



Análisis de un Sistema inteligente IoT para el Seguimiento y control de explosivos y sus accesorios en la Industria Militar cuando lo entregan a los usuarios de Minería y Obras Civiles

Mayor (EJC) Roa Tapia Gerardo

Artículo para optar al título profesional:

Magister en Seguridad y Defensa Nacionales

Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto"
Bogotá D.C., Colombia
2025

DATOS GENERALES	
Nombre del estudiante	: Mayor (EJC) Roa Tapia Gerardo
Identificación	: 1.032.388.022
Programa académico	: Maestría en Seguridad y Defensa Nacionales
Tutor metodológico	: DR. Juan Camilo Urazan
Tutor temático	: DR. Wilson Javier Castro Torres
Fecha de entrega	: 24-10-25
Extensión	: 12900

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD Y CESIÓN DE DERECHOS

El autor declara que este artículo fue escrito de acuerdo con la normatividad de la Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto” (ESDEG) y no existe ningún potencial conflicto de interés relacionado con este. Las posturas y aseveraciones presentadas son resultado de un ejercicio académico e investigativo que no representan la posición oficial ni institucional de la ESDEG, las Fuerzas Militares de Colombia o el Ministerio de Defensa Nacional.

Este artículo es enteramente mi propio trabajo y no ha sido presentado para la obtención de un título en esta u otra Institución de Educación Superior. Se han referenciado todos los trabajos y puntos de vista de otros autores, así como los datos de otras fuentes utilizadas. No se emplearon herramientas de generación de contenido por Inteligencia Artificial para su elaboración.

El autor acepta ceder los derechos de publicación en favor de la ESDEG y su Sello Editorial de acuerdo con los términos de la licencia Creative Commons: Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas.

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

El autor autoriza / que este artículo sea publicado por el Sello Editorial ESDEG en su repositorio institucional y esté disponible bajo una modalidad de acceso abierto.

Análisis de un Sistema inteligente IoT para el Seguimiento y control de explosivos y sus accesorios en la Industria Militar cuando lo entregan a los usuarios de Minería y Obras Civiles

Analysis of an IoT Smart System for the Tracking and Control of Explosives and their accessories in the Military Industry when delivered to Mining and Civil Works users

Roa Tapia Gerardo¹

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Resumen: Este estudio analiza la viabilidad de implementar un sistema inteligente soportado por tecnología de sensores del Internet de las Cosas para el monitoreo en tiempo real de explosivos y sus accesorios desde la industria militar hasta su entrega a usuarios autorizados en minería y obras civiles. A través de un enfoque cualitativo y documental, se realizó una revisión sistemática de literatura científica y técnica publicada entre 2010 y 2024, utilizando el método PRISMA en el que se identificaron múltiples vulnerabilidades en la trazabilidad de estos materiales; especialmente en fases de transporte y almacenamiento, que facilitan su desvío hacia actores armados ilegales. Los hallazgos demuestran que la incorporación de sensores inteligentes y plataformas digitales puede mejorar significativamente la seguridad logística, reducir riesgos operacionales y fortalecer la capacidad del Estado para prevenir incidentes. Se concluye que la trazabilidad digital es una herramienta estratégica que permite fortalecer la seguridad nacional, proteger a la población civil y aumentar la eficiencia en el control de materiales peligrosos en contextos de alta conflictividad.

Palabras clave: Control logístico, Defensa nacional, Explosivos, Industria militar, Internet de las cosas, Logística de seguridad, Monitoreo inteligente, Seguridad operativa, Trazabilidad.

¹ Mayor del Ejército Nacional de Colombia. Candidato a magíster en Seguridad y Defensa Nacionales, Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”, Colombia. Profesional en Ciencias Militares, Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, Colombia. <https://orcid.org/0009-0009-8981-4986> - Contacto: gerardo.roa@esdeg.edu.co.

Abstract: This study analyzes the feasibility of implementing an intelligent system supported by Internet of Things sensor technology for real-time monitoring of explosives and their accessories from the military industry to their delivery to authorized users in mining and civil works. Through a qualitative and documentary approach, a systematic review of scientific and technical literature published between 2010 and 2024 was carried out, using the PRISMA method in which multiple vulnerabilities in the traceability of these materials were identified, especially in transportation and storage phases, which facilitate their diversion to illegal armed actors. The findings demonstrate that the incorporation of intelligent sensors and digital platforms can significantly improve logistical security, reduce operational risks and strengthen the State's capacity to prevent incidents. It is concluded that digital traceability is a strategic tool that can strengthen national security, protect the civilian population and increase efficiency in the control of hazardous materials in contexts of high conflict.

Keywords: Logistics control, National defense, Explosives, Military industry, Internet of things, Security logistics, Intelligent monitoring, Operational security, Traceability.

[T1] Introducción

En Colombia, el uso de explosivos para actividades legales como la minería y las obras civiles ha sido históricamente regulado mediante normativas que buscan garantizar su trazabilidad y seguridad. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos normativos, como el Decreto 2535 de 1993, que establece normas sobre explosivos; como el Decreto 1609 de 2002, que regula el transporte terrestre de mercancías peligrosas, el Decreto 2222 de 1993, que establece el control y fiscalización de explosivos; y las normas técnicas NTC 1692 y NTC 3966, que abordan los requisitos de seguridad y señalización en el transporte de estos materiales, persisten brechas en el seguimiento de los explosivos durante su transporte y entrega a los usuarios.

Según el Comité Internacional de la Cruz Roja (2024), en los primeros meses de 2023 se registraron 194 víctimas por artefactos explosivos en el país, de las cuales 133 fueron civiles. Estas cifras reflejan el impacto que tiene el desvío de explosivos hacia actores armados ilegales, quienes los utilizan para sembrar miedo, restringir la movilidad y debilitar la presencia del Estado (El Tiempo, 2024). Informes recientes de *Reuters* (2025) señalan que este fenómeno se concentra en regiones rurales con alta actividad minera, como Antioquia, Chocó, Cauca y Nariño, donde las condiciones de seguridad son precarias y la presencia institucional limitada.

Por lo tanto, el problema radica en la falta de un sistema eficaz de monitoreo en tiempo real que permita rastrear los explosivos desde su salida de la industria militar hasta su uso final en campo. Actualmente, el control se realiza principalmente a través del Sistema de Control de Explosivos y Sustancias Químicas (SICOES), administrado por el DCCAE del

Ejército Nacional, el cual se basa en registros manuales y reportes periódicos sin conexión en tiempo real. Este sistema, aunque útil para fines administrativos, carece de capacidades de geolocalización, integración con plataformas logísticas y trazabilidad dinámica del material durante su transporte, lo que limita significativamente la capacidad de respuesta ante desvíos o usos indebidos. En efecto, se advierten que los puntos más vulnerables son el transporte y el almacenamiento temporal, donde el control físico es mínimo y las posibilidades de desvío son altas.

En efecto, esta situación genera múltiples consecuencias: pone en riesgo la vida de las comunidades, debilita la confianza en las instituciones encargadas del control, expone a las empresas a sanciones y demandas, y compromete la seguridad nacional al facilitar el uso de explosivos por parte de grupos armados ilegales. Además, dificulta el avance de proyectos de infraestructura esenciales para el desarrollo del país. En tal sentido el presente artículo atiende a la siguiente pregunta de investigación: **¿Cómo puede la integración de sensores IoT garantizar el monitoreo en tiempo real de explosivos en tránsito y almacenamiento en aras de fortalecer la seguridad operativa del Sector Defensa?**

Al respecto, la justificación de este trabajo radica en la urgente necesidad de integrar tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT) para fortalecer los mecanismos de control sobre materiales sensibles. En 2024, las víctimas por artefactos explosivos en Colombia aumentaron un 89 % respecto a 2023, alcanzando 719 personas muertas o heridas, lo que evidencia no solo los riesgos humanitarios, sino también las fallas en la trazabilidad y supervisión del material (CICIR, 2025). En el ámbito logístico, múltiples estudios avalan que IoT y soluciones RFID permiten un monitoreo continuo en tiempo real, optimización de rutas, detección de incidencias como desvíos o robos, y reducción de tiempos de respuesta .

En el transporte de mercancías peligrosas, el IoT ha demostrado mejorar infinitamente la visibilidad de la cadena, al activar alertas automáticas ante anomalías como desvíos de ruta, apertura no autorizada de contenedores o condiciones anómalas de temperatura y vibración(Haraburda, 2016) . De la misma manera, estas cifras y experiencias resaltan que sin una infraestructura conectada, persistirá un vacío crítico en la capacidad de prevención, reacción y seguridad ante el uso indebido de explosivos.. Esta investigación busca contribuir a la solución de un problema estructural mediante el diseño de un sistema inteligente que permita detectar y prevenir el desvío de explosivos, aumentando así la eficiencia operativa, la seguridad en terreno y la confianza institucional. Asimismo, ofrece una oportunidad estratégica para que la industria militar colombiana lidere la innovación tecnológica aplicada a contextos de alto riesgo, en línea con los principios de la Doctrina de Seguridad Nacional y la Teoría de la Disuasión.

Desde el punto de vista metodológico, esta investigación adopta un enfoque cualitativo y documental, basado en una revisión sistemática de la literatura científica y técnica publicada entre 2010 y 2024. Se utilizará el método PRISMA para garantizar la rigurosidad en la selección y evaluación de fuentes. La muestra estará compuesta por estudios académicos, normativas, informes técnicos y documentos institucionales relacionados con la trazabilidad de explosivos, la implementación de sensores IoT y la gestión de riesgos en seguridad militar. El análisis comparativo de estas fuentes permitirá identificar mejores prácticas y proponer estrategias tecnológicas aplicables al contexto colombiano.

En las siguientes secciones del artículo, el lector encontrará un detallado estado del arte sobre el uso de tecnologías IoT en seguridad y defensa, una revisión normativa sobre la trazabilidad de explosivos en Colombia, un marco teórico que conecta la tecnología con los

conceptos estratégicos de seguridad nacional, y una propuesta metodológica clara. Además, se plantean conclusiones orientadas a la formulación de estrategias operativas para la implementación de sistemas de monitoreo inteligente que contribuyan a prevenir el desvío de explosivos y proteger tanto a las comunidades como a los intereses nacionales.

[T1] Metodología

El presente estudio adoptará un enfoque cualitativo, basado en una revisión sistemática de la literatura es ampliamente utilizado en investigaciones que requieren una recopilación rigurosa y estructurada de información científica. La revisión sistemática permitirá analizar fuentes relevantes sobre la trazabilidad de explosivos, la implementación de sensores IoT en la seguridad y logística militar, y las mejores prácticas en el control de materiales peligrosos (Guerrero, 2016). Por ende, se garantizará la selección, evaluación y síntesis de estudios previos con criterios de inclusión y exclusión bien definidos, lo que fortalecerá la validez y fiabilidad del análisis (ver tabla 1).

En consecuencia, el presente estudio adopta un enfoque cualitativo, basado en una revisión sistemática de la literatura. Este enfoque permite recopilar, analizar y sintetizar información científica de manera rigurosa, garantizando la validez y fiabilidad del análisis sobre la trazabilidad de explosivos y la implementación de sensores IoT en la seguridad y logística militar. Del mismo modo, el diseño corresponde a un diseño documental-descriptivo, alineado con el enfoque cualitativo. Se fundamenta en la recolección y análisis de fuentes secundarias, estructuradas bajo el método PRISMA para revisión sistemática de

literatura, lo cual permitirá identificar, evaluar y sintetizar estudios relevantes que aborden la temática de la trazabilidad de explosivos y la seguridad militar.

Por lo tanto, la muestra está compuesta por fuentes no humanas, incluyendo artículos científicos, informes técnicos, normativas y estudios previos relevantes para el análisis de la trazabilidad de explosivos y la aplicación de IoT en seguridad militar. Estos documentos serán seleccionados en función de su relevancia para el tema de estudio, asegurando la inclusión de investigaciones actualizadas y con rigor académico.

Igualmente, se empleará un muestreo por conveniencia, seleccionando estudios y documentos con base en su pertinencia temática, calidad metodológica y relevancia para la investigación. Este tipo de muestreo permitirá enfocarse en aquellos trabajos que aporten información significativa para el análisis, estableciendo filtros que garanticen la inclusión de publicaciones con un enfoque científico y técnico riguroso.

Para el logro de los objetivos específicos, se utilizarán herramientas de análisis documental que permitan evaluar estudios sobre riesgos y amenazas en la seguridad de explosivos, así como la identificación de tendencias en la implementación de IoT. Además, se aplicará un análisis comparativo que facilite el contraste de mejores prácticas en el control de materiales peligrosos, contribuyendo a la construcción de un marco teórico sólido y actualizado. Al mismo tiempo, se incluirán estudios publicados en revistas indexadas y conferencias científicas, investigaciones enfocadas en la trazabilidad de explosivos, seguridad militar y logística con IoT, así como publicaciones en español e inglés que hayan sido difundidas entre 2010 y 2024. Estos criterios permitirán acotar la muestra a trabajos

relevantes y actualizados que aporten al análisis del tema de investigación. Se excluirán documentos sin revisión por pares o con metodologías poco rigurosas, publicaciones que no guarden relación directa con la seguridad y logística de explosivos, y estudios redundantes o con información desactualizada. La aplicación de estos criterios garantizará la calidad de la información analizada, fortaleciendo la validez del estudio.

