

INTRODUCCIÓN

Estado Actual del Problema

El transporte de líquidos, especialmente mediante carrotaques, enfrenta diversos desafíos que afectan tanto la seguridad como la eficiencia operativa. A pesar de los avances tecnológicos, los incidentes relacionados con derrames, accidentes y fallos mecánicos siguen siendo preocupaciones significativas. La falta de monitoreo en tiempo real Según (Rodrigues, 2021), (Ecopetrol, 2022) y la gestión inadecuada de datos pueden llevar a decisiones erróneas que comprometen la seguridad de las operaciones y el medio ambiente (Johnson, 2020). Además, la creciente demanda de productos líquidos requiere la optimización constante de los procesos logísticos para satisfacer las expectativas del mercado (Cenit, 2024) (Cenit., 2024)).

Propósito de la Investigación

El propósito del presente estudio es analizar el avance de la ciencia y la tecnología en el transporte seguro de líquidos a través de carrotaques. El estudio busca la identificación de las innovaciones más relevantes, la evaluación de su impacto en la seguridad y eficiencia del transporte, y la propuesta de recomendaciones para mejorar los sistemas actuales (Pérez, 2021). Esta investigación también pretende explorar el papel de la inteligencia artificial y el Internet de las Cosas (IoT) en la optimización de las operaciones de transporte, tal como se menciona en el trabajo de Ahmed y Khan (2023).

Importancia

La importancia de esta investigación radica en su potencial para contribuir a la mejora de la seguridad y la eficiencia en el transporte de líquidos. Al proporcionar un análisis detallado de las tecnologías emergentes y su aplicación en el sector, se espera fomentar prácticas más seguras y sostenibles. Según (Gupta, 2022), los hallazgos de este estudio pueden servir como base para el desarrollo de políticas y normativas que regulen el transporte de líquidos, promoviendo así un entorno más seguro tanto para las empresas como para la comunidad en general. En un contexto donde la sostenibilidad y la seguridad son prioritarias, esta investigación se vuelve crucial para enfrentar los retos del futuro en el sector del transporte (WLPGA, 2021).

MARCO TEÓRICO

El marco teórico de esta investigación se fundamenta en diversas teorías y conceptos clave que respaldan el análisis del transporte seguro de líquidos mediante carrotaques (Mohri, 2022) (Erkut/Verter, Chen, & Liu, 2019) (ICONTEC, NTC 4786-2: Transporte de líquidos inflamables en carrotaques – Requisitos técnicos, 2018). (ICONTEC, 2017) (ICONTEC, 2019) (Association., NFPA 385:Standard for tank vehicles for flammable and combustible liquids. NFPA, 2022) A continuación, se presentan las teorías relevantes y una revisión de la literatura relacionada.

1. Teoría del Riesgo

La teoría del riesgo es fundamental para entender los desafíos asociados al transporte de líquidos peligrosos.

Esta teoría se centra en la identificación, evaluación y mitigación de riesgos. Según (Slovic, 2000), la percepción del riesgo juega un papel crucial en la toma de decisiones relacionadas con la seguridad en el transporte (Standardization., 2019). La implementación de tecnologías de monitoreo en tiempo real, como el IoT, permite una mejor gestión de los riesgos asociados al transporte de líquidos.

2. Logística y Cadena de Suministro

La logística y la gestión de la cadena de suministro son conceptos esenciales en el contexto del transporte de líquidos. La literatura sugiere que una cadena de suministro eficiente puede reducir costos y mejorar la seguridad (Christopher, 2016). El enfoque en la optimización de rutas y la gestión de inventarios es vital para garantizar la eficiencia operativa en el transporte de líquidos (Mangan, 2016).

3. Innovación Tecnológica

La innovación tecnológica, especialmente en el ámbito del IoT y la inteligencia artificial, ha transformado la forma en que se maneja el transporte de líquidos. Según Waller y Fawcett (2013), la integración de tecnologías avanzadas permite una gestión más efectiva de las operaciones logísticas, mejorando la seguridad y la eficiencia.

El uso de algoritmos de aprendizaje automático para el análisis predictivo es un ejemplo de cómo la tecnología puede optimizar las operaciones de transporte (Singh, 2020).

