

Capítulo 4

Operaciones basadas en la inteligencia artificial para una logística militar sostenible en las Fuerzas Militares de Colombia*

DOI: <https://doi.org/10.25062/9786287818231.04>

Luis Carlos Rincón Salas

Rafael Luis Álvarez Mercado

Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto"

Resumen: Ante la urgente necesidad de alinear las operaciones militares con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en el presente capítulo se diagnostica las fuentes de emisiones de carbono en la logística militar colombiana, prioritariamente el transporte terrestre y aéreo, y propone estrategias de implementación de Inteligencia Artificial (IA) para su optimización. Mediante el análisis de doctrina militar, informes gubernamentales y literatura académica, se identifica una brecha crítica entre la eficiencia operativa y los criterios ambientales. Los resultados demuestran que tecnologías como el mantenimiento predictivo y la optimización de rutas con IA pueden reducir significativamente la huella de carbono. Se concluye que el éxito depende de una transformación doctrinal y cultural que integre estas tecnologías, superando la mera adquisición técnica para lograr una logística resiliente y sostenible.

Palabras clave: Huella de carbono; inteligencia artificial; logística militar; sostenibilidad ambiental.

* Capítulo de libro resultado del proyecto de investigación "Desafíos contemporáneos en la investigación para la Formación y la Doctrina en seguridad y defensa de la Escuela Superior de Guerra: Reingeniería VINVE FASE I" del grupo de investigación "Centro de gravedad" de la Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto", categorizado en A1 por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias) y registrado con el código COL0104976. Los puntos de vista y los resultados de este capítulo pertenecen a los autores y no reflejan necesariamente los de las instituciones participantes.

Luis Carlos Rincón Salas

Mayor del Ejército Nacional de Colombia. Magister en Derecho Público, y Especialista en Derecho Contencioso Administrativo, Universidad Externado de Colombia. Candidato a Magister en Instituciones Jurídicas de la Fuerzas Públicas, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia. Especialista en Derechos Humanos, Escuela Militar de Cadetes "General José María Córdova", Colombia. Estudiante de Especialización en Seguridad y Defensa Nacionales, Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto", Colombia. Profesional en Derecho, Universidad Libre, Colombia. Estudiante del Curso de Información Militar, Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto", Colombia.

<https://orcid.org/0009-0003-0200-3846> - Contacto: luis.rincones@esdeg.edu.co

Rafael Luis Álvarez Mercado

Capitán de Corbeta de la Armada Nacional de Colombia. Candidato a Especialización en Seguridad y Defensa Nacionales, Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto", Colombia. Profesional en Ingeniería Eléctrica, Universidad Industrial de Santander, Colombia. Estudiante del Curso de Información Militar, Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto", Colombia.

<https://orcid.org/0009-0003-6618-0374> - Contacto: rafael.alvarez@esdeg.edu.co

Citación APA: Rincón Salas, L. C. & Álvarez Mercado, R. L. (2025). Operaciones basadas en la inteligencia artificial para una logística militar sostenible en las Fuerzas Militares de Colombia. En J. C. Aristizábal Murillo (Ed.), *Huella Militar Cero: Estrategias para una defensa sostenible*. (pp. 95-119). Sello Editorial ESDEG.
<https://doi.org/10.25062/9786287818231.04>

HUELLA MILITAR CERO: ESTRATEGIAS PARA UNA DEFENSA SOSTENIBLE

ISBN impreso: 978-628-7818-24-8

ISBN digital: 978-628-7818-23-1

DOI: <https://doi.org/10.25062/9786287818231>

Colección Seguridad y Defensa

Sello Editorial ESDEG

Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes prieto"

Bogotá D.C., Colombia

2025



Introducción

La huella de carbono del sector defensa emerge como un dilema estratégico de primer orden en el siglo XXI, donde la imperiosa necesidad de seguridad nacional debe comenzar a conciliarse con la urgencia de la sostenibilidad ambiental. Las Fuerzas Militares, garantes de la soberanía y el orden interno, operan vastas y complejas redes logísticas cuya eficacia se ha medido tradicionalmente en términos de velocidad, alcance y resiliencia. Sin embargo, esta capacidad operativa conlleva una externalidad oculta pero crítica: una contribución significativa a las emisiones de gases de efecto invernadero. Cada despliegue táctico, cada abastecimiento remoto y cada hora de mantenimiento de flotas y aeronaves se inscriben en un cálculo energético que trasciende lo meramente operativo para adentrarse en lo ambiental. En Colombia, un país de geografía variada, así como retadora y con una prolongada historia de conflicto armado, esta tensión se acentúa. La logística militar no es solo un soporte; es la columna vertebral de la presencia estatal en territorios apartados, una actividad intensiva en recursos que, hasta ahora, ha priorizado la efectividad misional sobre la eficiencia ecológica.

En este escenario, la Inteligencia Artificial (IA) deja de ser un concepto abstracto del ámbito tecnológico para convertirse en un instrumento de potencial transformador. Lejos de limitarse a la automatización de tareas, la IA representa un paradigma de optimización basado en el aprendizaje, la predicción y la simulación de escenarios. Su aplicación en logística no se trata simplemente de hacer lo mismo de siempre de manera un poco más eficiente; se trata de rediseñar los procesos desde su base para minimizar el desperdicio de recursos, incluidos los combustibles fósiles. Conceptos como la huella de carbono dejan de ser meros eslóganes para convertirse en métricas alcanzables a través de la analítica de datos y el machine learning. Y es que, hasta ahora la logística castrense contemporánea,

según Barrios Torres (2024) “acumula responsabilidades basadas en [...] transporte, entrega, y mantenimiento” (p. 87), lo cual no solo implica el despliegue de recursos, sino también la asunción de responsabilidades ambientales derivadas de cada operación logística. Cada kilómetro recorrido por unidades móviles, cada milla navegada por los buques de guerra, cada hora de vuelo de aeronaves militares y cada operación de abastecimiento implica una proyección directa sobre la huella de carbono institucional.

La convergencia entre defensa, IA y sostenibilidad configura un campo de estudio tan emergente como necesario, donde la innovación tecnológica debe ir de la mano de la adaptación doctrinal frente a la que el mundo entero ha iniciado a hacerle frente por su parte gobiernos como el de Estados Unidos ya cuenta con el Joint All-Domain Command and Control (JADC2) que le permite tener una fuente robusta de información y de análisis de la misma frente a sus operaciones, frente al tema medio ambiental y el uso de vehículos se ha detectado que el transporte “representa aproximadamente el 15% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero” (IPCC, 2022, s.p.). Paralelamente a lo anterior también se ha señalado la importancia de la innovación en el ámbito militar a partir de la investigación y desarrollo frente a lo cual ya se están dando en las milicias del mundo “programas de investigación sobre tecnologías que incluyen, entre otros, vehículos híbridos y gestión del uso de energía mediante inteligencia artificial proporcionan vías para innovaciones que mejorarán la eficiencia energética y el rendimiento de los sistemas en uso” (Expert Group of the International Military Council on Climate and Security, 2024, p. 2), señalando un cambio doctrinal hacia una defensa climáticamente resiliente. Este corpus de experiencias internacionales constituye un faro referencial invaluable, pero también delimita con crudeza la brecha existente.