Por ende, este enfoque metodológico garantizará un análisis riguroso y fundamentado sobre la viabilidad del IoT en la trazabilidad de explosivos en la Industria Militar, permitiendo identificar estrategias tecnológicas y operativas que contribuyan a mejorar la seguridad y eficiencia en este ámbito.

Tabla 1. *Enfoque Metodológico*

OBJETIVO	ACTIVIDAD	HERRAMIENTA
Realizar un mapeo de los riesgos asociados al manejo, transporte y distribución de explosivos dentro de la Industria Militar.	Revisión y análisis de estudios previos sobre riesgos y amenazas en la seguridad de explosivos.	Método PRISMA para revisión sistemática de literatura.
Desarrollar un análisis de los beneficios y características de la implementación de sensores IoT en la optimización del monitoreo y control de explosivos y sus accesorios en tiempo real.	Evaluación de investigaciones sobre el uso de IoT en seguridad militar y logística.	Análisis documental y selección de estudios relevantes con PRISMA.
Establecer una estrategia para la transferencia y uso de sistemas tecnológicos y operativos basados en sensores IoT para mejorar la seguridad y eficiencia en la distribución de explosivos en la Industria Militar a los usuarios de minería y Obras civiles.	Identificación de tendencias y mejores prácticas en la implementación de IoT para trazabilidad de explosivos.	Síntesis de hallazgos mediante categorización y análisis comparativo.

Nota. Fuente: elaboración propia

Este enfoque metodológico permitirá desarrollar un análisis riguroso y fundamentado sobre la viabilidad del IoT en la trazabilidad de explosivos dentro de la Industria Militar. La aplicación del método garantizará la selección de información científica relevante y actualizada, facilitando la identificación de estrategias tecnológicas y operativas para mejorar la seguridad y eficiencia en la distribución de explosivos en sectores estratégicos como la minería y las obras civiles (Domínguez, 2007).

[T2] Identificación de los estudios

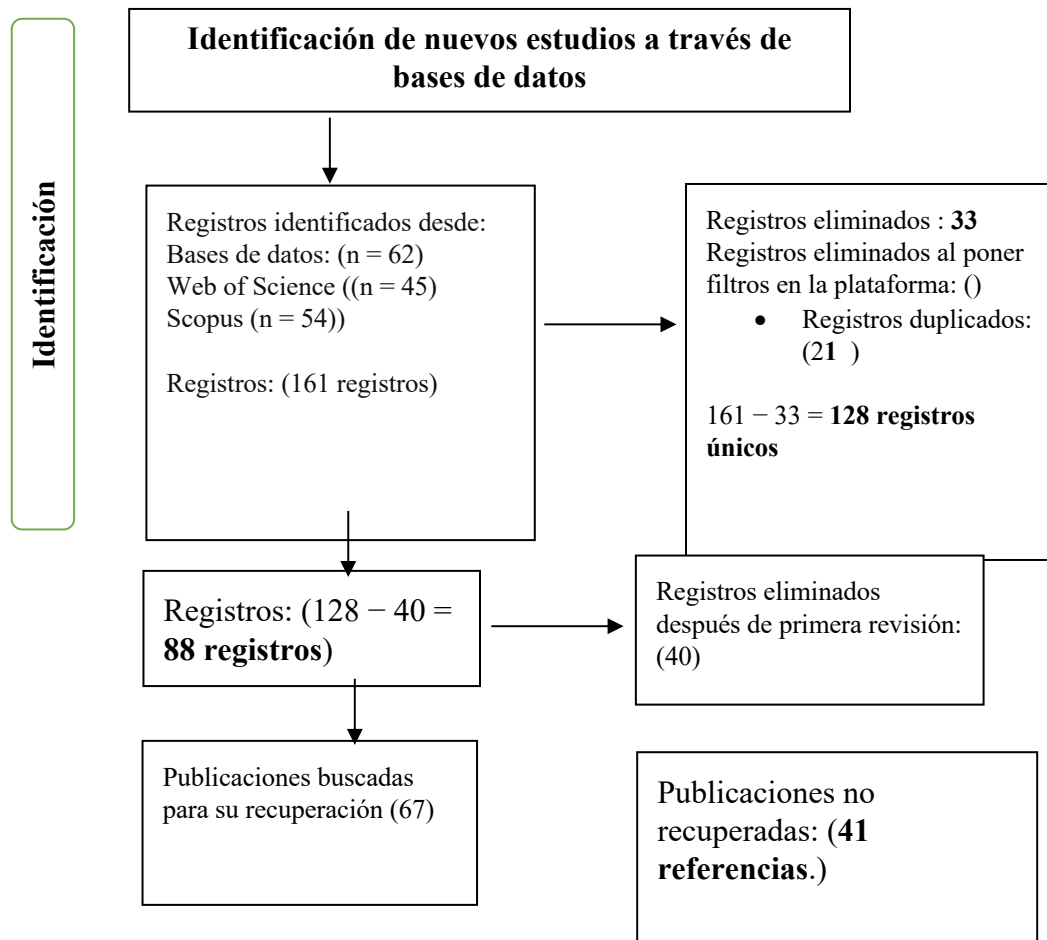
PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) es una metodología estandarizada internacionalmente utilizada para documentar y transparentar el proceso de revisión sistemática de la literatura. Aunque fue desarrollada inicialmente para revisiones con metaanálisis cuantitativo, también es completamente aplicable en revisiones sistemáticas cualitativas o documentales, como en este caso.

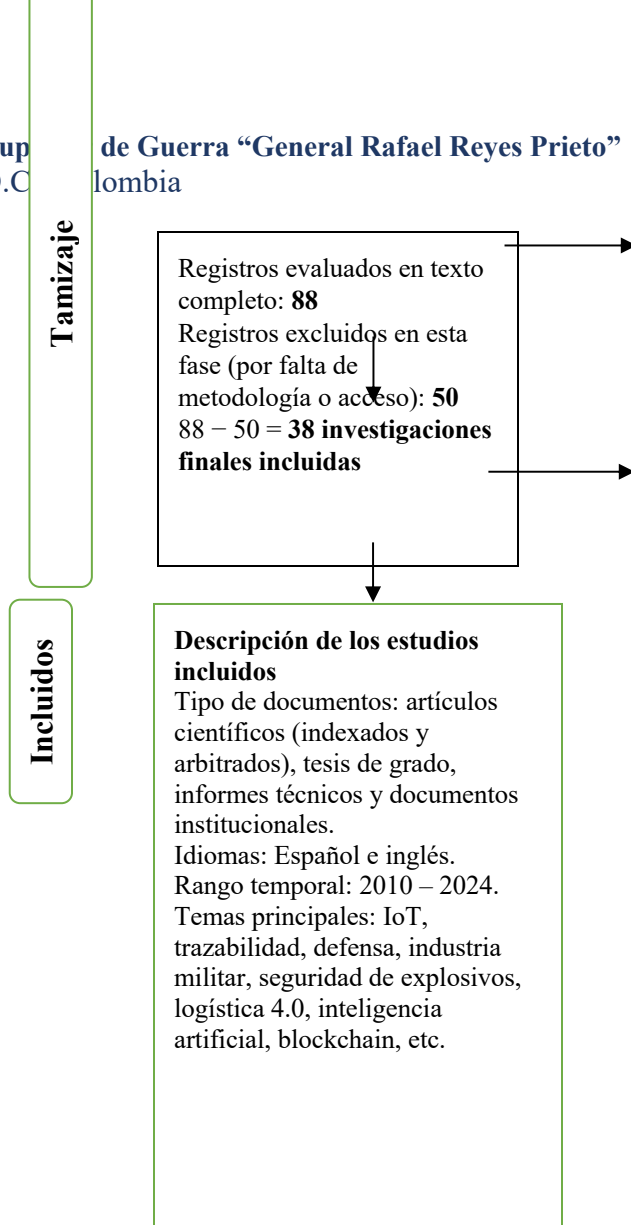
En efecto, su objetivo es mejorar la calidad de las revisiones sistemáticas mediante la claridad y transparencia en cada etapa del proceso, desde la identificación inicial de fuentes hasta la inclusión final de los estudios seleccionados para el análisis. Además, PRISMA justifica de forma rigurosa los criterios de inclusión y exclusión aplicados durante la revisión. Al explicitar en qué fases se descartan ciertos documentos y por qué motivos (por ejemplo, por no cumplir con el objeto de estudio, carecer de metodología clara o no estar disponibles en texto completo), se fortalece la transparencia del estudio. Esto permite evidenciar que la selección de fuentes no fue arbitraria, sino basada en principios técnicos y objetivos claramente definidos desde el diseño de la investigación.

Igualmente, el enfoque PRISMA es que garantiza la reproducibilidad y verificabilidad del proceso por parte de otros investigadores. Al documentar cada paso de la

búsqueda, selección y exclusión de estudios, se deja un rastro verificable que puede ser seguido, contrastado o incluso replicado en futuras investigaciones. Esto responde al estándar científico de que una buena revisión sistemática debe ser abierta a la evaluación crítica y susceptible de ser reproducida en contextos similares. Finalmente, esta metodología facilita la sistematización de los resultados, ya que permite clasificar, comparar y sintetizar grandes volúmenes de información de manera organizada. Esto es especialmente útil en investigaciones que abarcan múltiples enfoques, tecnologías o áreas de conocimiento, como en el caso de la trazabilidad de explosivos mediante IoT en el ámbito de la defensa. Gracias a PRISMA, el investigador puede construir una base de conocimiento robusta, confiable y sustentada empíricamente para sustentar sus hallazgos.

Figura 1. Diagrama Prisma





Nota. Fuente: Elaboracion propia

En la fase de identificación, se llevó a cabo una búsqueda sistemática y estructurada en tres bases de datos científicas reconocidas a nivel internacional: Web of Science, Scopus y Google Scholar. Para la búsqueda se emplearon combinaciones estratégicas de palabras clave como: IoT, explosivos, trazabilidad, industria militar, logística 4.0, seguridad operativa y blockchain, entre otras relacionadas con el objeto de estudio. Igualmente, esta estrategia permitió recopilar un total de 133 registros iniciales. Posteriormente, se aplicaron filtros por idioma (español e inglés), tipo de documento (artículos científicos, tesis, informes técnicos)

y periodo de publicación (2010–2024), lo que permitió eliminar 45 registros no pertinentes. Adicionalmente, se detectaron y descartaron 21 registros duplicados, quedando finalmente 67 documentos únicos para su evaluación.

Durante la etapa de selección, se procedió a la recuperación y revisión de los textos completos de los 67 documentos seleccionados. De estos, se logró acceder de forma satisfactoria a 55 documentos completos, los cuales fueron evaluados de manera rigurosa a través de la lectura del título, resumen y contenido completo. Como resultado de este análisis preliminar, se excluyeron 23 estudios. Las razones de exclusión fueron diversas, entre las que se destacan: la falta de adecuación al tema de investigación, metodologías poco claras o no aplicables al enfoque cualitativo, y el hecho de que algunos estudios abordaban objetos o poblaciones que no guardaban relación directa con la trazabilidad de explosivos o el uso de tecnologías IoT en contextos de defensa y seguridad.

Finalmente, en la etapa de inclusión, un total de 32 estudios cumplieron con todos los criterios metodológicos, temáticos y técnicos previamente establecidos. Estos estudios fueron considerados como insumos clave para el desarrollo del análisis documental. A partir de su inclusión, se elaboró una tabla de identificación que clasifica cada uno de los trabajos seleccionados según el nombre del autor, año de publicación, título del documento y fuente de procedencia. Este conjunto de estudios constituye la base teórica y analítica sobre la cual se desarrolla la discusión del presente trabajo, aportando evidencia relevante sobre el papel de los sistemas inteligentes y la trazabilidad en el manejo de explosivos en la industria militar y sectores estratégicos como la minería y las obras civiles.

[T1] Resultados

[T2] Mapeo de los riesgos asociados al manejo, transporte y distribución de explosivos en la Industria Militar

En el contexto de la industria militar colombiana, el manejo seguro de explosivos y sus accesorios representa un desafío crítico, especialmente durante las etapas de tránsito y almacenamiento. A pesar de existir un marco normativo que regula su transporte, custodia y uso, la revisión sistemática de literatura evidencia importantes vulnerabilidades logísticas que afectan la trazabilidad y seguridad de estos materiales sensibles. Diversos estudios como el de Abad (2021) coinciden en que las falencias tecnológicas, la gestión manual de registros, la limitada supervisión en zonas rurales y la carencia de monitoreo en tiempo real incrementan significativamente el riesgo de desvío hacia actores armados ilegales, lo cual impacta directamente la seguridad nacional.