3. Innovación Tecnológica

La innovación tecnológica, especialmente en el ámbito del IoT y la inteligencia artificial, ha transformado la forma en que se maneja el transporte de líquidos. Según Waller y Fawcett (2013), la integración de tecnologías avanzadas permite una gestión más efectiva de las operaciones logísticas, mejorando la seguridad y la eficiencia. El uso de algoritmos de aprendizaje automático para el análisis predictivo es un ejemplo de cómo la tecnología puede optimizar las operaciones de transporte (Singh, 2020).

4. Sostenibilidad en el Transporte

La sostenibilidad es un concepto clave en la investigación actual sobre transporte. La creciente preocupación por el medio ambiente ha llevado a la implementación de prácticas más sostenibles en la industria del transporte (Wang, 2025). Según (McKinnon, 2018), la adopción de tecnologías que reducen las emisiones y mejoran la eficiencia energética es esencial para el futuro del transporte de líquidos.

Revisión de la Literatura

La revisión de la literatura revela un creciente interés en el transporte seguro de líquidos y las tecnologías asociadas. Investigaciones recientes han abordado temas como el impacto del IoT en la seguridad del transporte (Bertolini, (2020)) y el uso de inteligencia artificial para la optimización de rutas (Kumar A, 2023) (Machado, 2018). Además, estudios han demostrado que la falta de estándares en el manejo de líquidos peligrosos puede aumentar el riesgo de accidentes (Zhang W. C., 2022) (Zhang W., 2022) (Energía, 1990).

MÉTODOS

Este apartado describe los diseños, técnicas y análisis de datos utilizados en la investigación sobre el transporte seguro de líquidos mediante carrotanques, basado en una revisión exhaustiva de la literatura existente.

1. Diseño del Estudio

El diseño del estudio se basa en un enfoque de revisión sistemática de la literatura. Se seleccionaron artículos académicos, informes de la industria y documentos técnicos relevantes que abordan temas relacionados con la seguridad en el transporte de líquidos, el uso de tecnologías avanzadas y la gestión de riesgos. Este enfoque permite sintetizar información de diversas fuentes y obtener una visión integral del estado actual de la investigación en este campo (Higgins, 2019) (Sura, 2021).

2. Técnicas de Recolección de Datos

Revisión de Literatura: La búsqueda se realizó en bases de datos académicas como Google Scholar, Scopus y Web of Science, utilizando palabras clave como "transporte de líquidos", "carrotanques", "seguridad en el transporte" e "innovaciones tecnológicas". Se incluyeron artículos publicados en los últimos diez años para asegurar la relevancia y actualidad de la información (Falagas et al., 2008).

Análisis de Documentos: Se revisaron informes de la industria y documentos técnicos proporcionados por organizaciones de transporte y seguridad, lo que permitió complementar la información obtenida de la literatura académica (McKinnon, 2018).

3. Análisis de Datos

Análisis Temático: La información recopilada de la literatura se organizó y analizó utilizando un enfoque de análisis temático (Braun & Clarke, 2006). Se identificaron patrones y temas recurrentes relacionados con la seguridad en el transporte de líquidos, el impacto de las tecnologías de monitoreo y las mejores prácticas en la gestión de riesgos (Salcedo, 2020).

Síntesis de Resultados: Los hallazgos se sintetizaron en una matriz que relaciona las tecnologías utilizadas, los beneficios observados y los desafíos enfrentados en el transporte seguro de líquidos. Esta síntesis permite resaltar las tendencias emergentes y las áreas que requieren más investigación (Waller, 2013).

4. Validación de Resultados

Para asegurar la validez de los hallazgos, se llevó a cabo una triangulación de fuentes, comparando la información obtenida de diferentes estudios y documentos. Esto ayuda a proporcionar una perspectiva más robusta y confiable sobre los temas tratados en la investigación (Zhang Y. L., 2019) (Zhang et al., 2019) (Institute, 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Innovaciones Tecnológicas

Dispositivos y Sistemas Revolucionarios

Las innovaciones tecnológicas han revolucionado la forma en que se almacenan y distribuyen los líquidos. Entre los avances más destacados se encuentran: Sensores IoT: La implementación de dispositivos de Internet de las Cosas (IoT) ha permitido un monitoreo en tiempo real de las condiciones de almacenamiento y transporte. Según (Ahmed, 2023), estos sensores mejoran la eficiencia operativa y reducen los riesgos asociados al manejo de líquidos peligrosos.

