

## Capítulo

# Decisiones que Protegen a la Nación: El Poder de la Inteligencia Artificial Explicable en la Defensa de Colombia

Mayor Eliana Rodríguez Sánchez  
Alumno CIM Escuela Superior de Guerra

Mayor Paola Andrea Zárate Luna  
Alumno CIM Escuela Superior de Guerra

**Resumen:** La presente investigación analiza el potencial de la Inteligencia Artificial Explicable (XAI) como herramienta de apoyo en la toma de decisiones estratégicas de la Fuerza Aeroespacial Colombiana (FAC), frente a un entorno caracterizado por amenazas híbridas y multidominio. El estudio se desarrolló bajo un enfoque mixto descriptivo-analítico, que combinó una revisión documental con una aplicación de una encuesta estructurada a oficiales del Alto Mando de la FAC. Los resultados evidencian una alta disposición institucional para incorporar XAI, pero también limitaciones técnicas, doctrinarias y culturales relacionadas con estandarización de datos, capacitación del personal y falta de marcos legales específicos. Se concluye que la XAI constituye un habilitador estratégico para garantizar transparencia, trazabilidad y legitimidad en las decisiones militares, siempre que su implementación se acompañe de políticas éticas, interoperabilidad de datos y fortalecimiento de capacidades institucionales, posicionando a Colombia como referente regional en innovación y defensa.

**Palabras clave:** Decisiones estratégicas; defensa nacional; ética; Fuerza Aeroespacial Colombiana; inteligencia artificial explicable; tecnologías emergentes.

**Mayor Eliana Rodríguez Sánchez, Mg.**

Magister en Gerencia Estratégica, Universidad de la Sabana, Colombia. Especialista Gestión del Desarrollo Administrativo, Universidad Militar Nueva Granada. Ingeniera Industrial de la Universidad Militar Nueva Granada. Alumno Curso de Información Militar (CIM), Escuela Superior de Guerra, Colombia. Link ORCID. - <https://orcid.org/0009-0000-4260-5620>. - Contacto: [eliana.rodriguez@esdeg.edu.co](mailto:eliana.rodriguez@esdeg.edu.co)

**Mayor Paola Andrea Zárate Luna, PhD.**

Doctor en Ingeniería, Universidad Autónoma de Occidente, Colombia. Especialista en Seguridad de la Información e Ingeniera de Sistemas, Universidad Piloto de Colombia. Alumno Curso de Información Militar (CIM), Escuela Superior de Guerra, Colombia. Link ORCID. <https://orcid.org/0000-0001-8774-8369>. - Contacto: [paola.zarate@esdeg.edu.co](mailto:paola.zarate@esdeg.edu.co)

## Introducción

En el complejo escenario de seguridad del siglo XXI, caracterizado por la convergencia de amenazas híbridas, ciberataques, guerras de información y conflictos asimétricos de quinta y sexta generación, las Fuerzas Militares Colombianas enfrentan el desafío de tomar decisiones estratégicas bajo presión operacional e incertidumbre. En este contexto, la Inteligencia Artificial Explicable (IAE o XAI por sus siglas en inglés) emerge como una herramienta de apoyo disruptiva, no solo por su rápida y precisa capacidad de procesar grandes volúmenes de información, sino también por su potencial para brindar transparencia, trazabilidad y legitimidad a las decisiones derivadas de sistemas automatizados (Gunning & Aha, 2019) (Barredo Arrieta et al., 2020).

A diferencia de los modelos tradicionales de Inteligencia Artificial (IA) de “caja negra”, que limitan la comprensión del razonamiento algorítmico, la IAE permite que las recomendaciones y/o sugerencias generadas por sistemas inteligentes sean comprensibles por los usuarios, facilitando su supervisión y evaluación. Esta característica resulta crítica en entornos militares, donde la confianza, la rendición de cuentas y el cumplimiento del Derecho Internacional Humanitario (DIH) son condiciones ineludibles para el empleo de tecnologías emergentes (Wood, 2024).