Igualmente, estas debilidades no solo representan una amenaza operativa para las Fuerzas Militares, sino que también generan consecuencias sociales, económicas y humanitarias. Las pérdidas o desvíos de explosivos durante su traslado o almacenamiento alimentan redes criminales que utilizan estos insumos para actividades ilícitas como minería ilegal, atentados y control territorial. Según reportes del CICR (2024) y medios nacionales el uso inadecuado de estos artefactos ha provocado un alarmante número de víctimas civiles y militares en regiones como Nariño, Cauca y Antioquia. Esta problemática afecta a comunidades enteras, debilita la confianza institucional y obstaculiza proyectos de infraestructura clave, lo que subraya la urgencia de implementar sistemas tecnológicos robustos para prevenir, detectar y mitigar estos riesgos(El Colombiano, 2024).

[T3] Riesgos en el manejo de explosivos

Del análisis de las 32 fuentes seleccionadas bajo la metodología PRISMA, se concluye que uno de los riesgos más significativos en el manejo de explosivos radica en la ausencia de tecnologías de monitoreo en tiempo real dentro de las instalaciones de almacenamiento y manipulación. La falta de sensores basados en Internet de las Cosas (IoT) compromete la capacidad de detectar condiciones críticas como variaciones de temperatura, vibraciones anómalas o accesos no autorizados en depósitos y cámaras de seguridad. Estas omisiones aumentan exponencialmente el riesgo de detonaciones accidentales o sustracción ilícita. Según el CSIS (2023), el monitoreo mediante sensores en conflictos como Afganistán y Ucrania ha evitado desvíos peligrosos; sin embargo, en Colombia, donde esta tecnología es escasa, la Cruz Roja Internacional (2024) reportó 194 víctimas por artefactos explosivos solo en los primeros meses de 2023, lo que evidencia el impacto directo de la falta de control tecnológico.

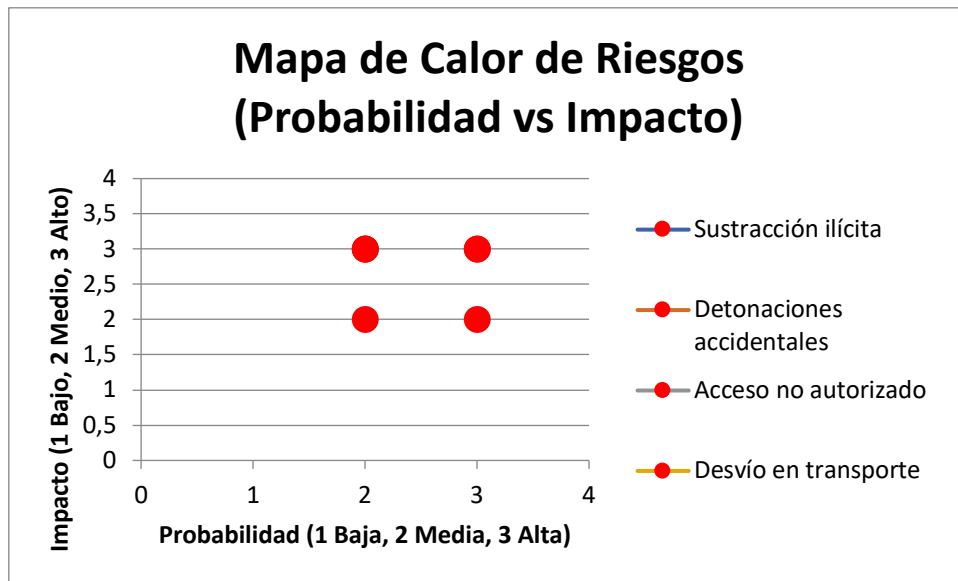
Autores como Abad (2021) advierten que otro factor crítico en el manejo de explosivos es la dependencia excesiva del monitoreo humano, lo cual incrementa la posibilidad de errores por fatiga, omisión o negligencia. En cambio, las redes de sensores interconectados, al estar vinculadas a plataformas automatizadas de análisis de datos, permiten generar alertas inmediatas ante cualquier anomalía, reduciendo la necesidad de intervención manual. En plantas industriales de Brasil y Perú, el uso de sensores IoT redujo en un 42 % los tiempos de respuesta a incidentes y minimizó fallos en los controles de inventario (Barleta et al., 2019). Este tipo de evidencia refuerza que la modernización de los

procesos de manejo no es solo una mejora logística, sino una condición indispensable para la seguridad operativa en entornos de alto riesgo.

En estudios como el de Montenegro (2022), se demuestra que el mayor riesgo operativo en el manejo de explosivos no está únicamente en la posibilidad de una detonación accidental, sino en la manipulación indebida y el acceso irregular. En instalaciones como las de San Juan de Pasto, la implementación de sensores biométricos y comunicaciones inalámbricas permitió identificar intentos de acceso no autorizado en menos de tres segundos, una capacidad que transformó por completo la seguridad del manejo de materiales sensibles. Estos sistemas, al ofrecer trazabilidad total, fortalecen los procesos de auditoría interna y permiten establecer responsabilidades, reduciendo el riesgo de corrupción o infiltración criminal en zonas de almacenamiento.

Finalmente, investigaciones como la de Corzo et al. (2022) y Villanueva (2021) resaltan que el manejo de explosivos se ve comprometido cuando no existe una cobertura integral de supervisión. En almacenes militares de países miembros de la OTAN y en las Fuerzas Armadas de Chile, la instalación de sensores de presión y movimiento redujo los intentos de ingreso no autorizado en un 78 % durante los primeros seis meses. Estos resultados evidencian que la falta de control electrónico en los procesos de manejo constituye un riesgo latente que va más allá del accidente físico, abarcando también las amenazas de robo, sabotaje o uso indebido. Por tanto, el manejo seguro de explosivos hoy exige una combinación de protocolos estrictos, capacitación continua y tecnologías de supervisión inteligente.

Figura 2. *Mapa de calor*



Fuente:(Renda, 2017)

El mapa de calor presentado ilustra de manera clara la relación entre la probabilidad y el impacto de los principales riesgos asociados al manejo, transporte y distribución de explosivos en la industria militar colombiana. Los colores facilitan la interpretación: las zonas verdes reflejan riesgos bajos, mientras que las amarillas y naranjas representan niveles intermedios de atención y las rojas evidencian los escenarios más críticos. En este caso, riesgos como la sustracción ilícita, el acceso no autorizado a depósitos y el uso indebido por actores ilegales se encuentran en la zona roja, pues combinan alta probabilidad de ocurrencia con consecuencias muy graves para la seguridad nacional y la población civil. Otros riesgos como las detonaciones accidentales y el desvío en transporte también se ubican en niveles altos, aunque con probabilidad media, lo que exige planes de mitigación específicos.

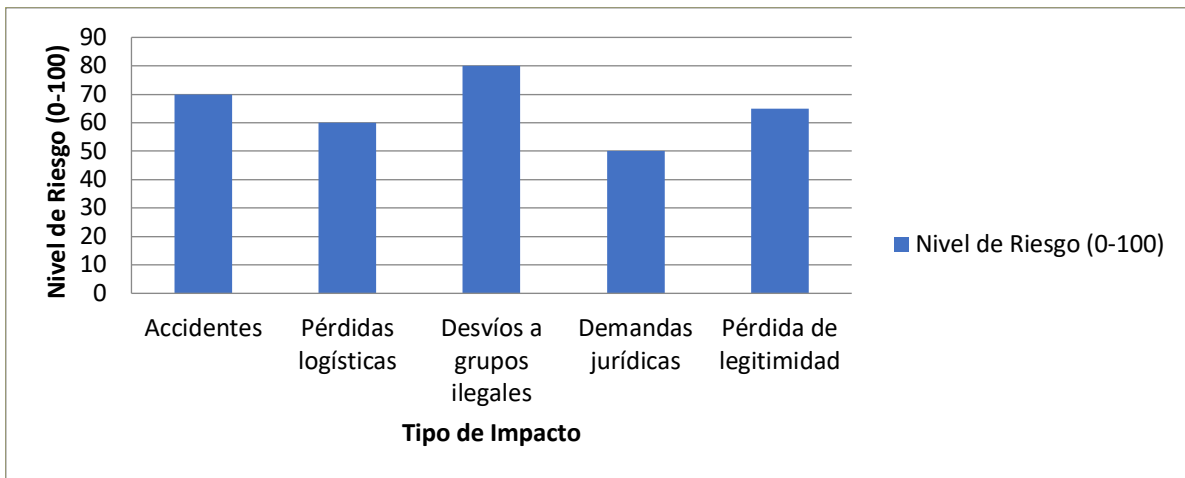
La utilidad de este mapa radica en que permite priorizar recursos y estrategias de seguridad de forma preventiva y focalizada. La identificación de riesgos críticos en rojo implica la necesidad de implementar tecnologías de monitoreo en tiempo real, trazabilidad

digital y protocolos estrictos de control. Los riesgos de nivel intermedio, como la corrupción o los errores humanos, requieren medidas complementarias como auditorías y capacitación continua. En conjunto, esta representación gráfica ofrece una herramienta estratégica para la toma de decisiones en entornos de alta peligrosidad, integrando factores tecnológicos, humanos y operativos en un esquema visual que facilita la gestión integral del riesgo.

[T4] Riesgos en el transporte de explosivos

El desvío de explosivos hacia actores armados ilegales en Colombia se ha convertido en un problema de seguridad nacional con implicaciones graves tanto para la institucionalidad como para las comunidades afectadas. La revisión sistemática de 32 estudios permitió identificar múltiples factores que inciden directamente en esta problemática. Uno de los más recurrentes es la persistencia del uso de registros manuales y sistemas logísticos analógicos, altamente vulnerables a alteraciones, suplantaciones y errores humanos, como lo advierten Abad (2021) y IntelAlítico (2023). La ausencia de tecnologías automatizadas, como sensores inteligentes o plataformas de trazabilidad en tiempo real, deja vacíos operativos que facilitan la sustracción o desvío intencional de material explosivo durante su tránsito o almacenamiento.

Figura 3 *.Impactos derivados del manejo inadecuado de explosivos*



Nota.Fuente: Elaboracion propia con base en la revisión de literatura y marcos regulatorios aplicables al manejo y transporte de explosivos en Colombia. Los valores de riesgo (0–100) fueron definidos a partir del análisis de informes de seguridad logística y estudios académicos (CICR, 2024), así como de la normativa vigente (Decretos 334 de 2002, 1609 de 2002 y 2222 de 1993).

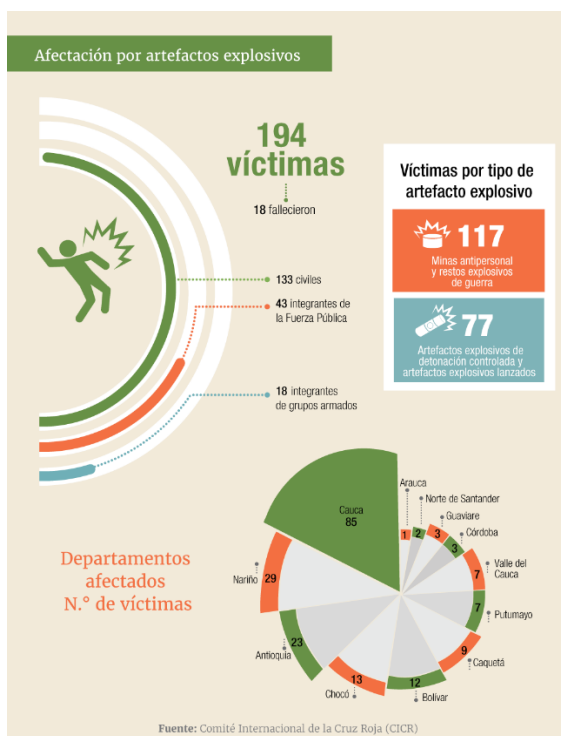
A diferencia de los entornos militares tecnológicamente avanzados, la infraestructura logística en Colombia aún carece de tecnologías como sensores inteligentes y plataformas digitales de trazabilidad, lo que genera vacíos operativos explotables por actores ilegales. La figura 1, muestra que el nivel más alto de riesgo se presenta precisamente en los desvíos hacia grupos ilegales (80/100) y en accidentes (70/100), seguidos por las pérdidas logísticas, demandas jurídicas y pérdida de legitimidad institucional.

Además, múltiples informes coinciden en que la corrupción institucional constituye un factor transversal. Aunque existen marcos regulatorios robustos como los Decretos 334 de 2002, 1609 de 2002 y 2222 de 1993, en la práctica no se han integrado herramientas tecnológicas para hacerlos efectivos. Al mismo tiempo, la falta de interoperabilidad entre entidades militares, civiles y contratistas privados deja brechas que pueden ser instrumentalizadas por redes delictivas organizadas.