Sistemas de Telemetría: La telemetría ha facilitado la recopilación de datos críticos sobre el estado de los carrotanques, incluyendo información sobre presión, temperatura y niveles de líquido, lo que permite una gestión proactiva de los riesgos (WagenControl, 2021).

Gemelos Digitales (Digital Twins): La adopción de gemelos digitales en la logística de combustible ha permitido simular y optimizar operaciones, mejorando la seguridad y la eficiencia (Le, 2024) (Ni, 2023)(Kumar & Rao, 2023) (Kumar A. S, 2021) (Group, 2022) (Veridapt, 2023).

Impacto de la Inteligencia Artificial

La inteligencia artificial (IA) está transformando la gestión de datos en el ámbito del transporte. Las aplicaciones de IA incluyen:

Análisis Predictivo: Utilizando algoritmos de aprendizaje automático, las empresas pueden predecir fallos en equipos y optimizar rutas de transporte, lo que resulta en una reducción de costos y mejora en la seguridad (Hernández, 2022).

Toma de Decisiones Automatizada: La IA permite automatizar procesos de toma de decisiones en tiempo real, lo que es crucial para la gestión de emergencias y la respuesta rápida ante incidentes (Yu, 2022) (Zhao, 2021) .

Tendencias Futuras

Almacenamiento en la Nube: El almacenamiento en la nube está emergiendo como una solución clave para la gestión de datos en el sector del transporte (Frotcom, 2025). Esta tecnología permite un acceso más fácil y seguro a grandes volúmenes de datos, facilitando la colaboración entre diferentes actores de la cadena de suministro (Gupta & Li, 2022).

Influencia en la Ciencia y la Sociedad

El avance en el almacenamiento y distribución de líquidos no solo impacta la eficiencia operativa, sino que también tiene implicaciones significativas para la seguridad pública y el medio ambiente. Las normativas, como las establecidas por el Ministerio de Transporte de Colombia (2023) y la NFPA (2022) (Colombia, Guía de adquisición y requisitos técnicos para carrocillos., 2023) (Colombia., 2023), continúan evolucionando para abordar estos desafíos (Association., 2022). La integración de tecnologías avanzadas en cumplimiento con estas

normativas será fundamental para garantizar un futuro más seguro y sostenible.

Estadística de Marcas de Tractocamiones en Colombia según varios estudios y fuentes relevantes (Davis, 2020) (Martínez, 2021) (Coyle, 2016) (Harrison, 2011) (Forum, 2021) (Colombia, Reglamento Técnico de Transporte de Líquidos. , 2022) se presenta la siguiente estadística sobre las marcas de tractocamiones en Colombia:

Marca

MAN, fue fundada en 1758 en Augsburg, Alemania, inicialmente como una fábrica de maquinaria.

Tecnologías Avanzadas

Sistemas de asistencia al conductor

Conectividad y gestión de flotas

Optimización del rendimiento de combustible

Presencia en Colombia

Establecida con red de distribuidores

Marca

Scania, fue fundada en 1891 en Södertälje, Suecia, como una empresa de fabricación de automóviles y vehículos comerciales.

Tecnologías Avanzadas

Sistemas de gestión de flotas

Opciones de biocombustibles y eléctricos

Conectividad avanzada

Presencia en Colombia

Fuerte presencia en el mercado (Scania, (2023))

Marca

Mercedes-Benz, tiene sus raíces en el trabajo de Karl Benz y Gottlieb Daimler en la década de 1880 en Alemania.

Tecnologías Avanzadas

Sistemas de asistencia al conductor y navegación inteligente

Soluciones de electrificación

Presencia en Colombia

Amplia gama de productos y servicios

Marca

Volvo, fue fundada en 1927 en Gotemburgo, Suecia, inicialmente como un fabricante de automóviles.

Tecnologías Avanzadas

Tecnologías de seguridad avanzadas

Sistemas de asistencia al conductor

Opciones de vehículos eléctricos

Presencia en Colombia (Trucks, (2023))

Buena representación en el país (Trucks, 2023)

Marca

DAF, fue fundada en 1928 en Eindhoven, Países Bajos, por los hermanos Hub y Wim van Doorne.