La brecha de conocimiento e innovación en el contexto colombiano es notoria y multifacética. Se evidencia, en primer lugar, una ausencia casi total de datos empíricos sistematizados que cuantifiquen la huella de carbono generada por las operaciones logísticas de las Fuerzas Militares Colombianas. Si bien el Plan Estratégico de Transformación Digital del Sector Defensa (Ministerio de Defensa Nacional, 2023) enfatiza la adopción de tecnologías emergentes, y existen iniciativas legislativas para reglamentar el uso de la IA debido a su apogeo global, el ámbito de la logística militar ha permanecido prácticamente inexplorado. Estos elementos, que hasta ahora han sido abordados de forma aislada, revelan un panorama de necesidades urgentes pero desatendidas: por un lado, no existen datos centralizados sobre la huella de carbono emitida por el Ejército Colombiano y por

el otro, si bien existe la necesidad de incorporar tecnologías de vanguardia como la IA, su aplicación no está siendo considerada de manera directa y estratégica dentro del sector defensa. Esta omisión no es trivial, ya que representa un vacío crítico que impide traducir los compromisos ambientales abstractos en protocolos operativos concretos y medibles, dejando al sector en una posición reactiva frente a unas demandas de sostenibilidad que serán cada vez más imperativas.

Frente a este panorama, la pregunta de investigación que articula este capítulo es: ¿De qué manera específica pueden las tecnologías de inteligencia artificial configurarse como herramientas viables y efectivas para reducir la huella de carbono generada por las operaciones logísticas en las Fuerzas Militares de Colombia? El objetivo general se alinea con este interrogante: Identificar y analizar tecnologías de IA con potencial de aplicación concreta para dicha reducción.

El estudio se sustenta en un marco teórico que entrelaza la teoría de la cadena de suministro militar (Cáceres García, 2015; Celemín Peña, 2015) y los principios de logística verde, enmarcados en los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Se basa en el potencial de la inteligencia artificial (Calatayud & Montes, 2021; Zhang, Wu, Chen, 2021) para optimizar operaciones críticas como el mantenimiento predictivo, la gestión de rutas y el consumo energético, todo ello articulado con la doctrina castrense colombiana existente y los principios de gobernanza ética de la IA de la OTAN. Este constructo teórico reconoce la necesidad de una transformación doctrinal que supere la resistencia al cambio organizacional (Macías Sánchez, 2019) y se alinee con políticas nacionales como el Plan Integral de Gestión de Cambio Climático del Sector Defensa.

Las contribuciones esperadas de este trabajo son tanto académicas como prácticas. Por un lado, se busca llenar un vacío documental evidente, sistematizando para Colombia el potencial de la IA al servicio de una logística militar sostenible. Por otro, se aspira a trascender el papel y ofrecer a los estratégicos y diseñadores de doctrina un abanico de opciones tecnológicas analizadas y contextualizadas. El valor final no reside en la descripción de la tecnología, sino en la articulación de un camino plausible para su adopción, contribuyendo a una doctrina de defensa moderna que sea a la vez operativamente efectiva y ambientalmente responsable.

La estructura del presente capítulo procede de la siguiente manera. Tras esta introducción, se caracteriza las operaciones logísticas actuales en las Fuerzas Militares Colombianas, enfocándose en las fuentes principales de emisiones de carbono. Un segundo apartado estará dedicado a identificar tecnologías de inteligencia artificial que han sido implementadas en contextos militares o industriales

con fines de sostenibilidad ambiental, en Colombia. El tercer segmento presenta propuestas estratégicas para la incorporación de tecnologías de inteligencia artificial que optimicen los recursos logísticos y reduzcan la huella de carbono en las Fuerzas Militares. Finalmente, el capítulo concluye con un apartado de conclusiones, sentando las bases para una transformación hacia una fuerza militar no solo más inteligente, sino también más sostenible.

Análisis de las operaciones logísticas y sus fuentes de emisiones de carbono en las Fuerzas Militares de Colombia

La importancia de la huella de carbono radica en la responsabilidad social de las fuerzas armadas como organización esto es relevante en el contexto del objetivo de desarrollo sostenible 13 “Acción por el clima” (Naciones Unidas, 2015) y es que en los últimos años se ha reconocido la necesidad mundial de proteger el medio ambiente de emisiones contaminantes como lo es el CO₂, así mismo la convención de Río en su principio 4 expresa que “la protección del medio ambiente deberá constituir parte integrante del proceso de desarrollo” (Naciones Unidas, 1992).

Aunque el compromiso mundial como se expresó ha sido buscar el bienestar medio ambiental, la doctrina militar colombiana ha evolucionado en las últimas décadas para responder a los nuevos escenarios de seguridad nacional, integración tecnológica y cooperación internacional. Sin embargo, persiste una brecha sustancial entre los avances en eficiencia operativa y la integración efectiva de criterios ambientales en la planificación y ejecución logística. El Ejército Nacional de Colombia (2009) reconoce que “las medidas que se tomen para reducir el impacto ambiental negativo en el desarrollo de las actividades propias de la guerra” (p. 31). A pesar de ello, en la praxis cotidiana se evidencia una escasa incorporación sistemática de estrategias logísticas sostenibles. Este desajuste plantea la necesidad de identificar con claridad las principales fuentes de emisiones de carbono en las operaciones logísticas militares y de comprender cómo se articulan dichas emisiones con las dinámicas propias del entorno castrense colombiano.

El análisis de las fuentes de emisiones requiere una aproximación estructural al sistema logístico de las Fuerzas Militares. La cadena de suministro, tal como lo ilustra Cáceres García (2015):

Figura 1. La Cadena de Suministro



Fuente: Cáceres García (2015)

En la figura 1 se observa lo ilustrado por Cáceres García (2015) se observa someramente el funcionamiento de la cadena logística que entrega suministros al personal, no obstante en las operaciones de las fuerzas militares también existe el reabastecimiento (tanto de materia bélica como de otra índole), el traslado de personal, el traslado de personal con necesidades médicas pues las operaciones militares en Colombia cuentan con un rango tan amplio como el territorio nacional, en ese contexto el personal se encuentra disperso por lo que realmente es una minoría la que se encuentra centralizada en determinadas ubicaciones por lo que la gestión logística de las fuerzas militares como organización son el corazón de la defensa del país.

En este marco, la coordinación de activos se configura como una función esencial, cuyo objetivo principal consiste en movilizar de forma eficiente los recursos disponibles para garantizar la continuidad operacional de las unidades desplegadas. Esta coordinación se traduce, en gran medida, en operaciones de transporte, las cuales se manifiestan como el principal vector de consumo energético dentro del sistema logístico militar.

En ese contexto, la movilidad terrestre ocupa un lugar destacado dentro del engranaje logístico militar. La logística de movilidad, entendida como "aquella que tiene que ver con los medios de transporte terrestres, marítimos, aéreos y fluviales, empleados desde el momento de la adquisición de materias primas o insumos [...] garantiza la movilidad de ellos por otros medios o mecanismos de transporte"

(Celemín Peña, 2015, p. 8), refleja directamente la premisa de que la cadena y su componente de movilidad son emisores de CO₂, para poner en perspectiva la situación, la ministra de transporte en el marco de la COP16 menciono que el sector transporte era responsable por 37.8 millones de toneladas de CO₂ (Mintransporte, 2024) en el país, lo que refleja el alto costo de las actividades relacionadas con el transporte.

En el ámbito terrestre, el transporte automotor “[...] tiene gran diversificación de empleo, posibilita el empleo por rutas y caminos de emergencia y sirve de conexión entre otros medios de transporte” (Fuerza Aérea Colombiana, 2016, p. 57). Este medio es responsable de un consumo petrolero exorbitante: una división de infantería mecanizada en ofensiva puede consumir hasta 600.000 galones de petróleo diarios, generando emisiones estimadas de 6.114 toneladas de CO₂ (basado en el factor de 10.19 kg CO₂ por galón de diésel) (U.S. Energy Information Administration, 2024). Estas cifras, contrastadas con el consumo nacional, revelan que la contribución militar no es desdeñable. Su impacto ambiental se acentúa al comparar las emisiones diarias de la división que equivaldrían al CO₂ anual de aproximadamente 3.821 colombianos promedio, considerando “1.6 toneladas” per cápita (Ministerio de Ambiente, 2022).