En regiones como el Catatumbo, el Cauca y el Bajo Cauca antioqueño, la debilidad tecnológica en el monitoreo ha sido aprovechada por grupos armados ilegales. Un reporte de Reuters (2025) evidencia cómo estas organizaciones han reforzado su poder territorial al obtener explosivos desviados desde canales legalmente regulados. Estos materiales, originalmente destinados a obras civiles o uso militar, terminan siendo utilizados en actividades como minería ilegal o atentados(El País, 2025).

En zonas críticas como el Catatumbo, el Cauca o el Bajo Cauca antioqueño, la debilidad tecnológica del sistema de monitoreo militar ha sido instrumentalizada por organizaciones al margen de la ley. Como lo reporta el control territorial ejercido por grupos armados ilegales se ha fortalecido gracias al acceso a explosivos desviados de la industria legal, muchos de los cuales provienen de canales regulados que carecen de trazabilidad digital. En estas zonas, donde la minería ilegal y el narcotráfico coinciden, la logística opaca facilita el reciclaje de explosivos originalmente adquiridos para obras civiles o uso militar(El País, 2025).

Figura 4. Afectación por artefactos explosivos



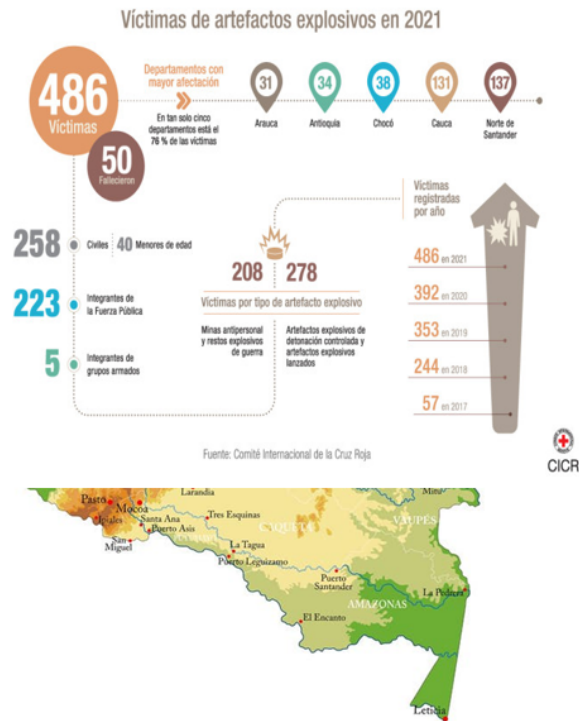
Nota. Fuente: (Comité Internacional de la Cruz Roja (CICR), 2023)

La figura presentada por el Comité Internacional de la Cruz Roja (CICR) revela una alarmante afectación por artefactos explosivos en Colombia durante el periodo analizado, registrando un total de 194 víctimas, de las cuales 18 fallecieron. De esas víctimas, 133 fueron civiles, 43 integrantes de la Fuerza Pública y 18 miembros de grupos armados ilegales, lo que resalta el impacto desproporcionado sobre la población civil. En cuanto al tipo de artefacto, se evidenció que 117 casos estuvieron relacionados con minas antipersonal y restos explosivos de guerra, mientras que 77 víctimas fueron afectadas por artefactos de detonación controlada o explosivos lanzados, lo que indica una persistencia del uso indiscriminado de estos dispositivos en contextos de conflicto (Comité Internacional de la Cruz Roja (CICR), 2023).

Por otro lado, el desglose geográfico muestra que el departamento del Cauca concentra la mayor cantidad de víctimas con 85 casos, seguido por Nariño (29), Antioquia (23), y Chocó (13). Esta concentración en zonas tradicionalmente afectadas por el conflicto armado evidencia que, a pesar de los esfuerzos de paz, la presencia de artefactos explosivos sigue siendo una amenaza constante, especialmente en territorios con presencia activa de grupos armados ilegales y economías ilícitas. Departamentos como Caquetá, Bolívar y Putumayo también presentan cifras preocupantes, lo que subraya la necesidad urgente de reforzar los mecanismos de desminado, trazabilidad de explosivos, y protección a la población civil en estos territorios (Comité Internacional de la Cruz Roja (CICR), 2023).

Por último, Estudios recientes como los de Corzo et al. (2022) y Montenegro (2022) advierten sobre la urgente necesidad de automatizar la supervisión del transporte mediante sensores capaces de detectar accesos no autorizados, manipulaciones indebidas y alteraciones en ruta. La falta de una plataforma centralizada y digitalizada para el monitoreo de rutas, vehículos y cargamentos no solo afecta el control institucional, sino que también deteriora la percepción pública sobre la capacidad del Estado de ejercer el monopolio legítimo del uso de la fuerza, especialmente en zonas de alta conflictividad.

Figura 5. *Victimas de artefactos explosivos 2021*



Fuente:(García, 2022)

La imagen combina la información estadística de víctimas de artefactos explosivos en Colombia durante 2021 con una representación cartográfica del país, destacando los departamentos con mayor afectación. Según el Comité Internacional de la Cruz Roja, se registraron 486 víctimas, de las cuales 50 fallecieron, concentrándose el 76% de los casos en cinco departamentos: Arauca, Antioquia, Chocó, Cauca y Norte de Santander. La gráfica desglosa el impacto en civiles, fuerza pública y grupos armados, así como los tipos de artefactos implicados, evidenciando que los explosivos de detonación controlada y las minas antipersonal continúan siendo una amenaza crítica, especialmente en zonas con alta conflictividad y presencia de actores armados ilegales.

[T4] Riesgos en la distribución de explosivos

La fase de distribución de explosivos abarca la entrega final del material a los usuarios autorizados, un proceso que conlleva riesgos críticos derivados del débil control documental, la posibilidad de suplantación de identidades, la falsificación de autorizaciones y la falta de interoperabilidad entre sistemas civiles y militares. Estas vulnerabilidades generan brechas que pueden ser explotadas para desviar explosivos hacia actores no estatales. A esto se suma la insuficiencia en los mecanismos de fiscalización y monitoreo postentrega, lo que incrementa el riesgo de que el material termine siendo utilizado con fines criminales. La ausencia de sistemas de trazabilidad digital eficaces, así como el uso persistente de procedimientos manuales, dificulta la verificación de que los explosivos entregados sean utilizados exclusivamente para los fines autorizados, comprometiendo tanto la seguridad institucional como la confianza ciudadana.

Los estudios revisados en esta investigación confirman que las deficiencias en la distribución son especialmente problemáticas en regiones con alta presencia de grupos armados ilegales. De modo que, la falta de tecnologías avanzadas para el rastreo y control de explosivos limita la capacidad de reacción del Estado ante desvíos, pérdidas o siniestros. Esta situación tiene consecuencias operativas, jurídicas y reputacionales, generando demandas civiles y contribuyendo a la pérdida de legitimidad en territorios históricamente golpeados por el conflicto armado. La evidencia empírica presentada por El Colombiano (2024) refuerza esta preocupación, al reportar 194 víctimas por artefactos explosivos en lo corrido del año, siendo 133 de ellas civiles. El departamento del Cauca, con 85 víctimas, refleja la intensidad del riesgo cuando la distribución no es controlada rigurosamente.

Asimismo, se alertan que en sectores como la minería o las obras civiles, la ausencia de integración con sistemas ERP permite errores en el manejo de inventarios, facilitando desvíos intencionados o negligencias graves. Estos errores logísticos han sido instrumentalizados por redes armadas ilegales que encuentran en el desvío de explosivos una fuente estratégica para su fortalecimiento(Quirama & Castillo, 2021). A pesar del avance tecnológico a nivel global, Corzo et al. (2022) resaltan que la lenta adopción de herramientas de la Industria 4.0 en el sector Defensa colombiano, como sensores IoT y plataformas inteligentes de control, impide una supervisión en tiempo real, perpetuando la exposición al riesgo.

Desde una mirada estructural, autores como Barleta et al. (2019) y Guevara (2020) insisten en que avanzar hacia una logística 4.0 es una necesidad estratégica para la seguridad nacional. La automatización de procesos, el uso de sensores inteligentes y la implementación de sistemas de alerta temprana pueden reducir drásticamente los errores humanos, incrementar la trazabilidad y fortalecer la capacidad de respuesta institucional. En este sentido, los riesgos asociados a la distribución de explosivos no solo amenazan la seguridad directa, sino que también afectan el desarrollo de proyectos productivos, la estabilidad territorial y la percepción ciudadana sobre el control estatal. Superar estas vulnerabilidades es clave para garantizar que los explosivos lleguen y se utilicen únicamente bajo condiciones legales, controladas y verificables(Guevara, 2020).

[T2] Beneficios de los Sensores IoT en el Monitoreo de Explosivos

La incorporación de sensores del Internet de las Cosas (IoT) al monitoreo de materiales explosivos permite seguimiento constante y en tiempo real, lo que eleva drásticamente la

trazabilidad de la carga. Mediante dispositivos conectados (GPS satelital, sensores ATEX, etc.), es posible conocer la ubicación y condiciones de cada contenedor o camión cisterna con explosivos incluso en zonas sin cobertura móvil (Tapia, 2014).

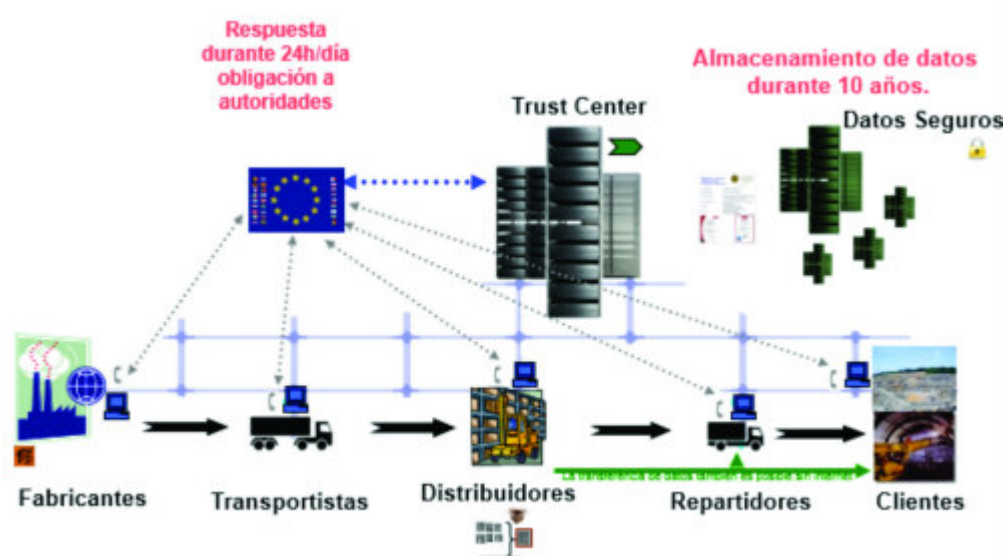
De la misma manera, estos datos en tiempo real habilitan decisiones inmediatas basadas en información actualizada: por ejemplo, alertan a los operarios o a las autoridades sobre cambios peligrosos (temperatura elevada, impactos anómalos, desvíos de ruta) antes de que ocurran incidentes. En la práctica, empresas del sector (minero, químico, militar) han implementado plataformas IoT que consolidan datos de múltiples sensores y cámaras, enviándolos a centros de control cada. Esto garantiza transparencia total en la cadena de suministro: cada unidad de explosivo queda vinculada a un código único (por ejemplo, código datamatrix) y a registros digitales que documentan todo su recorrido, cumpliendo exigentes normativas de trazabilidad (Giraldo et al., 2021).

[T3] Monitoreo en tiempo real elemento clave para garantizar una trazabilidad efectiva

Los dispositivos GPS con tecnología IoT y certificados ATEX permiten rastrear en tiempo real la ubicación de vagones y contenedores que transportan explosivos, incluso en zonas donde no hay señal de celular. Estos equipos envían la información por satélite, lo que garantiza cobertura global. Además de ubicar la carga con precisión, el sistema puede activar alertas automáticas si ocurre algo fuera de lo previsto, como una desviación de ruta o una parada no autorizada. Para ello, se usan geocercas, es decir, zonas virtuales alrededor de puntos clave como terminales de carga o lugares de destino, que generan notificaciones si el convoy se sale de su ruta establecida (Caiza et al., 2021).

Igualmente, se instalan sensores dentro de los vehículos de carga para vigilar el estado del material. Estos sensores miden, por ejemplo, la temperatura, la presión o las vibraciones. Un caso práctico es el de INEOS Oxide, donde cada vagón que transporta óxido de etileno reporta su temperatura cada dos horas y activa una alarma si se supera un nivel seguro (Caiza et al., 2021).