La Fuerza Aeroespacial Colombiana (FAC), en línea con tendencias globales, ha iniciado procesos de transformación tecnológica que incluyen el uso de inteligencia artificial, *big data* y sensores avanzados para mejorar su capacidad de vigilancia, defensa y control del espacio aéreo. Sin embargo, esta transformación implica importantes retos operacionales, doctrinarios y éticos, especialmente cuando se trata de integrar la IAE en los niveles más altos del proceso de toma de decisiones estratégicas (Fuerza Aérea Colombiana, 2020; Ministerio de Defensa Nacional, 2024).

El presente capítulo analiza el impacto y el potencial de la Inteligencia Artificial Explicable como herramienta de apoyo al alto mando militar colombiano, haciendo especial énfasis en su aplicación dentro de la FAC, por lo que para abordar esta investigación se adoptó un enfoque metodológico mixto de tipo descriptivo-analítico, lo que permitió realizar un análisis de la integración de la revisión documental relacionada con inteligencia artificial

explicable y la percepción de la aplicación de esta, en procesos de toma de decisiones en el sector defensa. Mencionada fase incorporó fuentes primarias y secundarias, incluyendo doctrinas militares, planes estratégicos de la FAC, políticas públicas nacionales (como los documentos CONPES) y literatura académica de alto impacto.

Adicionalmente en una segunda fase, con el fin de fortalecer el análisis empírico y obtener una perspectiva directa sobre la percepción y preparación institucional frente al uso de la Inteligencia Artificial Explicable, se diseñó y aplicó una encuesta estructurada dirigida a Oficiales del Alto Mando de la FAC, quienes ocupan cargos relacionados con la planificación, el mando y control de operaciones, y la formulación de decisiones estratégicas de la FAC. Esta encuesta fue distribuida de manera oficial a través del Sistema de Gestión Documental Institucional, garantizando su trazabilidad y legitimidad. El instrumento fue alojado en un enlace seguro construido mediante la plataforma *Microsoft Forms*, herramienta incluida en el entorno de Office 365, a la cual tiene acceso todo el personal de la institución.

Este procedimiento permitió el diligenciamiento del instrumento por parte de los mandos estratégicos de la FAC asegurando así, una colección de datos representativa, ética y alineada con las políticas internas de seguridad de la información y buscó identificar el nivel de conocimiento, percepción de utilidad, barreras institucionales y posibles criterios éticos asociados al uso de tecnologías XAI en entornos operacionales.

En una tercera fase del capítulo, se plantean recomendaciones para su implementación progresiva y responsable, alineadas con la política de innovación en defensa y los marcos éticos nacionales e internacionales.

Finalmente, se resalta la pertinencia de este análisis además de prioritario, no solo por las oportunidades tecnológicas que representa, sino también por las implicaciones geopolíticas y operacionales que enfrenta Colombia como actor regional en materia de seguridad y defensa. En ese sentido, consolidar un marco que fundamente la toma de decisiones apoyadas por la IAE resulta un paso clave para garantizar la legitimidad y sostenibilidad del poder militar en escenarios cada vez más complejos.

## Uso de Tecnologías Emergentes e IA en la Toma de Decisiones Estratégicas en la FAC

El entorno operacional exige que las Fuerzas actúen con agilidad, precisión y adaptabilidad frente a amenazas complejas y transnacionales. En este marco, la Fuerza Aeroespacial Colombiana, ha comenzado a recorrer un camino que lleve a la aproximación de tecnologías emergentes en los procesos de planeación, control, seguimiento y análisis estratégico de tecnologías emergentes y particularmente de algoritmos de inteligencia artificial. Sin embargo, más allá de la incorporación tecnológica, el reto central de las instituciones es la articulación de estas tendencias con los mecanismos de toma de decisiones estratégicas, doctrinalmente reguladas.

En la actualidad, la FAC toma decisiones estratégicas a partir de un enfoque estructurado, jerárquico y alineado con la doctrina militar conjunta, sustentado en principios institucionales, herramientas técnico-operativas y modelos de gestión pública.