Tecnologías Avanzadas

Sistemas de gestión de flotas

Optimización del rendimiento de combustible

Presencia en Colombia

Presencia creciente, menos estable que otras

Marca

Iveco, fue fundada en 1975 como resultado de la fusión de varias marcas de camiones italianas, incluyendo Fiat Veicoli Industriali, OM, Lancia y Unic.

Tecnologías Avanzadas

Tecnologías de conectividad

Opciones de motorización sostenible

Presencia en Colombia

Presencia creciente en el mercado

Marca

Freightliner, fue fundada en 1942 en Portland, Oregón, Estados Unidos, por el empresario Leland James.

Tecnologías Avanzadas

Tecnología de conectividad y gestión de flotas

Eficiencia de combustible

Presencia en Colombia

Buena presencia, especialmente en transporte

Análisis de la Estadística

Fuerte Competencia: Las marcas mencionadas compiten activamente en el mercado colombiano, cada una con su enfoque en tecnologías avanzadas y sostenibilidad. Este dinamismo es crucial para la evolución del sector logístico, como se destaca en la literatura (Davis, 2020) (Martínez, 2021).

Presencia Establecida: MAN, Scania, Mercedes-Benz y Volvo han logrado establecer una presencia sólida en el país, lo que les permite ofrecer un amplio soporte y servicios postventa. Esto es fundamental para mantener la confianza de los clientes y asegurar la continuidad operativa (Coyle, 2016).

Crecimiento de Nuevas Marcas: Marcas como DAF e Iveco están en un proceso de expansión y fortalecimiento de su presencia en Colombia, lo que indica un mercado en crecimiento. Este fenómeno es consistente con las tendencias globales en el sector del transporte (Harrison, 2011).

Enfoque en Sostenibilidad: La mayoría de las marcas están adoptando tecnologías sostenibles, como biocombustibles y vehículos eléctricos, en respuesta a la creciente demanda por soluciones más ecológicas. Este enfoque no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también contribuye a la reducción de la huella de carbono en el sector del transporte (International Road Transport Union (IRU), 2022) (Forum, (2021)).

El mercado de tractocamiones en Colombia presenta un panorama competitivo y en evolución, con marcas que están adoptando tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad. La combinación de una fuerte competencia, la presencia establecida de marcas reconocidas y el crecimiento de nuevas opciones sugiere un futuro prometedor para el sector logístico en el país.

CONCLUSIONES

El análisis del avance en el almacenamiento y la distribución física de líquidos revela un panorama dinámico y en constante evolución. Las innovaciones tecnológicas, junto con el impacto de la inteligencia artificial, están impulsando el desarrollo de un sistema integral de transporte seguro por carrotaques. Este enfoque no solo promete mejorar la seguridad, sino también optimizar la eficiencia operativa en el sector logístico.

La implementación de tecnologías emergentes, como dispositivos de Internet de las Cosas (IoT) y algoritmos de inteligencia artificial, permite un monitoreo en tiempo real de las condiciones de transporte y almacenamiento. Esto es crucial para la toma de decisiones informadas y la gestión proactiva de riesgos, contribuyendo a una operación más segura y eficiente. En Colombia,

marcas como MAN, Scania, Mercedes-Benz, Volvo y Iveco han comenzado a incorporar estas tecnologías en sus tractocamiones, ofreciendo soluciones avanzadas que incluyen:

Sistemas de Gestión de Flotas: Permiten a los operadores monitorear el rendimiento de los vehículos y optimizar rutas en tiempo real.

Sensores IoT: Estos dispositivos recopilan datos sobre condiciones de temperatura, presión y ubicación, asegurando que los líquidos se transporten en condiciones óptimas.

Asistencia al Conductor: Tecnologías que ayudan a prevenir accidentes mediante alertas sobre comportamiento de conducción y condiciones del camino.

Conectividad Avanzada: Facilita la comunicación entre vehículos y centros de control, mejorando la coordinación y la respuesta ante incidentes.

A medida que se adoptan estas nuevas tecnologías, es fundamental que las regulaciones y prácticas operativas se adapten para maximizar los beneficios de estos avances. La colaboración entre los actores del sector y la adaptación de marcos normativos garantizarán un futuro más seguro y sostenible en el transporte de líquidos, alineándose con las mejores prácticas logísticas y los estándares internacionales. Además, la llegada de tecnologías como los vehículos eléctricos y camiones autónomos está comenzando a marcar la pauta en el sector. Estas innovaciones no solo prometen reducir las emisiones de carbono, sino que también ofrecen la posibilidad de optimizar costos operativos a largo plazo. La implementación de estas tecnologías en Colombia puede ser un paso significativo hacia un sistema de transporte más eficiente y respetuoso con el medio ambiente.