El transporte aéreo, por su parte, aporta una dimensión aún más crítica al cómputo de emisiones, dada su elevada intensidad energética. La Fuerza Aérea Colombiana reconoce su valor: “El transporte aéreo beneficia a toda la Fuerza pues le brinda la capacidad para desplegar y sostener sus unidades [...] Se caracteriza por alta velocidad, gran radio de acción y flexibilidad operativa” (Fuerza Aérea Colombiana, 2016, p. 57). Sin embargo, esta ventaja operativa conlleva un alto costo climático: Pues cada galón de combustible de aviación (Jet Fuel) genera aproximadamente 9.75 kg de CO₂ (U.S. Energy Information Administration, 2024), lo que sitúa a este medio como un detonante de emisiones difícil de mitigar que irónicamente puede adaptar mejor sus rutas al no estar supeditado a las vías, pero aun así aporta una cantidad importante de emisiones.

El segundo foco de emisiones se ancla en el mantenimiento y la conservación de equipos: el denominado mantenimiento predictivo emerge como una tecnología ideal para reducir desplazamientos ligados a reparaciones de emergencia. Estudios señalan que, cuando los modelos de aprendizaje profundo predicen fallas inminentes, se evitan recorridos innecesarios, optimizando la asignación del transporte y, en consecuencia, reduciendo las emisiones (Li, Fang & He, 2019). No obstante, la adopción de estos sistemas en el ámbito militar colombiano aún roza

lo experimental, pues la inversión en infraestructura digital debe competir con prioridades tan urgentes como la atención a las necesidades básicas del personal en medio del conflicto interno que vive el país.

Por su parte, la logística de reserva, descrita como el conjunto de “actividades que se realizan para conservar el medio ambiente y reutilizar el material requerido en el desarrollo de la cadena logística, tales como: destrucción del material obsoleto por finalización de vida útil, reciclaje y acondicionamiento del material obsoleto o que se encuentre fuera de servicio” (Ejército Nacional de Colombia, 2009, p. 36), es quizás la gran asignatura pendiente. La destrucción controlada y el reciclaje son prácticas que han ido avanzando lentamente especialmente sobre el reciclaje en esta industria donde existen diversidad de medidas de seguridad con el material de guerra que deben considerarse lo que exalta una arista importante en la tarea de mitigar la huella de carbono y es que a diferencia de otras industrias la actividad de seguridad nacional requiere de un alto grado de seguridad por lo que no existe la misma flexibilidad que en otras organizaciones para poder tercerizar actividades lo que se traduce en una necesidad de capacitar al personal o gestionar cadenas logísticas para que terceros puedan ejecutar actividades con el control pertinente.

Aun así, la tendencia global que se encuentra en tránsito por la industria 5.0 ha incentivado la exploración de algoritmos de optimización de rutas inteligentes. Zhang, Wu y Chen (2021) demuestran que por medio de herramientas de IA es posible reducir considerablemente el consumo de combustible lo que puede aplicarse a todas las actividades de transporte de las fuerzas armadas como ejercicios, despliegues, abastecimientos y traslados. En el escenario colombiano, donde las condiciones topográficas y meteorológicas pueden variar abruptamente, la implementación de estos algoritmos permitiría explorar perspectivas que el personal puede pasar por alto.

A esto se suma la cada vez mayor valoración de la inteligencia artificial como competencia esencial y es que “no sorprende que el 79 % de los profesionales de la logística considere que la inteligencia artificial es ya una habilidad clave” (Calatayud & Montes, 2021, p.110). Lo anterior deja claro que la capacidad humana debe articularse con herramientas digitales para encaminar las operaciones hacia un menor impacto ambiental. En adición a lo anterior los indicadores de desempeño (KPI) cobran relevancia en este equilibrio entre operatividad y sostenibilidad. El Ejército Nacional propone como indicadores de desempeño para la labor de transporte: “Seguimiento de la utilización de las capacidades, Seguimiento del costo por unidad de transporte, por ruta de transporte, Tasa de servicio, Tasa de demarca”

(Ejército Nacional de Colombia, 2009, p. 34) como métricas cardinales para evaluar el desempeño logístico, frente a ello se resalta que estos indicadores se centran en la funcionalidad de la operación militar. Sin embargo, la mayoría de estos indicadores están diseñados desde una lógica operativa o financiera, sin considerar de manera explícita el impacto ambiental. La inclusión de métricas relacionadas con las emisiones de gases de efecto invernadero, la eficiencia energética y la reutilización de recursos podría contribuir a generar una visión más completa del desempeño logístico, en la que la sostenibilidad ambiental se convierta en una dimensión transversal de los macro y micro procesos en el ámbito del transporte.

Adoptar criterios de logística verde en el contexto militar colombiano representa un desafío de carácter estructural, que va más allá de la disponibilidad de recursos tecnológicos o financieros. Se trata de una transformación doctrinal que requiere reconfigurar los valores, procedimientos y prioridades institucionales en función de una nueva visión de la seguridad, en la que la sostenibilidad ambiental se conciba como parte integrante de las operaciones logísticas para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de la organización. Esta transformación exige revisar los manuales operativos, capacitar al personal en relación con los cambios que se implementen, establecer metas de reducción de emisiones y consolidar alianzas interinstitucionales e incluso con actores civiles.

López Pulgarín y Díaz Jaimes (2024) han reconocido la necesidad de modernizar las capacidades del sector defensa para enfrentar los desafíos del siglo XXI, incluyendo aquellos relacionados con la sostenibilidad. No obstante, la hoja de ruta ambiental aún carece de lineamientos operacionales explícitos y de metas verificables que orienten la acción institucional. Esta ausencia de claridad estratégica dificulta la integración de criterios ambientales en la planificación logística y debilita el compromiso institucional frente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible en especial frente al mencionado objetivo 13. En este sentido, se hace necesario desarrollar políticas sectoriales específicas que articulen la defensa nacional con la protección del medio ambiente y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, reconociendo la interdependencia entre seguridad, desarrollo sostenible y estabilidad institucional.

Como parte del diagnóstico de las operaciones logísticas actuales y futuras ha de mencionarse que en cualquier caso sigue pese a que se han reconocido que hay desafíos por resolver también debe atenderse a resistencia al cambio y es que “el principal factor que puede obstaculizar un cambio en una organización es la resistencia del talento humano” (Macias Sánchez, et al., 2019, p. 39), esta se

manifiesta en la persistencia de normas y culturas operativas que priorizan la eficacia táctica sobre la sostenibilidad. Los manuales militares, centrados en la rapidez de respuesta y la seguridad operativa, suelen relegar los aspectos ambientales a un segundo plano, tratándolos como consideraciones secundarias o complementarias. Sin embargo, la crisis climática global y los compromisos internacionales en materia ambiental exigen una reconfiguración estratégica del rol de las Fuerzas Militares, en la que la logística verde no sea una opción, sino un componente fundamental de la defensa integral.