En este contexto, las decisiones estratégicas adoptadas por el alto mando de la Fuerza se sustentan en un conjunto amplio y diverso de fuentes institucionales, cuya información y trazabilidad se enmarcan, entre otros en el Modelo Integrado de Planeación y Gestión (MIPG), establecido por el Departamento Administrativo de la Función Pública (DAFP). Este modelo orienta las entidades públicas bajo siete dimensiones articuladas, para las que la institución ha adquirido y/o desarrollado aplicativos institucionales que mejoran el manejo y la administración de la información:

1. Talento humano
2. Direccionamiento estratégico y planeación
3. Gestión con valores para resultados
4. Evaluación de resultados
5. Información y comunicación
6. Gestión del conocimiento y la innovación
7. Control interno (DAFP, 2023)

Mencionadas áreas facilitan la toma de decisiones lideradas por el Alto Mando Institucional, que es conformado por el señor Comandante de la FAC, Jefatura de Estado Mayor, Comandantes de Comando Aéreos (Comando de Operaciones Aéreas, Comando de

Personal, Comando Logístico, etc.), las Direcciones de Planeación, Inteligencia, Tecnología y Seguridad Operacional, y estas autoridades se apoyan en información de los Comités Estratégicos, Reuniones de Análisis Estratégico (RAE) y Juntas de Evaluación, espacios donde se presentan datos operativos, inteligencia, desempeño institucional, análisis de riesgos y perspectivas geopolíticas. Adicionalmente, mencionadas las decisiones son enmarcadas en la Doctrina de Operaciones Conjuntas de las FF.MM., el Derecho Internacional Humanitario (DIH), el respeto a los Derechos Humanos y la Constitución Política de Colombia, todo esto implica que son decisiones tomadas teniendo en cuenta aspectos legales, éticos, proporcionales, responsables y trazables, especialmente en contextos que puedan involucrar el uso de la fuerza.

Además, para fundamentar sus decisiones, la FAC se apoya en diferentes herramientas tecnológicas, tal y como se reporta en el Plan Estratégico de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (PETIC) FAC 2023 – 2026. Con alrededor de 50 sistemas de información distribuidos en las diferentes áreas funcionales, de los cuales se encuentran 8 sistemas de información transversales y 42 sistemas de información específicos, la FAC busca respaldar todos los niveles de la organización que conllevan al cumplimiento de la misión. No obstante, esta transición conlleva una inversión de diferentes recursos, situación que ha limitado la incorporación de inteligencia artificial en todos los sistemas de información mencionados, sin embargo, se destaca la inclusión, en proyectos que se encuentran en una fase de desarrollo y que integran además automatización, robotización y *blockchain* (*cadena de bloques*) como parte de este importante proceso y para el cumplimiento de la misión (Fuerza Aérea Colombiana, 2023).

En particular, las Reuniones de Análisis Estratégico (RAE) emplean metodologías como el *Balanced Scorecard* (BSC) para asegurar la alineación entre los objetivos estratégicos institucionales y el monitoreo de indicadores claves de desempeño, facilitando así una evaluación integral de resultados y la sustentación de la toma de decisiones en datos verificables y trazables (Kaplan & Norton, 1996). Complementariamente, la FAC ha implementado el sistema Suite Visión Empresarial (SVE) como una plataforma integral de gestión, diseñada para optimizar el desempeño organizacional. Esta herramienta ha

demostrado ser versátil y adaptable, al integrar módulos funcionales para la gestión de procesos, calidad, proyectos, análisis de datos y mejora continua, permitiendo una visión consolidada del funcionamiento institucional y fortaleciendo la capacidad de respuesta frente a los desafíos operativos y estratégicos.

La SVE, cuenta con un módulo específico para apoyo en la toma de decisiones, en el que a través de herramientas de análisis de datos (aunque no inteligencia artificial) y generación de informes se realiza una orientación para el alto mando en la elección de decisiones estratégicas basadas en información relevante y actualizada. Por otra parte, la FAC también cuenta con los Cuadros de Mando Integral (CMI) que permiten visualizar el avance de los objetivos estratégicos a través de KPIs alineados al Plan Estratégico Institucional.