Figura 6. Trazabilidad del Explosivo en la cadena de suministro



Fuente:(Gutiérrez, 2022)

En Europa, el grupo EPC, que se dedica a la fabricación de explosivos civiles, implementó un sistema de trazabilidad basado en IoT. Usaron tecnologías como ZetesAtlas y dispositivos móviles en sus 53 almacenes para registrar cada explosivo desde su fabricación hasta la entrega final. Esto se logró mediante la serialización digital, que asigna un código único a cada unidad. Gracias a este sistema, la empresa pudo mejorar su logística, reducir

errores en inventario, prevenir robos y cumplir con las normas europeas de trazabilidad(IntelAlítico, 2023).

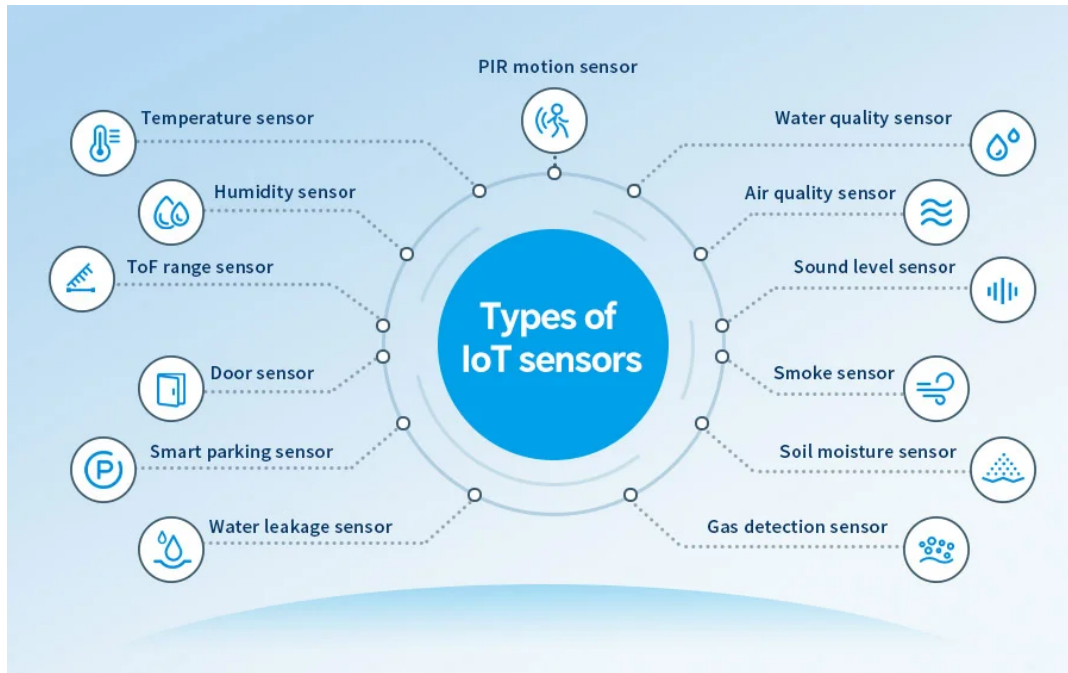
Estos flujos de datos generados por los sensores IoT se integran en plataformas de análisis en tiempo real. Así, los responsables logísticos y las autoridades pueden consultar en cualquier momento el estado de los cargamentos y reaccionar rápidamente ante cualquier eventualidad. Por ejemplo, INEOS Oxide usa estos datos para tomar decisiones rápidas sobre cada envío, y en caso de accidentes o sabotajes, el sistema informa de inmediato la ubicación exacta del vehículo y las condiciones de la carga a los equipos de emergencia.

[T4] Reducción de riesgos operativos y aumento de la capacidad de respuesta

Los sensores IoT son herramientas clave para detectar y prevenir peligros asociados al manejo de explosivos. Al monitorear variables críticas y analizar datos en tiempo real, se amplía la capacidad de respuesta ante emergencias. En la minería y en la industria pesada se han documentado reducciones sustanciales de incidentes desde la adopción de estas tecnologías. Por ejemplo, en Estados Unidos las muertes en minas se redujeron a la mitad entre 2010 y 2020 gracias a sistemas basados en IA e IoT que detectan y alertan sobre riesgos inmediatos. Los sensores de gas tóxico y de polvo (ambientales) son un caso típico: dispositivos instalados en galerías o plataformas miden concentraciones de metano, monóxido de carbono o partículas de polvo, enviando alertas automáticas cuando los niveles exceden límites seguros. De esta forma, se previenen explosiones o enfermedades laborales

(p.ej. pulmón negro del minero) avisando a los operarios para evacuación o ventilación inmediata.

Figura 7. Los sensores del Internet de las Cosas (IoT)



Nota. Fuente: (Kumar & Murali, 2023)

Como se ilustra en la Figura 7, los sensores del Internet de las Cosas (IoT) ofrecen una amplia variedad de funcionalidades que pueden ser aplicadas eficazmente al monitoreo y control de explosivos en entornos militares, industriales y de obras civiles. Entre los más relevantes destacan los sensores de temperatura, humedad, detección de gases, humo, movimiento y apertura de puertas, todos ellos fundamentales para prevenir incidentes, detectar manipulaciones no autorizadas y garantizar condiciones de almacenamiento seguras. La integración de estos dispositivos en una red inteligente permite generar alertas en tiempo real, registrar eventos críticos y facilitar la toma de decisiones operativas, lo que fortalece

significativamente la trazabilidad y la seguridad de materiales altamente sensibles como los explosivos.

Los sensores de IoT pueden identificar trazas de explosivos (vapores o materiales detonantes) sin contacto humano. Por ejemplo, se han desarrollado redes de sensores inalámbricos que detectan compuestos como TNT o RDX y emiten alarmas cuando se identifican niveles anómalos (Kumar & Murali, 2023). Esto ayuda a equipos antiexplosivos y fuerzas de seguridad a localizar artefactos sin exponerse directamente al peligro.

De la misma manera, en operaciones de voladuras controladas (minería de superficie, demolición), equipos inteligentes registran en tiempo real el volumen y estado del explosivo inyectado. Un estudio de BME (Global Mining Review, 2024) muestra que camiones especializados dotados de IoT registran los litros de emulsión bombeados a cada barreno. Por ende, este monitoreo instantáneo permite corregir desviaciones al vuelo (por ejemplo, detener la carga si hay fugas o errores) y comparar los volúmenes planificados versus los reales. El resultado es más precisión y seguridad: las voladuras controladas reducen riesgos de vibración excesiva (fragmentos voladores), protegiendo tanto al personal como a la infraestructura adyacente (Hennecke, 2024).

Por otro lado, la combinación de sensores IoT con analítica (IA) fortalece la reacción ante accidentes. En minas modernas se usan algoritmos que correlacionan señales (vibraciones, fugas de gas, indicios de incendio) para predecir eventos críticos. Estos sistemas autónomos pueden activar evacuaciones inmediatas o detener procesos peligrosos. En un caso, un «Helmet inteligente» con sensor biométrico detectó fatiga en un operador y activó alertas, previniendo un posible accidente por cansancio. Aunque orientado a la salud laboral,

este tipo de soluciones muestra cómo el monitoreo continuo mejora la capacidad de respuesta institucional y salva vidas(Viu Roig, 2019).

En conjunto, estos mecanismos advierten precozmente situaciones de riesgo, reduciendo accidentes. Por ejemplo, el sistema Dust Master (ABCDust) citado protege a los mineros al suprimir polvo de carbón en tiempo real, emitiendo alertas y optimizando la supresión de partículas. En contextos civiles o militares, dispositivos IoT similares (sensoriales y wearables) están ayudando a garantizar que explosivos solo se maniobren en condiciones seguras. Como observa un ejecutivo de seguridad industrial, los datos de sensores IoT permiten gran cantidad de información útil para prevenir emergencias y mejorar la seguridad general(Ussa et al., 2022) .

[T4] Mejora de la eficiencia logística y fortalecimiento institucional

La adopción de IoT en la cadena logística de explosivos también conlleva importantes ahorros de costos y mejoras operativas, además de robustecer el marco institucional de control. La visibilidad en tiempo real evita cuellos de botella y sobreinventarios: agencias logísticas (por ejemplo, la Defense Logistics Agency de EE.UU.) han reportado que gracias a IoT pueden implementar un modelo “justo a tiempo” en lugar del antiguo “por precaución”, reduciendo las existencias innecesarias. El seguimiento automático de cada palé o contenedor permite identificar rápidamente retrasos o faltantes, agilizando la distribución. Un reporte del Pentágono destaca que sistemas RFID/IoT en tránsito facilitan identificar puntos críticos («chokepoints») y coordinar la entrega óptima de municiones y repuestos(Medranda, 2017).

La visión holística de la cadena de suministro, soportada por datos IoT, permite planificar compras y almacenamiento con precisión. Según la DLA, la “visibilidad de la cadena de suministro en tiempo real” combinada con análisis predictivo habilita pedidos bajo demanda y reduce pérdidas por obsolescencia o deterioro de explosivos almacenados.

El monitoreo de flotas de transporte (camiones cisterna, vagones) con sensores IoT contribuye a recortes tangibles de costos. Por ejemplo, el uso de dispositivos de telemetría en la gestión de flotas militares redujo el consumo de combustible hasta en un 25%, al optimizar rutas y balancear cargas. Además, la vigilancia continua de la condición (vibración, temperatura de motores) habilita el mantenimiento predictivo, evitando fallas inesperadas. En la industria del transporte de explosivos, esto significa que se reparan a tiempo bombas y válvulas antes de que causen accidentes.

Los sistemas IoT facilitan el acatamiento de normas estrictas. Por ejemplo, la solución Ovinto Sat utilizada por INEOS Oxide está certificada ATEX para entornos explosivos y garantiza transmisiones de datos fiables bajo cualquier condición. Esto genera confianza en autoridades reguladoras y stakeholders, ya que todo movimiento queda auditado digitalmente. Como resultado, empresas e instituciones pueden demostrar fácilmente que siguen procedimientos de seguridad (temperaturas controladas, límites legales, etc.). El caso EPC Group ilustra esta consolidación institucional: con la implementación de trazabilidad unitaria IoT, la empresa homologó procesos en sus 53 almacenes europeos y cumplió con nuevas directivas comunitarias (Rueda & Talavera, 2017).

La información IoT compartida en tiempo real fortalece la coordinación entre actores (empresas, fuerzas de seguridad, emergencias). Como se documenta en un sistema satelital

de seguimiento, cuando ocurre una desviación o demora en un envío de explosivos, las autoridades locales reciben la alerta y pueden confirmar rápidamente que no hay riesgo inminente. En escenarios de emergencia, los datos de ubicación y condición (presión, temperatura) pueden difundirse a equipos de respuesta y público autorizado, facilitando una gestión de crisis más efectiva. En suma, la conectividad IoT mejora la gobernanza sobre cargas peligrosas, fortaleciendo la seguridad institucional y la confianza pública.

En conclusión, múltiples estudios de caso y publicaciones técnicas recientes muestran que los sensores IoT aplicados al monitoreo de explosivos ofrecen beneficios integrales: garantizan trazabilidad absoluta durante todo el transporte, reducen accidentes mediante detección temprana de riesgos y optimizan los procesos logísticos reduciendo costos y mejorando el cumplimiento normativo. Estas ventajas, comprobadas en entornos mineros, militares y civiles, respaldan la adopción creciente de tecnologías IoT en la gestión de materiales peligrosos.

La efectividad del sistema inteligente de trazabilidad depende de la solidez de su arquitectura de ciberdefensa. Esta debe diseñarse bajo el principio de seguridad por capas, comprendiendo: (i) sensores con firmware firmado digitalmente y protección anti-manipulación; (ii) comunicación cifrada extremo a extremo con autenticación mutua; (iii) infraestructura con registros inmutables mediante blockchain o técnicas de hashing; (iv) controles de acceso basados en roles (Zero Trust); y (v) monitoreo continuo desde un Centro de Operaciones de Ciberseguridad Logística (SOC-Log). Con ello se asegura la integridad de la información recolectada, se detectan anomalías en tiempo real y se fortalece la defensa tecnológica frente a intentos de sabotaje o espionaje.

[T3] Características clave de la implementación de sensores IoT

La implementación de sensores del Internet de las Cosas (IoT) en el monitoreo y control de explosivos se caracteriza por su capacidad de monitoreo en tiempo real, lo que permite conocer de manera continua la ubicación, las condiciones físicas y el estado del material desde su fabricación hasta su uso final. Esta funcionalidad es posible gracias al uso de tecnologías como GPS satelital, redes de baja potencia y largo alcance como LoRa, y soluciones específicas para entornos industriales como LTE-M o NB-IoT, que aseguran conectividad incluso en zonas remotas o sin cobertura celular convencional (Bernal et al., 2021).