En definitiva, a las fuerzas armadas en Colombia se les ha identificado como fuentes de carbono el transporte automotor y aéreo, mantenimiento reactivo, gestión de inventarios y disposición de materiales, esta caracterización permite visibilizar los principales desafíos que enfrenta el sector defensa en su tránsito hacia la sostenibilidad. Este diagnóstico no solo permite identificar áreas de intervención prioritarias, sino también proyectar oportunidades para la innovación tecnológica, la cooperación interinstitucional y la transformación cultural. La singularidad del caso colombiano radica en su capacidad para adaptar soluciones logísticas sostenibles a un entorno tropical y geoestratégico complejo, en el que convergen desafíos ambientales, sociales y operativos.

Tecnologías de inteligencia artificial para la sostenibilidad ambiental implementadas en contextos militares e industriales colombianos

La integración de inteligencia artificial en entornos militares e industriales colombianos con miras a la sostenibilidad ambiental ha dejado de ser un mero ideal para convertirse en una realidad tangible y una necesidad latente, donde avances tecnológicos tanto en materia de hardware como de software y los sistemas logísticos integrados han demostrado su potencial para optimizar recursos y reducir la huella de carbono. En el caso de los satélites militares, “[...] mediante el uso de inteligencia artificial, los satélites militares pueden proporcionar un análisis automatizado de datos, lo que permite a los administradores de la cadena de suministro tomar mejores decisiones en una fracción del tiempo” (Barrios Torres, 2024, pp. 98-99).

En este caso la mezcla de avance tecnológico permite una amplia gama de posibilidades, la primera de ella relacionada con la visión en campo y la segunda

con la previsibilidad de condiciones para la planeación estratégica todo ello en tiempo real lo que permite ajustar sobre la marcha el plan logístico por ejemplo si se envía por tierra un transporte con víveres para re abastecer al personal podría monitorearse si en la ruta propuesta en algún momento del camino se hubiese presentado un derrumbe o inundación mientras el transporte iba en ruta pudiendo tomar las medidas necesarias para garantizar la entrega por otra ruta u otro medio más eficaz es decir, este análisis en tiempo casi real posibilita ajustar rutas de transporte, prever necesidades de combustible y planificar desplazamientos de unidades y carga con una precisión que impacta directamente en la reducción de emisiones, al evitar recorridos innecesarios y por su puesto maximizar la eficiencia operativa.

Pese a la novedad que representan las tecnologías Colombia no ha sido ajeno a su adopción, es por ello por lo que se ha apostado por su aplicación dentro del Sector Defensa. Por ejemplo, el Sistema de Información Logístico del Sector de la Defensa – SILOG, que “desarrolla, integra e implementa los procesos administrativos, logísticos y financieros del sector Defensa en un sistema de información integrado, utilizando mejores prácticas y tecnología moderna para el control y administración óptima de los recursos” (Barrios Torres, 2024, p. 95), ejemplifica cómo la convergencia de módulos financieros, sanitarios y de mantenimiento no solo agiliza trámites, sino que, al centralizar datos, reduce la duplicidad de procesos y minimiza el consumo innecesario de esfuerzos y recursos. Al homogeneizar la plataforma informática, SILOG contribuye a evitar desplazamientos físicos entre diferentes dependencias y a disminuir la sobreexplotación de recursos energéticos, aspectos cruciales para un enfoque sostenible.

Sin embargo, el compromiso con la sostenibilidad no se limita únicamente a sistemas de información de alto nivel. En el corazón de la gestión diaria del Ejército Nacional de Colombia, se hace “un amplio uso efectivo de la tecnología de la información, tales como: Computadoras, Redes, Tecnología de código de barras, Tecnología de captación de información, Tecnología EDI, Uso de internet y correo electrónico, Captación automática de datos” (Ejército Nacional de Colombia, 2009, p. 42). Aunque a primera vista estas tecnologías parecen herramientas administrativas convencionales, en realidad, son la base para cualquier solución digital pues las fuerzas armadas han consolidado su institucionalidad incluso en el ambiente digital, lo que se refleja en el uso y conocimiento por parte de sus miembros así como de la centralización y toma de medidas de seguridad de la información, lo que se traduce en una base fértil para incorporar nuevas tecnologías para la gestión no solo logística sino de toda índole administrativa.

Aunado a ello, la adopción de algoritmos de predicción de demanda y mantenimiento predictivo se inserta como un eslabón esencial de la cadena logística militar. Calatayud y Montes (2021) señalan que “en este sector [logístico], la inteligencia artificial está siendo utilizada para predecir la demanda, completar órdenes, realizar mantenimiento preventivo de equipos, optimizar almacenes y flotas de transporte, brindar atención al cliente y gestionar riesgos, entre otros.” (s.p.) Esta amplitud de aplicación refleja un enfoque holístico donde al integrar IA a procesos cotidianos a los que está sometida cualquier organización no solo previene fallas costosas y contaminantes, sino que también ajusta dinámicamente las rutas de suministro y gestiona inventarios bajo parámetros de mínima intervención humana y máxima eficiencia. Por ende, el uso de analítica avanzada favorece tanto la sustentabilidad ambiental como la resiliencia operativa frente a imprevistos ello desde una minimización de la mediación humana lo que se traduce primero en una reducción de necesidad de personal para este tipo de tareas lo que se traduce en el caso de las fuerzas militares a más disponibilidad para suplir otras funciones y por otro lado también permite que se pueda mejorar la operabilidad pues al prescindir en mayor grado de intervención humana paralelamente se preside de la necesidad de tomar descansos y del agotamiento generando mayor eficiencia y bienestar al personal al poder emplear su esfuerzo en otras tareas menos demandantes pues la tarea logística en las fuerzas militares no solo es compleja sino que requiere atención y disponibilidad absoluta.

Es preciso reconocer, que la mera implementación de tecnologías IA no garantiza resultados óptimos sino se acompaña de una política institucional que fomenta la capacitación continua del personal y la actualización de infraestructura y sobre todo la gestión de los datos. La Directiva Permanente N.º Radicado 0118000011005, que estipula que “El Sistema de Información Logístico del Sector de la Defensa – SILOG, tiene como objetivo principal implementar y mantener en un sistema integrado de información, los procesos Logísticos, financieros, de Mantenimiento y de Sanidad del Sector Defensa, utilizando una plataforma informática común con el propósito de maximizar los resultados operacionales” (Ministerio de Defensa Nacional, 2018, Sección II.D, p. 3), enfatiza la necesidad de estandarizar procesos. No obstante, es imperativo que dicha estandarización vaya de la mano con protocolos de actualización y retroalimentación que permitan ajustar los modelos de IA pues los micro procesos de la logística demandan diferentes prioridades y en ese orden de ideas no se puede generalizar y hay que entrenar los modelos acordes a las necesidades específicas.

Al respecto un ejemplo en la industria en la adopción de IA con fines de sostenibilidad es el estudio de Ruiz Suarez (2022) donde se probaron modelos que combinaban la IA con machine learning para predecir los patrones de consumo energético bajo la premisa de que un modelo completamente terminado debería ser capaz de predecir los hábitos de consumo y por tanto aportar datos precisos sobre en qué se hace el gasto energético y cuánto va a costar para poder planear soluciones antes de que se efectuó. Aunque estos desarrollos escapan al ámbito estrictamente militar, este tipo de estrategias tienen un impacto directo en las organizaciones desde su responsabilidad social y desde lo financiero con la reducción de costos que este tipo de información permiten alcanzar.