REFERENCIAS

- Ahmed, F., (2023). Real-time tracking and fuel monitoring using IoT in tanker fleets. *Journal of Intelligent Transport Systems*.
- ARL Sura. (2021). Guía técnica para transporte y descarga segura de combustibles.
- Bertolini, L. D. (2020). The role of IoT in improving safety in hazardous materials transportation. *Safety Science*, 127, 104723.
- Cenit Transporte y Logística. (2024). Normas actualizadas de operación de carrotaques.
- Cenit Transporte y Logística de Hidrocarburos. (2024). Estándar de normas de operación para cargue y descargue en carrotaques.
- Chen, Liu, Erkut, E., & Verter, V. (2019). Evaluation and selection of HazMat transportation alternatives. Modeling and optimization for hazmat routing & siting. *Transportation Research Record*.
- Christopher, M. (2016). *Logistics & supply chain management*. Pearson UK.
- Coyle, J. J. (2016). *Supply chain management: A logistics perspective*. Cengage Learning.
- Davis, J. (2020). Innovations in liquid transportation: A review of current technologies and future directions. *Journal of Transport and Logistics*, 12(3), 45-62. <https://doi.org/10.1234/jtl.2020.345>
- Ditta, A. F.-P. (2019). A review on research in transportation of hazardous materials. *Socio-Economic Planning Sciences*, 68, 100665. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2018.11.002>
- Ecopetrol S.A. (2022). Procedimiento de calibración y medición de carrotaques.
- Erkut, E., & Verter, V. (1998). Modeling of transport risk for hazardous materials. *Operations Research*, 46(5), 625–642. <https://doi.org/10.1287/opre.46.5.625>
- Frotcom. (2025). Telematics and fuel theft prevention strategies for tanker fleets [Industry Report].
- Ghaffarpasand, O., et al. (2022). Vehicle telematics for safer, cleaner and more sustainable urban transport: A review. *Sustainability*, 14(24), 16386. <https://doi.org/10.3390/su142416386>
- Gupta, R., (2022). A systematic review of hazardous materials transportation systems. *Transportation Research Part D*.
- Harrison, A., & [Añadir coautor]. (2011). *Logistics management and strategy: Competing through the supply chain*. Pearson Education.
- Hernández, S. (2022). Sistema inteligente para monitoreo de oleoductos y carrotaques basado en IoT y aprendizaje automático [Tesis de maestría, Universidad Industrial de Santander].

- Higgins, J. P. T., et al. (Eds.). (2019). *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2017). Normas técnicas para fabricación de carrocerías tipo carrotanque.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2018). NTC 4786-2: Transporte de líquidos inflamables en carrotanques – Requisitos técnicos.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2019). NTC 4786-6: Transporte de líquidos criogénicos en carrotanques – Requisitos.
- International Organization for Standardization (ISO). (2019). ISO 11623: Transport pressure receptacles — Inspection and testing.
- International Road Transport Union (IRU). (2022). Trends in road freight transport: Innovations and sustainability. <https://www.iru.org/resources>
- Johnson, P. (2020). Review of storage and transport of hazardous materials. *Journal of Loss Prevention*.
- Kumar, A., & [Añadir coautor]. (2023). Telemetry transformation and digital twin adoption in fuel logistics. *Journal of Digital Industry*.
- Kumar, A. S. (2021). Route optimization using artificial intelligence in liquid transportation. *Journal of Transportation Engineering*, 147(6), 04021034.
- Le, T. V. (2024). Digital twins for logistics and supply chain systems: Literature review, conceptual framework, research potential and practical challenges. *Computers & Industrial Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109768>
- Machado, R. (2018). Environmental vulnerability analysis of spills during transportation of hazardous substances. *Environmental Impact Assessment Review*.
- Mangan, J. L. (2016). *Global logistics and supply chain management*. Wiley.
- Martínez, A., & [Añadir coautor]. (2021). Impact of IoT and AI on the logistics sector: A case study of liquid transport. *International Journal of Logistics Management*, 32(1), 78-95. <https://doi.org/10.1108/IJLM-10-2019-0305>
- McKinnon, A. (2018). Decarbonizing logistics: A review of the research agenda. *Transportation Research Part D*, 67, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.01.020>
- Ministerio de Minas y Energía. (1990). Decreto 283: Reglamento de transporte, manejo y almacenamiento de combustibles líquidos. República de Colombia.
- Ministerio de Transporte de Colombia. (2022). Reglamento técnico de transporte de líquidos. <https://www.mintransporte.gov.co>
- Ministerio de Transporte de Colombia. (2023). Compendio normativo para operación y transporte en carrotanques.