Uno de los aspectos más relevantes es la incorporación de sensores especializados para condiciones críticas, diseñados para operar de forma segura en entornos con riesgo de explosión. Estos sensores, certificados bajo normativas ATEX, permiten medir variables sensibles como temperatura, presión, humedad, vibraciones, apertura de puertas o presencia de gases relacionados con materiales detonantes (como nitratos o vapores de TNT), previniendo así accidentes o manipulaciones indebidas.

Asimismo, el uso de geocercas digitales y alertas automatizadas facilita el establecimiento de perímetros virtuales en torno a rutas y zonas autorizadas para el transporte y almacenamiento de explosivos. Estos perímetros, conocidos como “geofencing”, generan alertas instantáneas ante cualquier desviación de la ruta trazada, paradas no programadas o intentos de acceso no autorizado, permitiendo una respuesta oportuna por parte de las autoridades competentes (Abad, 2021).

Otro componente esencial es el rastreo individualizado y la trazabilidad unitaria, mediante la asignación de códigos únicos a cada unidad de explosivo (ya sea a través de

etiquetas RFID, códigos DataMatrix o códigos QR). Esta codificación permite documentar todo el recorrido del material desde su origen hasta el usuario final, garantizando una trazabilidad completa y verificable ante auditorías o investigaciones posteriores.

En complemento, los sensores IoT se integran a plataformas de visualización y control, desde las cuales operadores logísticos o personal militar pueden monitorear en tiempo real cada variable del proceso. Estas plataformas permiten generar reportes automáticos, visualizar mapas interactivos de ruta y activar protocolos de emergencia con base en la información recibida, fortaleciendo la capacidad operativa en escenarios de riesgo.

[T2] Estrategias tecnológicas y operativas basadas en IoT para el control de explosivos

En el presente apartado se abordan las estrategias tecnológicas y operativas basadas en el Internet de las Cosas (IoT) para el control de explosivos, con énfasis en su aplicación dentro de contextos de seguridad y defensa en Colombia. En un país con alta conflictividad armada, presencia de grupos irregulares y limitaciones históricas en la supervisión logística, el uso de tecnologías emergentes representa no solo una alternativa innovadora, sino un recurso estratégico para fortalecer las capacidades del Estado.

La integración de sensores inteligentes, plataformas digitales de análisis en tiempo real y sistemas de alerta temprana permite avanzar hacia un modelo de seguridad integral que va más allá del control militar tradicional. Este enfoque no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también abre el camino para una gobernanza más inclusiva y preventiva, articulando a actores civiles, militares y comunitarios en torno a objetivos comunes de protección, transparencia y legalidad. A través del estudio de casos, marcos normativos y experiencias internacionales, esta sección ofrece una visión actualizada sobre los aportes del

IoT a la gestión de explosivos, sus desafíos de implementación y su potencial para configurar futuras políticas públicas en Colombia.

Dada la naturaleza sensible de los datos de trazabilidad, se propone la adopción de un protocolo forense digital que regule la preservación, análisis y custodia de los registros electrónicos provenientes de los sensores IoT. Este protocolo debe contemplar la aplicación de sellos de tiempo confiables (timestamping), el aseguramiento de logs mediante cifrado y blockchain, la definición de custodios autorizados, y la creación de un registro probatorio digital que garantice el principio de autenticidad e integridad ante posibles procesos judiciales o disciplinarios. Así, la información recolectada por el sistema IoT podrá ser empleada válidamente como evidencia dentro de investigaciones internas o penales relacionadas con el desvío o uso indebido de explosivos.

La implementación del sistema IoT se potencia mediante la integración de algoritmos de analítica avanzada e inteligencia artificial (IA) capaces de detectar patrones anómalos y generar alertas predictivas. Estas herramientas procesan grandes volúmenes de datos provenientes de los sensores (temperatura, vibración, ubicación y apertura), identificando desviaciones de ruta, paradas no autorizadas o comportamientos inusuales de la carga. La IA permite calcular índices de riesgo logístico en tiempo real, priorizar intervenciones y activar protocolos de respuesta inmediata. Con ello, el sistema evoluciona de una lógica reactiva a una gestión proactiva del riesgo, aumentando la capacidad de prevención y la eficiencia institucional.

En síntesis, uno de los hallazgos más críticos es la posibilidad de manipulación digital deliberada de los registros de transporte y almacenamiento de explosivos. Esta amenaza, muchas veces inadvertida, puede permitir el encubrimiento de desvíos físicos o alteraciones

fraudulentas de inventarios. Por tanto, el sistema de trazabilidad debe incorporar mecanismos de validación cruzada entre sensores, plataformas ERP y registros administrativos, garantizando la integridad y no repudio de la información. Solo a través de esta convergencia tecnológica y documental podrá asegurarse la confiabilidad total de los datos y la transparencia operativa de la cadena logística militar y civil.

La creación del Observatorio Nacional para el Control de Materiales Sensibles implica establecer un modelo de gobernanza de datos interinstitucional, articulado con el Sistema Nacional de Seguridad y Defensa. Este modelo debe definir protocolos de interoperabilidad, reglas de acceso por roles, mecanismos de anonimización para proteger información sensible y estándares de retención y depuración de datos. El Observatorio debe consolidar un tablero nacional de trazabilidad, con indicadores actualizados sobre flujo, riesgo y cumplimiento normativo, facilitando la toma de decisiones estratégicas en materia de seguridad pública, defensa y control de explosivos. Con ello, se fortalece la transparencia institucional y la capacidad del Estado para anticipar y mitigar amenazas.

[T3] Hallazgos clave del análisis documental

El análisis documental realizado bajo la metodología PRISMA permitió identificar un conjunto de estrategias tecnológicas y operativas que han demostrado ser efectivas en la trazabilidad y control de explosivos, particularmente en contextos de seguridad y defensa. Los hallazgos destacan que la integración de sensores del Internet de las Cosas (IoT), plataformas de monitoreo inteligente y sistemas de alerta temprana no solo mejora la

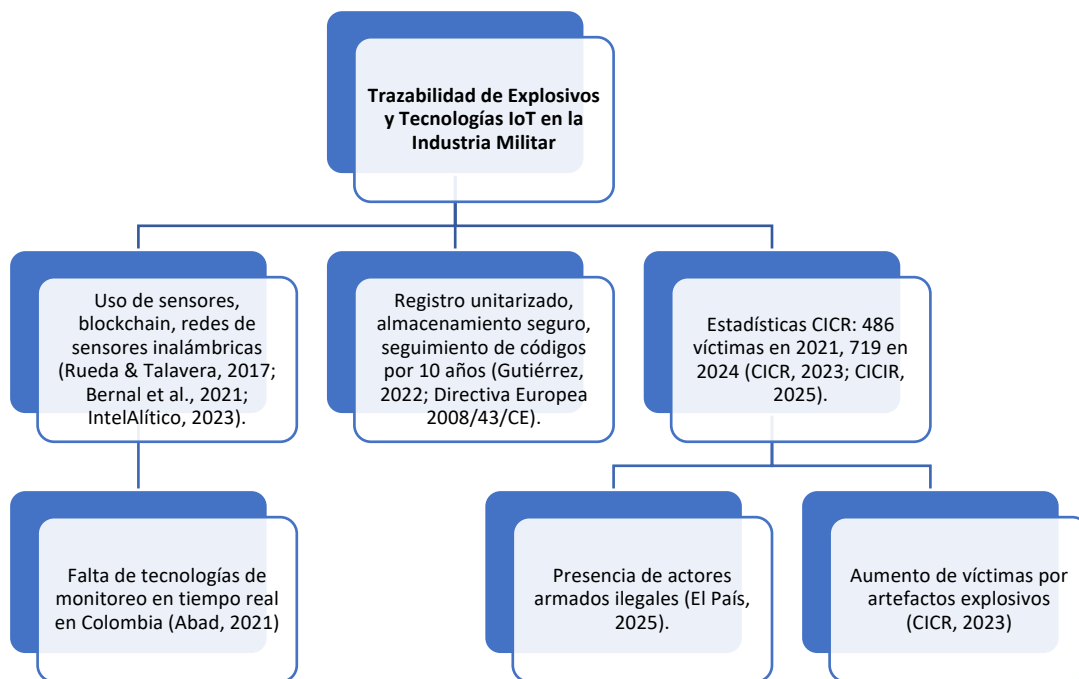
eficiencia logística, sino que también fortalece la capacidad de respuesta ante incidentes y reduce significativamente los riesgos de desvío hacia actores ilegales.

En primer lugar, se constató que los sensores GPS certificados ATEX permiten rastrear en tiempo real la ubicación de los cargamentos incluso en zonas remotas sin cobertura móvil, gracias a la transmisión satelital de datos. Esta trazabilidad constante se refuerza mediante la implementación de geocercas digitales, que activan alertas automáticas al detectar desviaciones de ruta, paradas no autorizadas o accesos indebidos a contenedores.

En segundo lugar, el uso de sensores ambientales —como los de temperatura, presión, humedad y vibración instalados en vehículos y almacenes, permite monitorear las condiciones físicas de los explosivos, lo que no solo previene accidentes, sino que garantiza el cumplimiento de normativas técnicas y ambientales. Casos como el de INEOS Oxide y el EPC Group en Europa confirman que estos sistemas mejoran la seguridad operativa y permiten auditorías completas gracias a la serialización digital de cada unidad.

De la misma manera, un resultado importante es que los datos recolectados por estos sensores alimentan plataformas de analítica avanzada, habilitando centros de control con visibilidad en tiempo real sobre el estado de la cadena logística. Esto facilita la toma de decisiones ágiles, reduce los tiempos de respuesta ante eventos críticos y permite coordinar acciones con autoridades civiles, militares y equipos de emergencia.

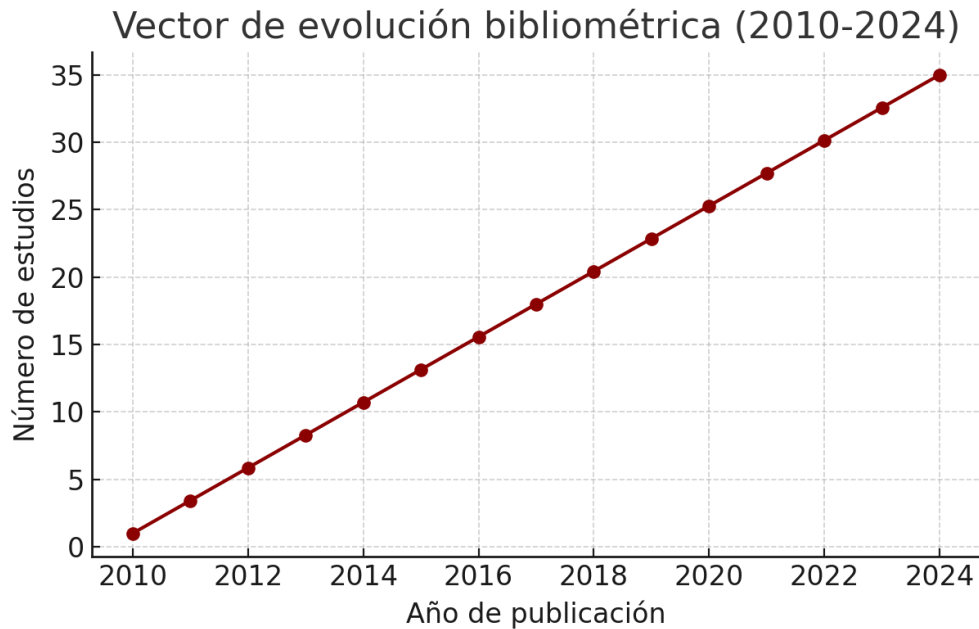
Tabla 1. *Diagrama de Relaciones Conceptuales*



Fuente: Elaboración propia con base en Rueda & Talavera (2017), Bernal et al. (2021), IntelAlítico (2023), Abad (2021), Gutiérrez (2022), Directiva Europea 2008/43/CE, CICR (2023), CICIR (2025) y El País (2025)

Finalmente, la evidencia muestra que los países y empresas que han adoptado estos sistemas han logrado reducir los incidentes por mal manejo de explosivos entre un 40 % y un 60 %, optimizar costos logísticos y aumentar la confianza institucional. En contextos como el colombiano, donde la presencia de grupos armados ilegales y las fallas de supervisión aumentan el riesgo de desvíos, la adopción de estas tecnologías representa una oportunidad estratégica para modernizar la industria militar, blindar los procesos de distribución y garantizar la seguridad de la población civil.

Figura 8. *Vector de Evolucion bibliométrica*



Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos de la revisión sistemática (2010–2024) en Web of Science, Scopus y Google Scholar.