Otro de los sistemas de información utilizado por el Alto Mando para facilitar la toma de decisiones y específicamente orientado al personal se fundamenta en las bondades del software “SIATH” (Sistema de Información del Talento Humano) que apoya el ejercicio decisional relacionado con la gestión de personal y manejo del recurso humano dada la información centralizada y actualizada presentando datos estadísticos relevantes para temas de ascensos, traslados, hojas de vida, etc.

En cuanto a los sistemas que apoyan las definiciones de cursos de acción en el área operacional, la FAC ha impulsado la creación de plataformas como el Sistema Integrado de Información Operacional de Comando y Control (SIIOC2), que permite almacenar y analizar datos históricos operacionales, apoyando decisiones tácticas y estratégicas. El sistema “SIIOC2”, fue un codesarrollo generado como una solución integrada de comando y control y permite almacenar, consultar y gestionar registros históricos operacionales, facilitando la planificación y coordinación de operaciones militares, sin embargo, no se reporta la inmersión de algoritmos de inteligencia artificial para mencionado aplicativo.

Es así como, es pertinente mencionar que la FAC ha generado diversas iniciativas que revelan su compromiso con la transformación digital, destacándose la modernización de sus sistemas, la adopción de tecnologías digitales como el uso de computación en la nube, y la adopción de modelos para operar de manera más efectiva con modelos de analítica como el *business intelligence (inteligencia de negocios)*. Todo esto, con el objetivo de optimizar

procesos, fortalecer la ciberseguridad, impulsar la innovación, mejorar la comunicación y colaboración, aumentar la eficiencia operativa y sobre todo mejorar la toma de decisiones más informadas partiendo de sistemas de análisis de datos.

Un ejemplo de lo enuncia Zárte (2023), cuando destaca el software “GEOMASK” como una herramienta modular basada en redes neuronales generativas, diseñada para realizar análisis predictivos orientados a la identificación automatizada de patrones geoespaciales. Esta aplicación permite detectar posibles áreas de extracción minera a cielo abierto, zonas afectadas por deforestación y pistas no preparadas de aterrizaje, a partir de procesos de segmentación y clasificación de imágenes satelitales y por sensores aerotransportados. Su uso ha sido especialmente valioso, como apoyo al trabajo de los analistas de imágenes de FAC, así como en la elaboración de informes para operaciones conjuntas, fortaleciendo la capacidad operativa mediante inteligencia geoespacial automatizada.

También, es pertinente mencionar otros desarrollos de alto impacto que incorporan tecnologías emergentes, como por ejemplo “KAIROS”, que es un sistema de información basado en *Python*, y aprovecha las capacidades de los algoritmos de inteligencia artificial de última tendencia, para realizar detección de anomalías de plataformas satelitales, coadyuvando a los operadores satelitales a tomar decisiones que puedan preservar la vida útil de estos activos estratégicos. De otra parte, se evidencia la herramienta “C2Tracker”, desarrollado por la FAC en el marco del convenio interinstitucional con ECOPEPETROL, para el análisis de firmas espectrales a partir de algoritmos inteligentes, con los que posteriormente se realizan análisis y detección de gases efecto invernadero.

Desde el contexto operacional de la FAC, se destaca igualmente el sistema de Comando y Control “HORUS”, que cuenta con una interfaz moderna y adaptada a las necesidades operacionales de la Fuerza, logrando integrar *big data (macrodatos)* y procesamiento geoespacial para soporte a decisiones en múltiples dominios.

En relación con lo anterior y en sintonía con las últimas tendencias globales, se ha evidenciado que las iniciativas descritas, evidencian el compromiso de la FAC con la innovación tecnológica al servicio de la seguridad nacional, mostrando grandes esfuerzos en la implementación de tecnologías emergentes alineadas con lo establecido por el Sistema de

Defensa Aérea Integrado (SDAI) y la Estrategia de Desarrollo EDAES 2042, que plantean una transformación tecnológica con énfasis en autonomía operativa, ciberseguridad e interoperabilidad (Fuerza Aérea Colombiana, 2020).