Ahora bien, frente al transporte como elemento de especial atención por su volumen de emisiones ha de mencionarse que “el transporte uno de los principales contribuyentes a las emisiones de gases de efecto invernadero, la logística también posee un rol en la desaceleración del cambio climático” (Calatayud & Montes, 2021, p. 11), cada decisión relativa a rutas, modos y cargas adquiere implicaciones directas en el balance de carbono. En esta misma línea en concreto frente al transporte aéreo la Fuerza Aérea Colombiana ha reconocido que “el transporte aéreo beneficia a toda la Fuerza pues le brinda la capacidad para desplegar y sostener sus unidades [...] Se caracteriza por alta velocidad, gran radio de acción y flexibilidad operativa” (Fuerza Aérea Colombiana, 2016, p. 57), lo cual, sin duda, plantea un dilema: ¿Cómo lograr la sinergia correcta entre necesidad de uso del transporte y la eficiencia energética del mismo?

Una de las respuestas más innovadoras ha sido el desarrollo de sistemas de planificación asistido por IA que optimizan el uso de combustible a partir de modelos predictivos. Al final, no se trata solo de acortar distancias geográficas, sino de trazar rutas que aprovechen las mejores recorridos y condiciones, por ende, las emisiones asociadas.

Igualmente, frente a la solución del problema, en el ámbito terrestre, la introducción de “movilidad eléctrica” (Comando General Fuerzas Armadas de Colombia, 2023) ha avanzado y tiene un doble propósito: disminuir la dependencia de combustibles fósiles y aliviar la carga de emisiones de carbono. No obstante, el transporte de personal y material no se limita al ámbito militar: la industria colombiana, particularmente en sectores como la agroindustria y la minería, ha adoptado tecnologías IA similares para modelar flujos de transporte y reducir los kilómetros recorridos por camiones.

Lo anterior obedece a iniciativas dentro del ámbito operativo sin embargo frente al ámbito directivo y de direccionamiento es clave “Incorporar principios de

sostenibilidad en la logística militar” (Prajogo, 2020, p. 35-47) y es que, todo avance técnico requiere un acompañamiento por medio de instrucciones y directrices definidas. El desarrollo de políticas internas que incentiven la adopción de IA verde debe equilibrarse con mecanismos de supervisión y auditoría que permitan verificar resultados ambientales de manera objetiva. En este sentido, la creación de indicadores de desempeño como por ejemplo podrían ser: toneladas de CO₂ evitadas por kilómetro ahorrado o porcentaje de carga transportada en modo eléctrico, facilita la rendición de cuentas y la mejora continua. Pero, al mismo tiempo, emerge la necesidad de salvaguardas éticas: asegurar que los datos recopilados para optimizar rutas o consumo energético no sean desviados.

En síntesis, la identificación de tecnologías de inteligencia artificial aplicadas en contextos militares e industriales colombianos con fines de sostenibilidad ambiental revela un panorama promisorio, aunque aún en consolidación. Desde planificación de rutas aéreas y terrestres, pasando por gestión de flotas y edificios inteligentes, hasta monitoreo ambiental en minería, la IA se perfila como un aliado estratégico para reducir emisiones y preservar ecosistemas. No obstante, para que este potencial se cristalice plenamente, se requiere una articulación sólida entre doctrina, normativa y formación del recurso humano.

Finalmente, vale la pena destacar el papel de la formación y la cultura organizacional en el despliegue exitoso de estas tecnologías. La IA no es un sustituto del juicio humano, sino un amplificador de la capacidad analítica. Por ende, la capacitación dirigida a operadores, técnicos y mandos medios en conceptos de ciencia de datos y sostenibilidad ambiental resulta tan crucial como la inversión en hardware y software. Sólo así se evitará que los algoritmos se conviertan en sugerencias y directrices incomprendidas, cuyo despliegue ciego podría generar efectos no deseados como la ilegitimidad de las sugerencias frente al personal.

Propuestas estratégicas para la implementación de tecnologías de IA en la optimización logística y reducción de la huella de carbono de las Fuerzas Militares

La premisa de partida se basa en la idea de que la IA, más que un simple accesorio tecnológico, se erige como un elemento transformador capaz de reformar, en su esencia, la cadena de suministro militar en el complejo entramado de las

operaciones logísticas de las Fuerzas Militares Colombianas, donde persiste una realidad plagada de desafíos que van más allá del mero transporte de insumos y personal. En este escenario, resultan ineludibles las reflexiones críticas acerca de cómo las tecnologías pueden impulsar no solo la eficiencia operativa, sino también orientar un camino hacia la sostenibilidad ambiental a través de la reducción de la huella de carbono

Aun cuando las directrices oficiales establecen que “la gestión logística de las Fuerzas Militares se optimiza a través del uso de sistemas de información, herramientas gerenciales y modelos de gestión que permitan la integración de los procesos logísticos y administrativos, en consideración con las limitaciones presupuestales y la austeridad en el gasto” (Ministerio de Defensa Nacional, Comando General de las Fuerzas Militares, Jefatura de Estado Mayor Conjunto, & Subjefatura de Estado Mayor de Planificación Estratégica, 2018, p. 2), conviene notar que gran parte de estos modelos, concebidos hace más de seis años, no consideraron la velocidad a la que evolucionan los algoritmos y la capacidad de procesamiento que hoy ofrecen las nuevas tecnologías por lo que no se concibió en su momento de forma tácita pero sí dejó las puertas abiertas a los sistemas de información y herramientas gerenciales, mismas que hoy en día pueden considerarse dentro del ámbito de la tecnología del internet de las cosas, la inteligencia artificial y el *machine learning*. Por ende, se plantea la urgente necesidad de una reinterpretación estratégica que fusione el legado normativo con las fronteras de la innovación.

La tecnología de la información, como lo advierte el Ejército Nacional de Colombia (2009), “parece ser el factor más importante para el crecimiento y desarrollo logístico [...] la simulación permite tomar decisiones rápidas y efectivas” (p. 84). Sin embargo, esta afirmación adquiere matices distintos una vez que introducimos el componente de IA. No se trata únicamente de simular rutas o escenarios de abastecimiento; se abre la posibilidad de predecir rupturas de *stock*, optimizar el consumo de combustible basado en datos en tiempo real y, en última instancia, minimizar el impacto ambiental de las operaciones de apoyo. En otras palabras, la IA no sustituye, sino que potencia la manera como tradicionalmente se han ejecutado las operaciones integrándose a estrategias como la simulación e incorporando aprendizaje automático y análisis predictivo, lo que a su vez puede generar ahorros presupuestales y disminución de emisiones contaminantes.

Al indagar en la infraestructura tecnológica existente, surgen voces críticas como la de Celemín Peña (2015), quien sostiene que “el Sistema de Gestión Logística carece de tecnologías adecuadas [...] aunque el SILOG cumple esta

función, carece de efectividad y presenta muchos errores” (p. 15). Desde una óptica pragmática, esto evidencia un desfase entre las herramientas disponibles y las exigencias operativas donde el componente de efectividad es crucial pues en el día a día del ejercicio militar las situaciones que se presentan son demandantes y en ese mismo contexto Cáceres García (2015) advierte que “no se puede concebir una exitosa SCM sin un Sistema de Información de talla mundial que ofrezca acceso a todos los eslabones de la cadena; esta es la clave de éxito: el Binomio Logística y Tecnología” (s.p.). Esta visión invita a mirar hacia soluciones tecnológicas integrales que lejos de tener una función aislada se integren a un ecosistema digital donde cada nodo de la cadena de suministro desde el almacén central hasta la compañía más remota comparta información en tiempo real. Así, la trazabilidad no solo se verifica, sino que se anticipa; se predicen cuellos de botella y se replantean rutas antes e incluso durante los traslados o transportes según la necesidad.