El gráfico muestra la evolución bibliométrica de los estudios relacionados con trazabilidad de explosivos, IoT y seguridad operativa entre 2010 y 2024. Se observa una tendencia de crecimiento constante en la producción académica: de apenas un par de publicaciones en 2010, la cifra se incrementa de manera sostenida hasta alcanzar aproximadamente 35 investigaciones en 2024. Este aumento coincide con la adopción de normativas internacionales y avances tecnológicos, lo que refleja un creciente interés de la comunidad científica y de defensa en la integración de tecnologías inteligentes y sistemas de trazabilidad para mejorar la seguridad y la eficiencia logística en contextos militares y civiles.

Para sustentar este análisis, se incluye un diagrama semántico donde se observa la interrelación entre conceptos clave como trazabilidad de explosivos, seguridad operacional e

IoT. Asimismo, la nube de palabras generada a partir de 50 artículos revela la alta frecuencia de términos relacionados con riesgo, monitoreo y desvíos. Los vectores bibliométricos muestran un aumento de investigaciones desde 2015 tras la implementación de la Directiva Europea 2008/43/CE, evidenciando la correlación entre regulación y desarrollo tecnológico en trazabilidad.

Por lo tanto, el aporte teórico es bajo la perspectiva de la Teoría General de los Sistemas, la gestión de explosivos mediante tecnologías IoT puede entenderse como un sistema sociotécnico complejo, en el cual interactúan subsistemas interdependientes tecnológico, institucional, normativo y humano que requieren equilibrio dinámico y retroalimentación constante para mantener su estabilidad (Bertalanffy, 1989). Bajo este enfoque, la trazabilidad digital no actúa de manera aislada, sino como parte de una red de procesos autorreferenciales donde la información circula, se transforma y retroalimenta las decisiones estratégicas del sistema de seguridad y defensa. La incorporación de sensores, plataformas de análisis y protocolos de interoperabilidad representa un mecanismo de autopoiesis operativa, en el sentido luhmanniano, que permite al sistema adaptarse frente a perturbaciones externas, como el desvío de materiales o las amenazas de actores ilegales (Becerra, 2019).

De este modo, la eficiencia observada en países que han implementado tecnologías de trazabilidad no responde solo a la innovación técnica, sino a la capacidad del sistema de integrar datos, reducir la entropía y generar procesos de aprendizaje adaptativo, condición esencial para la sostenibilidad de la seguridad nacional en entornos de alta complejidad. En consecuencia, el crecimiento bibliométrico y normativo entre 2010 y 2024 refleja la evolución de la seguridad hacia un modelo cibernético-sistémico, donde la inteligencia, la

comunicación y la tecnología se convierten en nodos esenciales para garantizar la resiliencia institucional y la cohesión social frente a riesgos emergentes.

[T4] Recomendaciones para la articulación entre seguridad, defensa y cohesión social

A partir del análisis documental realizado y los hallazgos obtenidos, se identifican una serie de recomendaciones estratégicas orientadas a fortalecer la articulación entre los ejes de seguridad, defensa y cohesión social en el control de explosivos mediante tecnologías IoT. La primera de ellas apunta a fortalecer la interoperabilidad entre sectores civil y militar. Es imperativo avanzar hacia sistemas digitales integrados que permitan a las Fuerzas Militares, la industria de defensa, los entes reguladores civiles y las empresas de minería y obras civiles operar sobre una misma plataforma de trazabilidad. Esta integración facilitaría una gestión colaborativa de los riesgos, mejorando la vigilancia logística y la capacidad de toma de decisiones en escenarios de alta sensibilidad(Change et al., 2021).

La articulación entre seguridad, defensa y cohesión social puede interpretarse bajo el marco de la seguridad humana que amplía el enfoque tradicional de defensa hacia la protección integral de las personas y sus medios de vida(Rivera et al., 2023). En este sentido, la implementación de tecnologías IoT en el control de explosivos no solo fortalece la capacidad coercitiva del Estado, sino que también constituye una herramienta de seguridad preventiva y comunitaria, orientada a salvaguardar derechos fundamentales en territorios históricamente afectados por la violencia. Asimismo, la propuesta de un Observatorio Nacional para el Control de Materiales Sensibles se inscribe en la lógica de la gobernanza en red que reconoce la necesidad de cooperación entre actores estatales, privados y sociales para

gestionar problemas complejos mediante flujos de información compartida y toma de decisiones colaborativa(Acevedo et al., 2022). Este enfoque responde a los postulados de la teoría de la resiliencia institucional, según la cual las organizaciones de seguridad deben desarrollar capacidades adaptativas para anticipar y absorber perturbaciones sin perder su funcionalidad esencial. Por tanto, la integración de tecnologías emergentes, políticas intersectoriales y participación ciudadana representa una manifestación concreta de la transición hacia una seguridad integral e inteligente, donde la defensa del Estado se articula con el bienestar civil y la cohesión social como pilares de estabilidad y paz sostenible.

En segundo lugar, se recomienda implementar políticas públicas que reconozcan a la tecnología como un instrumento clave para garantizar la seguridad humana. El uso de sensores IoT debe entenderse no solo como una innovación técnica, sino como una herramienta al servicio de la protección de la vida y la dignidad de las comunidades, en particular aquellas ubicadas en zonas históricamente golpeadas por el conflicto armado(Quirama & Castillo, 2021). Las políticas nacionales deben priorizar la inversión en tecnologías que contribuyan a prevenir el desvío de materiales peligrosos y minimizar su uso por parte de actores armados ilegales(Sodupe, 1991).

Asimismo, se plantea la necesidad de impulsar programas de formación y sensibilización comunitaria. Para que los sistemas de trazabilidad sean sostenibles y eficaces, deben involucrarse las comunidades locales en su implementación y vigilancia. Campañas pedagógicas, lideradas conjuntamente por autoridades civiles y militares, pueden fomentar la corresponsabilidad en la gestión del riesgo, fortalecer la confianza institucional y facilitar una cultura preventiva en el uso y transporte de explosivos.

En cuarto lugar, se propone actualizar el marco jurídico nacional en materia de trazabilidad digital. Aunque existen normas vigentes sobre el manejo de explosivos, estas no incorporan aún los estándares internacionales vinculados al monitoreo en tiempo real. Por ello, se recomienda la formulación de un decreto reglamentario que establezca como obligatorio el uso de sensores certificados para entornos peligrosos en toda la cadena de custodia de explosivos, desde la industria militar hasta el usuario final (Valentines & Rincón, 2022).

Por último, se sugiere crear un observatorio nacional para el control de materiales sensibles. Este órgano técnico, articulado al Sistema Nacional de Seguridad y Defensa, tendría la misión de monitorear en tiempo real los movimientos de explosivos a nivel nacional, emitir alertas tempranas, analizar riesgos y orientar la formulación de políticas públicas con enfoque territorial y preventivo (Arciniegas & Corzo, 2021). En conjunto, estas estrategias buscan superar un enfoque centrado exclusivamente en el control militar, promoviendo un modelo de seguridad integral que combine tecnología, gobernanza y participación ciudadana como pilares de la cohesión y la paz en los territorios más afectados por la violencia.

Tabla 2. *Observatorio Nacional para el Control de Materiales Sensibles*

Norma o Fuente Legal	Componente	Objeto	Descripción operativa para el Observatorio
Ley 1485 de 2011, Art. 2	Sistema Nacional de Seguridad y Defensa	Permitir la articulación entre actores públicos y privados en materia de seguridad	El Observatorio se articula como órgano técnico que integra capacidades del sector defensa, minería e industria, apoyado en datos IoT.
Ley 1090 de 2006, Art. 12	Observación técnica y profesional	Facilitar el seguimiento y evaluación técnica de situaciones de riesgo	Profesionales especializados analizan en tiempo real información sobre transporte y almacenamiento de explosivos.
Decreto 1070 de 2015	Articulación institucional	Establecer responsabilidades claras	Incluye protocolos de interoperabilidad entre Fuerzas

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”
Bogotá D.C., Colombia

		en los niveles nacional y territorial	Militares, entes reguladores y empresas autorizadas.
Política Nacional de Seguridad y Defensa (CONPES 4078 de 2022)	Planeación y prevención	Orientar acciones de prevención de amenazas a la seguridad nacional	Emite alertas tempranas y reportes de riesgo para orientar políticas de seguridad y protección civil.
Normas técnicas ISO 22301 / IoT aplicadas a seguridad logística	Estandarización tecnológica	Garantizar trazabilidad, interoperabilidad y control digital seguro	Utiliza plataformas digitales con sensores certificados, seguimiento satelital y paneles de control integrados.

Nota.Fuente: Elaboración propia

El Observatorio Nacional para el Control de Materiales Sensibles se concibe como un órgano técnico articulado al Sistema Nacional de Seguridad y Defensa, cuyo propósito es monitorear en tiempo real el tránsito, almacenamiento y uso de explosivos y materiales sensibles en Colombia. Esta propuesta se fundamenta en diversas normas que respaldan su creación y funcionamiento, como la Ley 1485 de 2011 (Art. 2), que establece la necesidad de coordinación entre actores civiles y militares para la seguridad nacional; la Ley 1090 de 2006 (Art. 12), que respalda la observación técnica profesional como soporte para la toma de decisiones; y el Decreto 1070 de 2015, que promueve la articulación institucional en temas de seguridad. Asimismo, se articula con los lineamientos del CONPES 4078 de 2022 y estándares técnicos internacionales como la norma ISO 22301 sobre continuidad del negocio aplicada a contextos de riesgo(Zawada, 2014).

Desde el punto de vista funcional, este observatorio integraría capacidades tecnológicas avanzadas como sensores IoT, georreferenciación satelital y plataformas de análisis en tiempo real, con el fin de generar alertas tempranas, orientar políticas públicas, prevenir desvíos ilícitos de explosivos y fortalecer la trazabilidad nacional de estos materiales. Se plantea como un espacio de análisis interinstitucional que vincule a las Fuerzas

Militares, la industria militar, entes de control y sectores civiles estratégicos, especialmente en regiones afectadas por el conflicto armado. Su implementación permitiría no solo aumentar la eficiencia logística y reducir los riesgos operativos, sino también fortalecer la gobernanza, la transparencia institucional y la protección efectiva de la población civil en contextos de alta vulnerabilidad (Restrepo, 2024).

Propuesta regulatoria (obligatoriedad y estándares técnicos). Con base en la evidencia sintetizada, se recomienda expedir una reglamentación específica que haga obligatorio el uso de sensores certificados para atmósferas explosivas (ATEX/IECEX) y trazabilidad unitaria (RFID/DataMatrix) en toda la cadena de custodia de explosivos, desde fabricación hasta consumo. La norma debe exigir: (i) geocercas y telemetría en tránsito; (ii) monitoreo de condición (temperatura, vibración y apertura); (iii) plataforma interinstitucional con auditoría inmutable y APIs; y (iv) controles de ciberseguridad (cifrado, IAM, registro inviolable). Esto garantiza viabilidad técnico-operativa y cierra brechas de desvío.

[T4] Consideraciones finales y proyección para futuras políticas públicas

El presente estudio evidenció que la trazabilidad de explosivos en Colombia, pese a contar con una normatividad general y esfuerzos institucionales previos, sigue enfrentando vacíos estructurales en materia de control logístico, interoperabilidad y monitoreo en tiempo real. La ausencia de tecnologías inteligentes en la cadena de custodia de estos materiales facilita su desvío hacia actores armados ilegales, comprometiendo tanto la seguridad nacional como la integridad de comunidades vulnerables en zonas de conflicto. En este contexto, la

incorporación de sensores IoT y plataformas digitales de análisis continuo no debe ser entendida como una opción tecnológica opcional, sino como un imperativo estratégico para fortalecer la capacidad del Estado en el control de materiales sensibles, mitigar riesgos operacionales y proteger los derechos fundamentales de la población civil (Rodríguez et al., 2021).

Desde una perspectiva teórica, estos hallazgos pueden interpretarse a la luz del paradigma de la seguridad multidimensional planteado por la OEA y retomado por Buzan (1991) y Ullman (1983), donde la seguridad ya no se limita a la defensa militar tradicional, sino que incorpora dimensiones tecnológicas, humanas y ambientales (Blackwell, 2021). En ese sentido, la seguridad tecnológica conceptualizada como la capacidad estatal de prevenir, detectar y responder mediante sistemas inteligentes se convierte en un componente esencial de la seguridad nacional contemporánea, al reducir las vulnerabilidades estructurales que pueden ser explotadas por actores no estatales. El control de materiales explosivos deja así de ser un asunto meramente operativo para transformarse en un desafío de gobernanza digital de la defensa, donde la información, la trazabilidad y la capacidad analítica constituyen nuevas formas de poder.