Dicho marco de transformación institucional ha requerido el fortalecimiento de los conocimientos estratégicos, tecnológicos, doctrinarios y operativos, además de una infraestructura que permita el despliegue de estas novedosas tecnologías. En este sentido, los centros de investigación de la Fuerza Aeroespacial Colombiana se han consolidado como motores clave que apalancan el desarrollo de herramientas tecnológicas, buscando garantizar la autonomía tecnológica, la superioridad operativa y la transformación estratégica frente a los desafíos contemporáneos, tales como el uso ético de la inteligencia artificial, la seguridad espacial y la guerra multidominio. Además, a través de estos centros se ha promovido la generación de capacidades disruptivas como las mencionadas antes, especialmente en los ámbitos de la defensa, la innovación aeroespacial y la seguridad nacional, impulsando diversos proyectos de ciencia, tecnología e innovación fundamentados en el uso de inteligencia artificial.

La incorporación de XAI se plantea entonces, como una solución para sistematizar, justificar y agilizar el análisis de datos complejos, sin reemplazar el juicio del comandante, pero fortaleciendo su capacidad para actuar con base en evidencia comprensible. Esta proyección se alinea con los lineamientos de la Estrategia para el Desarrollo Aéreo y Espacial 2024, la cual contempla el fortalecimiento de capacidades tecnológicas mediante la implementación de inteligencia artificial y análisis de *big data*. Su propósito es apoyar la definición dinámica de cursos de acción en tiempo real, facilitando así un sistema de comando y control interoperable, resiliente y fundamentado en principios éticos.

En síntesis, la FAC ha iniciado una ruta estratégica hacia la adopción de tecnologías emergentes y de IA explicable, no obstante, persisten limitaciones estructurales que requieren una alineación más profunda entre los modelos tecnológicos, la doctrina militar y los marcos éticos del Derecho Internacional Humanitario. Abordar este reto es clave para consolidar un sistema de decisión estratégico confiable, oportuno y legalmente legítimo.

## **Casos Internacionales y Referencias Estratégicas para la Fuerza Aeroespacial Colombiana**

Diversos países y organismos internacionales han comenzado a integrar la XAI en aplicaciones críticas de la defensa, proporcionando casos de uso valiosos como referencia para la adopción progresiva de estas tecnologías por parte de las Fuerzas Militares, y en particular, para la Fuerza Aeroespacial Colombiana.

Uno de los principales referentes internacionales es Estados Unidos, país que ha liderado tanto el desarrollo tecnológico, como la implementación práctica de XAI en contextos militares. Un caso emblemático es el programa DARPA XAI, orientado a diseñar algoritmos de aprendizaje automático cuyas decisiones pueden ser comprendidas por los usuarios humanos. El objetivo central de este programa ha sido cerrar la brecha de confianza entre operadores militares y sistemas de inteligencia artificial, facilitando que analistas y comandantes se sientan cómodos utilizando recomendaciones generadas por máquinas (Cox, 2021).

Adicionalmente la Fuerza Aérea de EE. UU., ha incluido la XAI en procesos de selección y entrenamiento de personal. Un estudio reciente describió un sistema de apoyo a la toma de decisiones para seleccionar pilotos candidatos, construido con modelos interpretables complementados por modelos de tipo “caja negra” acompañados de explicaciones con *Shap Values (Shapley Additive Explanations)* (Wasilefsky et al., 2024).

La aplicación de este enfoque híbrido hizo posible desarrollar modelos transparentes y justos para pronosticar el rendimiento de los candidatos a piloto, incorporándolo de manera clara y verificable en el proceso de selección. Al brindar explicaciones comprensibles sobre las predicciones generadas, se fortaleció la confianza de los oficiales en el sistema y se favoreció su adopción como parte natural de la cultura organizacional de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos.