- Ministerio de Transporte de Colombia. (2023). Guía de adquisición y requisitos técnicos para carrotanques.
- Mohri, S. S. (2022). Hazardous material transportation problems: A comprehensive operational research review. *European Journal of Operational Research*. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022>.
- National Academy of Sciences. (2019). Overview of hazardous materials transportation. Transportation Research Board.
- National Fire Protection Association (NFPA). (2022). NFPA 385 development and maintenance overview.
- National Fire Protection Association (NFPA). (2022). NFPA 385: Standard for tank vehicles for flammable and combustible liquids.
- Ni, Z. J. (2023). Mining the critical factors of hazardous material road transportation accidents from Chinese investigation reports. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 24(10), 11121–11131. <https://doi.org/10.1109/TITS.2023.3>
- OKET Group. (2022). Smart-monitoring systems for tanker truck operations.
- Pérez, J., (2021). Real-time fuel consumption monitoring system design. *Journal of Embedded Systems*.
- Rodrigues, T., & [Añadir coautor]. (2021). Recent challenges in the transportation of hazardous liquids: A global review. *Safety Science*.
- SafeTruck. (2024). Fuel theft prevention technologies for tanker fleets [Whitepaper].
- Salcedo, M., & [Añadir coautor]. (2020). Risk assessment in hazardous materials transportation: A literature review (1991–2020). *Reliability Engineering & System Safety*.
- Scania. (2023). Innovations in transport: Safety and sustainability. <https://www.scania.com>
- Singh, P., & [Añadir coautor]. (2020). IoT-based fuel tank monitoring system. *International Journal of Engineering Research*.
- Slovic, P. (2000). *The perception of risk*. Earthscan Publications.
- Transportation Alliance Institute. (2018). Hazardous materials transportation: Framework and management guidelines.
- Transportation Research Board. (2020). Safety technologies for tanker trucks: Cooperative research report.
- Tseng, P.-Y., & [Añadir coautor]. (2023). Vehicle theft detection by generative adversarial networks on driving behavior. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 117, 105571. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105571>

- United Nations (UN). (2021). Recommendations on the transport of dangerous goods: Model regulations. United Nations Publication.
- Veridapt. (2023). Digital twin applications for fuel logistics and tanker operations.
- Volvo Trucks. (2023). The future of transport: Electrification and connectivity. <https://www.volvotrucks.com>
- WagenControl. (2021). Fuel monitoring technologies for tanker fleets.
- Waller, M. A. (2013). Data science in the age of big data: A research agenda for logistics and supply chain management. *Journal of Business Logistics*, 34(2), 77-84. <https://doi.org/10.1111/jbl.12010>
- Wang, H. (2025). Digital twins in transportation logistics and safety systems. *Applied Sciences*.
- World Economic Forum (WEF). (2021). The future of the supply chain: Technology and sustainability. <https://www.weforum.org/reports>
- World LPG Association (WLPGA). (2021). IoT and telemetry applications in the global LPG industry.
- Yu, S. L. (2022). Real-time risk assessment for road transportation of hazardous materials based on GRU-DNN with multimodal feature embedding. *Applied Sciences*, 12(21), 11130. <https://doi.org/10.3390/app122111130>
- Zhang, W. C. (2022). Hazardous chemicals road transportation accidents and the corresponding evacuation events from 2012 to 2020 in China: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(22), 15182. <https://doi.org/10.3390/ijerph192215182>
- Zhang, Y. L. (2019). Risk assessment of hazardous materials transportation: A review. *Safety Science*, 114, 42-54. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.12.014>
- Zhao, C. (2021). Factors influencing hazardous materials accidents: A comprehensive review. *Sustainability*.