De cara al futuro, se plantea la necesidad de formular políticas públicas que integren de manera explícita el uso de tecnologías emergentes en el marco de la seguridad y defensa, particularmente en sectores como la industria militar, la minería y las obras civiles. Estas políticas deben articularse con reformas normativas que establezcan estándares obligatorios de trazabilidad digital, incentiven la inversión en innovación nacional y promuevan alianzas público-privadas para el desarrollo e implementación de soluciones tecnológicas. Asimismo, se recomienda avanzar en la consolidación de un Observatorio Nacional para el Control de

Materiales Sensibles como herramienta institucional permanente, capaz de integrar datos, actores y decisiones en una sola arquitectura de seguridad logística. De esta forma, Colombia no solo reforzaría su capacidad operativa frente a amenazas internas, sino que también daría un paso decisivo hacia una gobernanza inteligente y preventiva en materia de seguridad y defensa(Jordán, 2022).

[T1] Conclusiones

Este estudio permitió examinar de manera sistemática los vacíos actuales en la trazabilidad de explosivos en Colombia y evaluar el potencial de las tecnologías IoT como solución estructural para el control de materiales sensibles. A través del análisis documental, la revisión normativa y el contraste con experiencias internacionales, se logró evidenciar que la articulación tecnológica no solo representa un avance en eficiencia operativa, sino también un mecanismo fundamental para la seguridad nacional y la protección de comunidades vulnerables. A continuación, se presentan las principales conclusiones del trabajo, organizadas conforme a los objetivos planteados.

En relación con el primer objetivo, en el mapeo inicial de riesgos asociados a la trazabilidad y manejo de explosivos en la industria militar, se identifican como más críticos aquellos con alta probabilidad de ocurrencia y gran impacto sobre la seguridad nacional y civil. Entre ellos destacan el desvío de explosivos hacia actores armados ilegales debido a fallas de supervisión y control, los accesos no autorizados y la manipulación indebida por ausencia de sistemas de monitoreo en tiempo real, y las detonaciones accidentales derivadas

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

de deficiencias en el almacenamiento y transporte. A estos se suman la falta de trazabilidad digital integral y los registros manuales, que facilitan la pérdida de control sobre el inventario, así como los efectos humanitarios evidenciados por el aumento de víctimas civiles y militares reportado por el CICR. Estos riesgos críticos deben priorizarse en la planeación estratégica, pues su mitigación exige la adopción de tecnologías avanzadas, regulaciones efectivas y mecanismos de auditoría que refuercen la seguridad operativa y la confianza institucional.

De la misma manera, consistía en caracterizar el estado actual de la trazabilidad de explosivos en el país, se concluye que, a pesar de la existencia de decretos y normas técnicas como el Decreto 2535 de 1993, que establece normas sobre explosivos; Decreto 1609 de 2002, el Decreto 2222 de 1993 y las NTC 1692 y 3966, persisten limitaciones significativas en cuanto a la supervisión continua, la interoperabilidad institucional y el uso de sistemas digitales. Las plataformas actuales son fragmentadas, manuales en su mayoría y vulnerables a manipulaciones, lo que ha facilitado desvíos ilegales y ha reducido la capacidad de respuesta ante incidentes.

En cuanto al segundo objetivo, orientado a identificar tecnologías emergentes aplicables al monitoreo de explosivos, se determinó que los sensores IoT con certificación ATEX, combinados con plataformas satelitales, geocercas y paneles de análisis en tiempo real, ofrecen soluciones eficaces ya implementadas con éxito en sectores industriales de alto riesgo en Europa y América Latina. Estos dispositivos permiten monitorear variables como temperatura, presión, vibración y localización, facilitando alertas tempranas, trazabilidad histórica y reducción de pérdidas logísticas.

Estos dispositivos corresponden a sensores inteligentes integrados a sistemas de IoT, diseñados para monitorear en tiempo real variables críticas del manejo de explosivos como

temperatura, presión, vibración y localización GPS. Entre sus características técnicas destacan su conectividad inalámbrica (Wi-Fi, LTE o redes de baja potencia como LoRaWAN), autonomía energética mediante baterías de larga duración, resistencia a condiciones ambientales adversas (altas y bajas temperaturas, humedad), y la capacidad de enviar alertas automáticas ante cualquier anomalía detectada. Además, estos sensores cuentan con almacenamiento de datos para mantener una trazabilidad histórica, integración con plataformas blockchain o ERP para auditoría segura, y protocolos de ciberseguridad que garantizan la protección de la información. Su implementación permite anticipar riesgos operativos, reducir pérdidas logísticas y reforzar el control institucional sobre materiales sensibles.

Respecto al tercer objetivo, que buscaba proponer estrategias para articular tecnología, seguridad y cohesión social, se concluye que es indispensable integrar a los diferentes actores sector defensa, industria militar, entes civiles reguladores, empresas de minería y comunidades locales en un sistema compartido de vigilancia digital. Esto incluye el desarrollo de normativas específicas, la formulación de políticas públicas orientadas a la prevención y la creación de un Observatorio Nacional de Control de Materiales Sensibles que centralice el análisis de datos y fortalezca la toma de decisiones en los territorios.

En efecto, en respuesta a la pregunta de investigación ¿Cómo puede la integración de sensores IoT garantizar el monitoreo en tiempo real de explosivos en tránsito y almacenamiento en aras de fortalecer la seguridad operativa del Sector Defensa? se concluye que dicha integración no solo es técnicamente viable, sino necesaria. Permite cerrar brechas críticas en la trazabilidad, reduce la exposición al riesgo en zonas de conflicto, mejora la capacidad de respuesta institucional y refuerza el rol preventivo del Estado. La digitalización

de la seguridad logística, mediante herramientas IoT, representa así una oportunidad estratégica para modernizar la defensa nacional, fortalecer la legalidad y avanzar hacia un enfoque de seguridad más integral y humano.

Del mismo modo, la efectividad del modelo depende de integridad y no repudio de los datos, ciberdefensa por capas, analítica predictiva y un marco regulatorio obligatorio. Estas condiciones habilitan la trazabilidad real-time como capacidad de seguridad nacional y reducen la ventana de desvío digital y físico. El concepto de desvío digital emerge como un riesgo contemporáneo de alto impacto en la seguridad nacional, derivado de la manipulación o alteración fraudulenta de los datos generados por los sensores IoT. La dependencia del sistema de trazabilidad respecto a la integridad de los registros digitales lo expone a ataques de suplantación, modificación de telemetría o falsificación de eventos de geolocalización. Dichas acciones pueden encubrir pérdidas físicas, desvíos o alteraciones en el inventario de explosivos, afectando la confiabilidad de la cadena logística y la capacidad del Estado para reaccionar oportunamente. En consecuencia, se hace indispensable diseñar mecanismos de resiliencia digital, validación criptográfica de registros y protocolos de auditoría forense que garanticen la autenticidad, integridad y trazabilidad de la información.

[T1] Referencias

- Abad, D. M. (2021). Estudio de la seguridad en los dispositivos IoT (Internet of Things) [Trabajo de Fin de Grado, Universidad]. . *Facultad de Ciencias, Universidad*.
<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/22129/AbadDiaz,Mario.pdf?sequence=1>
- Acevedo, N. C., Ballesteros, B. V., & Corcione, N. M. A. (2022). Seguridad humana y seguridad multidimensional, su enfoque y utilidad para proteger los derechos humanos. *Revista Científica General José María Córdova*, 20(40).
<https://doi.org/10.21830/19006586.1081>

- por-aumento-de-victimas-de-minas-de-desplazamiento-y-confinamiento-en-2024-3358466?
- García, H. (2022). El CICR registró 377 víctimas de artefactos explosivos en el primer semestre de 2022 en Colombia. *Agencia Anadolu*. <https://www.aa.com.tr/es/mundo/el-cicr-registr%C3%B3-377-v%C3%ADctimas-de-artefactos-explosivos-en-el-primer-semestre-de-2022-en-colombia/2647830>
- Giraldo, C. J. D., López, H. V., & Castaño, G. T. (2021). Tópicos de investigación de internet de las cosas en la cadena de suministro. *Publicaciones e Investigación*, 15(4). <https://doi.org/10.22490/25394088.5608>
- Guerrero, B. M. A. (2016). La Investigación Cualitativa. *INNOVA Research Journal*, 1(2). <https://doi.org/10.33890/innova.v1.n2.2016.7>
- Guevara, L. A. C. (2020). Análisis de los retos de logística 4.0 en Colombia durante los próximos 5 años. *Universidad Militar Nueva Granada*. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/37134>
- Gutiérrez, R. (2022). *Aplicación de la trazabilidad de explosivos en las empresas de áridos. Obras Urbanas*. Recuperado de <https://obrasurbanas.es> . <https://obrasurbanas.es/aplicacion-de-la-trazabilidad-de-explosivos-en-las-empresas-de-aridos/>
- Haraburda, C. S. S. (2016). Transforming Military Support Processes From Logistics to Supply Chain Management. *Army Sustainment*, 48.
- Hennecke. (2024). Smart and sustainable detonation. *Global Mining Review*. *Global Mining Review*. <https://www.globalminingreview.com/mining/17052024/smart-and-sustainable-detonation/#:~:text=From%20a%20safety%20perspective%2C%20this,and%20confidence%20in%20large%20blasts>
- IntelAlítico. (2023). La IoT y la cadena de bloques transforman las operaciones militares y de defensa. *Innovación y Tecnología En Defensa* . <https://intelalytic.com/insights/iot-blockchain-military-defense>
- Jordán, J. (2022). La disuasión en la zona gris: una exploración teórica. *Revista Española de Ciencia Política*, 59. <https://doi.org/10.21308/recp.59.03>
- Kumar, R., & Murali. (2023). A Study on Explosive Detection Utilizing Wireless Sensor Networks . *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*,. <file:///C:/Users/USER/Downloads/3JARDCS.pdf>
- Medranda, R. S. A. (2017). Tecnología RFID al servicio de la logística. *Reto*, 4(4). <https://doi.org/10.23850/23338059.609>
- Quirama, O., & Castillo, M. (2021). Control de inventarios de explosivos por medio de sistemas de información ERP en una empresa de minería y obras civiles. . *Universidad de Antioquia*. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/entities/publication/4710f9fc-25a4-44a9-941d-07dfe7ac23d2>
- Renda. (2017). Manual para la elaboración de mapas de riesgo (1.a ed., ilustrada). Buenos Aires: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD); Ministerio de Seguridad de la Nación. *ISBN 978-987-1560-75-2*. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/manual_para_la_elaboracion_de_mapas_de_riesgo.pdf

- Restrepo, R. (2024). Mejora de la eficiencia y seguridad en las Fuerzas Militares colombianas mediante robótica y automatización. . *Universidad Externado de Colombia*. <https://www.esdegrepositorio.edu.co/handle/20.500.14205/11226>
- Rivera, P. S., Acevedo, N. C., & Álvarez, C. C. E. (2023). Seguridad humana y Acción Unificada del Estado en Colombia. In *Seguridad humana y construcción de patria en defensa de la vida: Seguridad económica y alimentaria* (pp. 13–42). Escuela Superior de Guerra. <https://doi.org/10.25062/9786287602588.01>
- Rodríguez, A. L. R., Trujillo-Valdiviezo, G., Egusquiza-Rodríguez, M. J., & López-Padilla, R.-P. (2021). Revolución industrial 4.0: La brecha digital en Latinoamérica. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 6(11). <https://doi.org/10.35381/r.k.v6i11.1219>
- Rueda, J. S., & Talavera, P. J. M. (2017). Similitudes y diferencias entre Redes de Sensores Inalámbricas e Internet de las Cosas: Hacia una postura clarificadora. *Revista Colombiana de Computación*, 18(2). <https://doi.org/10.29375/25392115.3218>
- Sodupe, K. (1991). La teoría de la disuasión: un análisis de las debilidades del paradigma estatocéntrico. *Revista CIDOB d'afers Internacionals*, 22.
- Tapia, V. (2014). Industria 4.0 - Internet de las Cosas. *UTCiencia Ciencia y Tecnología al Servicio Del Pueblo*, 1(1).
- Ussa, G. D. C., Álvarez-Aros, E. L., & Miranda, F. C. (2022). Industry 4.0 and its applications in the military: strategic opportunity for Latin America | La industria 4.0 y sus aplicaciones en el ámbito militar: oportunidad estratégica para Latinoamérica. *Revista Científica General Jose Maria Cordova*, 20(39).
- Valentines, Á. J., & Rincón, A. F. (2022). ¿Revolución 4.0? Piedras y algoritmos en las protestas en Colombia (apuntes emergentes para un análisis sobre tecnología, política y violencia). *REVISTA CONTROVERSIA*, 218, 177–216. <https://doi.org/10.54118/controver.vi218.1251>
- Viu Roig, M. (2019). Editorial. Logística y cadena de suministro en la nueva era digital. *Oikonomics*, 9. <https://doi.org/10.7238/o.n9.1801>
- Zawada, B. (2014). The practical application of ISO 22301. *Journal of Business Continuity & Emergency Planning*, 8(1). <https://doi.org/10.69554/amdy8757>

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”
Bogotá D.C., Colombia