and G. Meyer, "Societal Expectations from Automated Road Mobility: Results of a Survey in Germany," *Lecture Notes in Mobility*, pp. 78–87, 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-52840-9_8.

[47] A. Y. Bin-Nun, P. Derler, N. Mehdipour, y R. D. Tebbens, "How should autonomous vehicles drive? Policy, methodological, and social considerations for designing a driver," *Humanities and Social Sciences Communications*, vol. 9, no. 1, p. 299, 2022, doi: 10.1057/s41599-022-01286-2.

[48] M. Geisslinger, R. Trauth, G. Kaljavesi, y M. Lienkamp, "Maximum Acceptable Risk as Criterion for Decision-Making in Autonomous Vehicle Trajectory Planning," *IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems*, vol. 4, pp. 570–579, 2023, doi: 10.1109/OJITS.2023.3298973.

[49] Y. Guo, Y. Liu, B. Wang, P. Huang, H. Xu, y Z. Bai, "Trajectory planning framework for autonomous vehicles based on collision injury prediction for vulnerable road users," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 203, p. 107610, 2024, doi: 10.1016/j.aap.2024.107610.

[50] M. Dietrich y T. H. Weisswange, "Distributive justice as an ethical principle for autonomous vehicle behavior beyond hazard scenarios," *Ethics and Information Technology*, vol. 21, no. 3, pp. 227–239, 2020, doi: 10.1007/s10676-019-09504-3.