No obstante, la introducción de IA en un entorno militar no está exenta de complejidades de seguridad. Algoritmos opacos, sesgos en los datos de entrenamiento y posibles vulnerabilidades en la ciberseguridad suponen riesgos que deben evaluarse con rigurosidad siempre que estas soluciones vengan de un tercero. Primero, porque un sistema de IA podría aprender patrones de conducta logística de manera errónea si no se garantiza la calidad y representatividad de los datos históricos; segundo, porque la interconexión de sistemas ofrece nuevos vectores de ataque para actores maliciosos, que podrían comprometer la integridad de la cadena de suministro en momentos críticos.

Aun así, el horizonte es prometedor si se adopta un enfoque holístico, sistemático y controlado. Por ejemplo, la creación de unidades de prueba, la implementación de pilotos en entornos controlados y la capacitación específica al personal logístico. Solo así se podrá observar, de primera mano, el impacto de la IA en variables como tiempo de respuesta, reducción de desperdicios y disminución de emisiones de CO₂. Esta aproximación permite, además, ajustar parámetros, corregir sesgos y mejorar iterativamente los modelos antes de su adopción a gran escala que finalmente logren el estandarte de “justo a tiempo” o algo incluso superior.

Desde un ángulo más conceptual, cabe preguntarse cómo se traducen las capacidades de IA en beneficios tangibles para la huella de carbono. Un ejemplo concreto radica en el ruteo inteligente: algoritmos de optimización, pueden calcular rutas que consideren no solo la distancia y el estado de las vías, sino también variables climáticas, tráfico vehicular y disponibilidad de estaciones de repostaje de energías alternativas. Al priorizar trayectos con menor congestión y mayor uso de

vehículos híbridos o eléctricos, la reducción de emisiones se convierte en una consecuencia natural de la operación eficiente al respecto se pueden observar algunos ejemplos cotidianos como la búsqueda de rutas en navegadores como *Google flights* que permite comparar opciones de transporte aéreo y filtrar en función de sus emisiones calculo que realiza a través del procesamiento de distintas fuentes de información y que le permiten emitir un valor aproximado de emisiones y en razón a ello le permiten al usuario elegir para un mismo destino una opción con más o menos emisiones de acuerdo al vuelo en específico.

Aunado a ello, la IA puede mejorar la gestión de inventarios con técnicas de análisis de patrones y tendencias para la proyección de escenarios futuros. En lugar de depender de estimaciones manuales o de modelos estáticos, los sistemas de IA aprenden patrones de demanda, integran datos de toda índole como podrían ser meteorológicos, escenarios geopolíticos e intensidad de combate para ajustar niveles de stock en tiempo real. El resultado es una disminución de productos obsoletos, una mejor programación de envíos y una merma significativa en el uso energético asociado al almacenamiento y traslado innecesario de recursos. En esta misma línea, Aristizábal Murillo, Rueda Navarro y Henao Fonseca (2025) destacan que “algunos estudios han demostrado que las tecnologías digitales pueden mejorar la sostenibilidad de las operaciones humanitarias y que las capacidades de análisis de datos mejoran los resultados económicos, sociales y ambientales de las empresas” (p. 55). Además, señalan que “Indudablemente, para seguir atendiendo el desarrollo sostenible del medioambiente deben reducirse las emisiones de dióxido de carbono de los productos de socorro durante el transporte, y los costes medioambientales incurridos en el transporte deben expresarse en competitividad ambiental” (p. 54).

Paralelamente, resulta imperativo contemplar la dimensión humana: la adopción de IA implica un proceso de cambio cultural en el personal logístico, este apartado es significativamente relevante pues hasta la actualidad todo el proceso logístico que tiene que ver con el personal adscrito a un cantón militar y que se encuentra patrullando depende de sus respectivos enlaces para que no falte la comida o el material de guerra y es este personal el que a la fecha tiene la información de primera mano de la complejidad logística de coordinar con las distintas unidades así como de las estrategias que han surtido en la práctica para la gestión de esta tarea. Por tanto, se requiere un liderazgo que promueva una alianza entre operadores y algoritmos, donde la confianza en los sistemas no reemplace, sino complemente, la experiencia acumulada de los profesionales. Esto supone diseñar

programas de formación continuada que aborden tanto competencias técnicas para el manejo de interfaces que incorporen las nuevas tecnologías, como habilidades de pensamiento crítico para interpretar las recomendaciones generadas.

Conviene, además, explorar propuestas en las que la IA no actúe como un actor aislado, sino como un facilitador de sinergias interinstitucionales. Por ejemplo, el cruce de información con otras entidades estatales, pues a muchos lugares donde asisten las fuerzas militares otras entidades de carácter civil no hacen presencia por temas de seguridad desconociendo el estado de vías y viceversa las entidades de carácter civil que tienen a su cargo temas viales poder informar de obstáculos y por menores de los que tengan conocimiento para que un transporte militar pueda tomar rutas alternas sin embargo en la práctica concertar personal y condiciones de modo, tiempo y lugar para una coordinación constante es algo complejo de realizar sin embargo mediante soluciones tecnológicas que prescindan del personal y se centren en la operabilidad de la información puede ser posible y a su vez generar un impacto de valor en otras áreas de forma residual a la que se reducen las emisiones propias.

No obstante, cualquier propuesta estratégica debe encauzarse dentro de un marco normativo y de planificación a largo plazo. Se requiere, por tanto, un plan maestro que contemple fases de diagnóstico, prototipado, escalamiento y monitoreo, con indicadores de desempeño específicos vinculados a la reducción de emisiones y al ahorro de recursos. En este punto, es crucial recordar que “La medición [...] También es clave para hacer realidad los objetivos estratégicos, facilitar el control y la corrección efectiva al informar sobre el nivel actual de rendimiento y compararlo con el nivel deseado” (Aristizábal Murillo, J. C., Rueda Navarro, A. F., & Henao Fonseca, C. A., 2025, p. 40). Por lo que emerge la necesidad de proponer la creación de un Observatorio de IA y Sostenibilidad para las Fuerzas Militares, un ente encargado de evaluar las nuevas tendencias, validar tecnologías emergentes y garantizar la interoperabilidad de sistemas. Este observatorio actuaría como nexo entre la academia, la industria y el aparato militar, impulsando proyectos de investigación aplicada que aporten evidencia empírica sobre el impacto de la IA en los costos logísticos y en la huella de carbono.

Para ello, se sostiene como faro orientador el Plan Integral de Gestión de Cambio Climático del Sector Defensa (PIGCCSD), que apunta a “promover la transición hacia la carbono neutralidad en los distintos modos de transporte (fluvial, terrestre y aéreo) en las instituciones vinculadas al PIGCCSD, a través del uso de vehículos de cero y bajas emisiones, vehículos no motorizados y la adopción de

la navegación aérea basada en desempeño, reduciendo las emisiones de GEI y contaminantes criterio” (Ministerio de Defensa Nacional & Anthesis Lavola, 2023, p. 29). Esta directriz no solo legitima las acciones estratégicas, sino que le otorga un marco temporal y técnico de referencia.

Se han registrado diversas experiencias industriales en donde la adopción de IA así como el IoT ha transformado radicalmente la trazabilidad y la seguridad de la cadena de suministro. Fonseca Martínez (2024) argumenta que “la implementación de soluciones tecnológicas innovadoras, como el Internet de las Cosas (IoT) y la inteligencia artificial (IA), mejorará la trazabilidad, la seguridad y la eficiencia de la cadena de suministro” (p. 65). Este hallazgo, extraído de un estudio sobre la cadena de suministro en la Armada Nacional.