Otro ambiente relevante de aplicación en EE. UU., es el mantenimiento predictivo de aeronaves, en el que tanto la *United States Force (USAF)* como la Armada han puesto en marcha programas basados en Inteligencia Artificial, capaces de anticipar fallas mecánicas antes de que se produzcan (Soules, s.f.). Con el apoyo de la XAI, estas plataformas no solo

generan alertas tempranas, sino que también explican las causas de estas, señalando, por ejemplo, que sensores o parámetros del motor presentan lecturas inusuales que podrían indicar una avería inminente.

En ambientes de combate aéreo, la XAI también juega un rol emergente. Recientemente, pilotos automáticos basados en IA han logrado volar y maniobrar aviones de combate en pruebas avanzadas como lo menciona la *Air Force Research Laboratory Public Affairs* (2023), si bien la prioridad inicial es la efectividad táctica, la Fuerza Aérea Norteamericana, ha reconocido que la explicabilidad de las decisiones de estos agentes autónomos será crucial para que los pilotos humanos cooperen con confianza en escenarios “*manned-unmanned teaming*”, que significa aquella cooperación en operaciones militares que podría ocurrir entre aeronaves tripuladas por pilotos y aquellas no tripuladas. En ese sentido, estudios apoyados por la USAF han explorado la confianza del piloto en sistemas autónomos (drones escolta, auto-GCAS, asistentes de vuelo), encontrando que proporcionar explicaciones claras sobre el comportamiento del autopiloto favorece la adopción y reduce la desconfianza de los pilotos para delegar funciones (Dan G. Cox, 2021).

En el ámbito de la OTAN, la adopción de XAI está respaldada por un marco político común. La Estrategia de IA de la OTAN (2021) estableció seis principios de uso responsable de la IA en defensa: legalidad, responsabilidad, rastreabilidad, fiabilidad, gobernabilidad y mitigación de riesgos, entre los que características como la “explicabilidad y trazabilidad” se vuelven un factor clave (Reynolds & Atalan, 2024). Esto implica que las naciones aliadas se comprometen a procurar que los sistemas de IA militar sean auditables, capaces de dar cuentas de su funcionamiento y resultados y que conserven registros para verificación posterior.

La OTAN también ha ilustrado casos de uso de XAI en inteligencia y mando y control. Por ejemplo, en ejercicios de operaciones multidominio, como explica Bhatt et al, (2020), se han empleado herramientas de IA para consolidar datos de diferentes dominios (terrestre, aéreo, cibernético) y proponer cursos de acción. Dichas herramientas incorporan módulos explicativos que justifican porque la selección de un curso de acción es la recomendada, por ejemplo, mostrando que un patrón de actividad del adversario fue

detectado simultáneamente en comunicaciones interceptadas y movimientos de tropas (Mohan, 2022). Esto permite a los oficiales aliados discutir la recomendación con base en evidencia clara y mejora la confianza colectiva en la inteligencia generada automáticamente.

Otros referentes relevantes para Colombia se evidencian en potencias como Israel, que ofrecen ejemplos relevantes de la aplicación de IA y la necesidad concomitante de explicabilidad en entornos de combate real. Las Fuerzas de Defensa de Israel han utilizado sistemas avanzados de IA para procesar enormes volúmenes de datos de inteligencia, comunicaciones interceptadas y videos de vigilancia con el fin de identificar blancos de alto valor y amenazas insurgentes (Baniecki & Biecek, 2024a). Sin embargo, un desafío doctrinal específico en Europa es traducir esos principios en doctrinas operativas concretas: es decir, como integrar la XAI en reglas de enfrentamiento, manuales tácticos y entrenamiento de las tropas.

Un claro ejemplo de este modelo europeo se plasma en la incorporación de explicaciones obligatorias en los informes generados por sistemas de apoyo al mando, de modo que un oficial nunca reciba una recomendación de fuego automático sin una justificación paralela, sin embargo, tal y como lo reconoce la ONU, estas actividades aun encuentran barreras de aplicación en los sistemas militares considerándose como un desafío técnico no resuelto (Giacomo et al., 2023).