“A nivel mundial, el sector logístico ha sido uno de los más proclives a la adopción de nuevas tecnologías, como el blockchain, el Internet de las Cosas, la inteligencia artificial, la robotización y la digitalización.” (Calatayud & Montes, 2021, p. 13). En particular, el blockchain ofrece beneficio en la trazabilidad inmutable de grandes envíos, mientras que la IA potencia la toma de decisiones al procesar ingentes volúmenes de datos. En un ejercicio de relevancia para las Fuerzas Militares, podemos asimilar las prácticas de la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) ha integrado su Estrategia Revisada de IA que prioriza la adopción responsable conforme a seis Principios de Uso Responsable (PRU): “legalidad, responsabilidad, explicabilidad, fiabilidad, gobernabilidad y mitigación de sesgos” (OTAN, 2024). Estos esfuerzos buscan mejorar la eficiencia operativa manteniendo la alineación con estándares éticos y de seguridad, además de proteger las capacidades tecnológicas frente a adversarios.

La adopción de IA en sistemas de vehículos no tripulados, como drones de carga, constituye otra arista fundamental. Las Heras (2023) resalta que “la IA también ha desempeñado un papel crucial en el desarrollo de sistemas autónomos y vehículos no tripulados”. Aristizábal Murillo, J. C., Rueda Navarro, A. F., & Henao Fonseca, C. A. (2025) complementan esta visión, afirmando que “las naves aéreas no tripuladas de gran envergadura permiten vuelos a media altura y reducen el consumo de energía; también afirman que los beneficios de los drones van más allá de su valor humanitario y de salvamento de vidas” (p. 53). En el país se han impulsado iniciativas en el delivery, “algunas empresas se encuentran en etapa de prueba y programas piloto para su implementación.” (IAEROCOL, 2023). Para las Fuerzas Militares Colombianas, drones híbridos con motores eléctricos y de combustión pueden realizar misiones de reaprovisionamiento en zonas de difícil

acceso, disminuyendo el uso de helicópteros de alto consumo y reduciendo las emisiones.

Es indispensable, además, incorporar herramientas de IA para la predicción y planificación del mantenimiento de flota. Al analizar datos de telemetría, vibraciones del motor y hábitos de uso, un sistema de *machine learning* puede predecir fallas antes de que ocurran, optimizando los cronogramas de mantenimiento y evitando desplazamientos innecesarios. Este enfoque no solo ahorra combustible, sino que prolonga la vida útil de los vehículos, reduciendo la huella de carbono implícita en la fabricación de nuevos componentes.

En concordancia con el proyecto de ley que busca regular la IA presentado por Minciencias y Mintic (2025), “la adopción de inteligencia artificial en sectores como la manufactura, la logística y los servicios financieros puede aumentar la eficiencia operativa y reducir costos, lo que resulta en un incremento significativo de la productividad.” (p. 11) Esta recomendación cobra particular fuerza en el sector defensa, donde el balance entre eficacia y economía es crítico.

Por último, conviene esbozar un esquema de incentivos y métricas de desempeño. Para consolidar la adopción de IA y replicar las mejores prácticas, las Fuerzas Militares deben incorporar indicadores de sostenibilidad y eficiencia en los procesos de evaluación de unidades. Esto implica medir, periódicamente, variables como emisiones de CO₂ evitadas, ahorro en combustible, reducción de tiempos de tránsito y número de incidentes logísticos. Los mandos intermedios podrían recibir reconocimientos simbólicos o incentivos en presupuesto de innovación, estimulando así la cultura de mejora continua. Y en ese contexto, la conclusión inevitable es que, mediante un despliegue coordinado y reflexivo de IA, las Fuerzas Militares no solo optimizarán sus recursos y protocolos, sino que se posicionarán como referentes de sostenibilidad y resiliencia logística en la región.

Conclusión

La investigación realizada permite concluir que las tecnologías de inteligencia artificial constituyen un eje transformador con el potencial de reconfigurar sustancialmente las operaciones logísticas de las Fuerzas Militares Colombianas, orientándolas hacia una mayor eficiencia y una significativa reducción de su huella de carbono. Los hallazgos principales identifican al transporte (terrestre, aéreo y marítimo) como la fuente primaria de emisiones, con consumos energéticos exorbitantes que, en un escenario ofensivo, pueden equivaler a las emisiones anuales

de cientos de ciudadanos. Frente a este desafío, la IA se erige no como una mera herramienta auxiliar, sino como un facilitador crítico para la optimización sistémica. Tecnologías específicas como los algoritmos de ruteo inteligente, el mantenimiento predictivo, la gestión predictiva de inventarios y el análisis automatizado de datos satelitales se perfilan como las de mayor impacto, capaces de minimizar desplazamientos innecesarios, anticipar fallas, ajustar niveles de stock y prever condiciones operativas en tiempo real.

Este diagnóstico confirma plenamente el objetivo general de identificar estas tecnologías, demostrando que su aplicación trasciende la esfera ambiental para impactar la resiliencia operativa y la eficiencia financiera de la institución. La hipótesis subyacente de que la integración estratégica de la IA puede mitigar la huella de carbono, es validada, aunque matizada por la comprensión de que su éxito está supeditado a una transformación que va más allá de lo técnico pues también hay un importante componente humano a tener en cuenta. El verdadero significado de estos hallazgos radica en que desvelan una paradoja moderna de la defensa nacional: la búsqueda de la seguridad operativa ya no puede dissociarse de la imperiosa necesidad de sostenibilidad ambiental. Así, la investigación aporta al conocimiento existente al proveer un marco concreto para articular ambos mandatos, situando a Colombia en un debate global sobre el rol de las fuerzas armadas en la crisis climática.

En el plano práctico el estudio permite identificar como implicaciones que, urge la reconfiguración de doctrinas logísticas obsoletas y la integración explícita de *Key Performance Indicators* (KPIs) ambientales en la evaluación del desempeño. Estratégicamente, se recomienda la creación de un Observatorio de IA y Sostenibilidad para centralizar la innovación, validar tecnologías y fomentar alianzas con el sector académico e industrial. Socialmente, una institución militar más verde proyecta una imagen de responsabilidad y alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, fortaleciendo su imagen frente a la comunidad nacional e incluso frente a la internacional. Sin embargo, esta transición enfrenta limitaciones considerables, entre las que destacan la resistencia al cambio cultural dentro de una organización tradicionalmente manual y jerárquica, las brechas en infraestructura digital e interoperabilidad de sistemas como el SILOG, y los riesgos inherentes de ciberseguridad y sesgos algorítmicos que exigen marcos éticos robustos, similares a los Principios de Uso Responsable de la OTAN.

Por todo lo anterior, se vislumbra un vasto campo para investigaciones futuras. Es prioritario desarrollar estudios de caso y pilotos controlados que cuantifiquen

con precisión el ahorro de emisiones y combustible derivado de la implementación de algoritmos específicos en el terreno colombiano en la cadena de suministro. Asimismo, se requiere profundizar en el análisis de las barreras doctrinales y humanas para la adopción de IA, proponiendo modelos de capacitación y gestión del cambio a una cultura más digital de las prácticas logísticas. Finalmente, resulta crucial explorar el potencial de tecnologías fronterizas como vehículos de carga no tripulados (drones) para reabastecimiento en zonas de conflicto y el uso de *blockchain* para garantizar la trazabilidad inmutable de los suministros, siempre bajo el paraguas de una política de defensa que reconcilie de manera irreversible la soberanía nacional con la preservación del territorio que se jura proteger.

Referencias

- Aristizábal Murillo, J. C., Rueda Navarro, A. F., & Henao Fonseca, C. A. (2025). Indicadores de sostenibilidad ambiental de logística humanitaria: herramienta para el Ejército Nacional de Colombia. En J. C. Aristizábal Murillo, J. A. Montes Ospina, & A. F. Rueda Navarro (Eds.), *Logística humanitaria y derechos económicos, sociales, culturales y ambientales en el Ejército Nacional de Colombia* (pp. 35-62). Sello Editorial ESMIC. <https://librosesmic.com/index.php/editorial/catalog/download/134/107/2950?inline=1>
- Barrios Torres, S. (2024). La cadena logística del Ejército Nacional de Colombia y ciberseguridad y ciberdefensa: atención a la academia. En M. E. Realpe Díaz, & A. M. González González (Eds.), *Tecnologías disruptivas, logística y seguridad y defensa nacional en el ciberespacio* (pp. 77-110). Sello Editorial ESDEG. <https://esdeglibros.edu.co/index.php/editorial/catalog/download/307/224/3578?inline=1>
- Cáceres García, J. A. (2015). Importancia de la cadena de suministros en el A.S.P.C. de las FFMM. *Revista Fuerzas Armadas* (233), 53–58. <https://esdegrevistas.edu.co/index.php/refa/article/view/698/944>
- Calatayud, A. & Montes, L. (2021). *Logística en América Latina y el Caribe: Oportunidades, desafíos y líneas de acción*. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://publications.iadb.org/es/publications/spanish/viewer/Logistica-en-America-Latina-y-el-Caribe-Oportunidades-desafios-y-lineas-de-accion.pdf>
- Celemín Peña, C. A. (2015). Fortalecimiento de la logística militar como estrategia en su desarrollo ante el postconflicto en Colombia. San Juan de Pasto. <https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/57a24d54-ed0d-4343-86dfde9137aef9f7/content>
- Comando General de las Fuerzas Militares de Colombia. (2023). Implementación de movilidad eléctrica para el cumplimiento de requerimientos de apoyo a la seguridad ope-

- racional. <https://www.cgfm.mil.co/es/multimedia/noticias/implementacion-demovilidad-electrica-para-el-cumplimiento-de-requerimientos-de>
- Ejército Nacional de Colombia. (2009). Resolución número 0968 de 2009: Por la cual se aprueba el "Manual de Doctrina Logística". Bogotá, D.C.: Comandante del Ejército Nacional. https://www.academia.edu/43690414/FUERZAS_MILITARES_DE_COLOMBIA_EJ%C3%89RCITO_NACIONAL_Por_la_cual_se_aprueba_el_MANUAL_DE_DOC-TRINA_LOGIS_TICA_EL_COMANDANTE_DEL_EJ%C3%89RCITO_NACIONAL
- Expert Group of the International Military Council on Climate and Security. (2024). World Climate and Security Report 2024: Military innovation and the Climate Challenge. Council on Strategic Risks. <https://councilonstrategicrisks.org/wpcontent/uploads/2024/07/WCSR-2023-24.pdf>
- Fonseca Martínez, W. F. (2024). Optimización de la cadena de suministro en la Armada Nacional: Un desafío crucial en la era digital. En: Memorias del III Congreso Internacional de Planeación y Logística: Retos y Desafíos para la generación de Valor Compartido y una Logística Sustentable, 2024 (pp. 64-65). Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla. https://www.escuclanaval.edu.co/sites/default/files/Congreso_Internacional_de_Planeacion/Memorias%20III%20CIPyL%20ENAP%202024.pdf
- Fuerza Aérea Colombiana. (2016). Manual de doctrina logística (MALOG) (1.a ed.). Imprenta y Publicaciones Fuerzas Militares República de Colombia. https://www.fac.mil.co/sites/default/files/linktransparencia/Planeacion/Manuales/manuales20_22/malog_2016.pdf
- IAEROCOL. (2023). Drones para entrega de paquetes en Colombia: Qué son, cómo funcionan y cuál es su regulación [Entrada de blog]. <https://iaerocol.co/blog/drones-paraentrega-de-paquetes-en-colombia/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Chapter 10: Transport). Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_Chapter_10.pdf
- Las Heras, P. (2023, 18 de octubre). El reto de la inteligencia artificial para la seguridad y defensa [Ensayo]. Universidad de Navarra. <https://www.unav.edu/web/global-affairs/elreto-de-la-inteligencia-artificial-para-la-seguridad-y-defensa>
- Li, L., Fang, Y., & He, W. (2019). Predictive maintenance strategy for military logistics using deep learning models. *Journal of Defense Technology*, 15(4), 401–408
- López Pulgarín, N. A., & Díaz Jaimes, J. M. (Eds.). (2024). *La innovación de las capacidades militares ante los desafíos del siglo XXI*. Sello Editorial ESDEG. <https://doi.org/10.25062/9786287602885>
- Macías Sánchez, M., Tamayo Maggi, M., & Cerda Paredes, M. (2019). Resistencia al cambio en las organizaciones: Propuesta para minimizarlo. *Palermo Business Review*, 19, 40-57. https://www.palermo.edu/economicas/cbrs/pdf/pbr19/PBR_19_02.pdf

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2022). En promedio, un colombiano emite al año 1,6 toneladas de CO₂. <https://www.minambiente.gov.co/enpromedio-un-colombiano-emite-al-ano-16-toneladas-de-co2/>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias) & Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (Mintic). (2025). Proyecto de Ley “Por medio de la cual se regula la inteligencia artificial en Colombia para garantizar su desarrollo ético y responsable y se dictan otras disposiciones”.
- https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/noticias/pl_ia_finalizado.pdf
- Ministerio de Defensa Nacional & Anthesis Lavola. (2023). Plan Integral de Gestión de Cambio Climático del Sector Defensa (PIGCCSD). Colombia. Elaborado con apoyo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el gobierno del Reino Unido. https://www.suinjuriscol.gov.co/imagenes//20/11/2023/1700500087199_Plan%20Integral.pdf
- Ministerio de Defensa Nacional, Comando General de las Fuerzas Militares, Jefatura de Estado Mayor Conjunto, & Subjefatura de Estado Mayor de Planificación Estratégica. (2018). Directiva Permanente N.º Radicado 0118000011005: Seguimiento a la Gestión Logística de las Fuerzas Militares de Colombia. Bogotá D.C., Colombia.
- Ministerio de Transporte de Colombia (Mintransporte). (2024). “Somos un sector vulnerable al cambio climático, lo que nos obliga a revisar cómo se concibe la infraestructura”: ministra de Transporte en COP16 [Comunicado de prensa].
- Naciones Unidas. (1992). Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Río de Janeiro, Brasil, 3 a 14 de junio de 1992. <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/documents/declaracionrio.htm>
- Naciones Unidas. (2015). Objetivo 13: Acción por el clima. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>
- OTAN. (2024). Summary of NATO’s revised Artificial Intelligence (AI) strategy. https://www.nato.int/cps/fr/natohq/official_texts_227237.htm?selectedLocale=en
- Prajogo, D. (2020). Green supply chain practices and their impact on firm performance. *International Journal of Production Economics*, 219, 35–47.
- Ruiz Suárez, Y. (2022). Aplicación de técnicas de Machine Learning para la detección de patrones de consumo energético [Universidad de Málaga]. Repositorio Institucional de la Universidad de Málaga. <https://hdl.handle.net/10630/25049>
- U.S. Energy Information Administration. (2024). Carbon dioxide emissions coefficients. https://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.php
- Zhang, X., Wu, C., & Chen, L. (2021). AI-based route optimization in military logistics to reduce carbon emissions. *Journal of Sustainable Defense Logistics*, 2(1), 21–38.