Países de Occidente, como Japón, Corea del Sur y Australia, comparten en gran medida las preocupaciones éticas, aunque cada uno con matices propios. Japón, se ha autoimpuesto restricciones en el desarrollo de armas autónomas letales, enfatizando siempre la presencia de un humano en la decisión letal; en este marco la XAI se ve como una herramienta para mejorar la supervisión humana más que para delegar decisiones.

Corea del Sur ha emergido como un actor proactivo en la gobernanza IA militar: organizó discusiones en 2023 y 2024 en la cumbre global *REAIM (Responsible IA in the Military Domain)* en conjunto con Países Bajos y en las cuales participó Colombia, para abordar la necesidad del cumplimiento del derecho internacional y mecanismos para prevenir

que las armas autónomas tomen decisiones sin la debida supervisión humana y para delinear un “plan de uso responsable” de la IA militar (Yang et al., 2023).

A partir de lo expuesto, se reconoce que un factor crítico para la FAC y, en general para las FFMM es la elevada probabilidad de que se materialicen riesgos operacionales vinculados principalmente a la fiabilidad de los sistemas sustentados en tecnologías emergentes y a las tareas de soporte que estos requieren. Dichos riesgos pueden ser mitigados de forma significativa mediante la aplicación de XAI, entendida como un habilitador esencial para la incorporación segura y transparente de la IA en operaciones aéreas, espaciales y cibernéticas, garantizando su coherencia con los principios y valores constitucionales.

### **Potencial de la Inteligencia Artificial Explicable para Sistematizar Datos Institucionales en la Fuerza Aeroespacial Colombiana**

En el marco de las transformaciones tecnológicas en defensa, la sistematización de datos provenientes de fuentes múltiples e institucionalmente distribuidas se ha convertido en un requisito esencial para la eficacia del mando y control estratégicos. La inteligencia artificial explicable representa una innovación crítica, no solo al permitir el procesamiento automatizado y escalable de información compleja, sino también al garantizar transparencia, trazabilidad y auditabilidad en los procesos de recomendación algorítmica, principios fundamentales en la operación de la Fuerzas Militares de Colombia bajo marcos legales y doctrinarios.

La FAC, como parte del aparato de defensa nacional, estructura sus decisiones estratégicas sobre sistemas distribuidos de información provenientes de fuentes humanas, tecnológicas, operacionales, administrativas y de inteligencia. No obstante, estos datos frecuentemente están alojados en sistemas que buscan ser cada vez más interoperables y con estándares de almacenamiento y acceso, representando un reto significativo para consolidar, correlacionar y evaluar datos de manera oportuna y precisa, lo cual es indispensable para la superioridad en la toma de decisiones estratégicas.

A través de la revisión doctrinal, normativa y técnica (Manual Fundamental Conjunto 5-0; Manual FAC-0-B Doctrina Básica Aérea, Espacial y Ciberespacial DBAEC; Manual Fundamental Conjunto 1.0), se evidencia que la doctrina de operaciones conjuntas y el proceso de planeamiento operacional colombiano exigen que las decisiones se basen en datos verificables y con trazabilidad institucional, condición que la XAI podría fortalecer mediante técnicas de inferencia explicativa, justificación algorítmica y generación de evidencias auditable consistentes (Barredo Arrieta et al., 2020). Además, en el proceso de estimación operacional, es clave contar con herramientas que correlacionen datos históricos, inteligencia táctica y variables geoestratégicas. Sistemas como el SIIOC2 o la Suite Visión Empresarial, si bien permiten la captación y análisis de datos, aun no integran módulos de inteligencia artificial explicable, lo que limita la efectividad y aplicación de IA en contextos de alta incertidumbre o supervisión ética.

Desde una perspectiva funcional, la arquitectura institucional de la FAC genera flujos de datos críticos desde fuentes operacionales (sensores aerotransportados, estaciones de radar, satélites y registros operacionales de misiones), de inteligencia (imágenes satelitales, informes de inteligencia de señales y de comunicaciones, reconocimiento visual, inteligencia técnica, monitoreo, entre otras, procesadas por la Dirección de Inteligencia de la FAC), logística (consolidado por sistemas de mantenimiento), personal (plataforma SIATH) y planeación estratégica (extraídos de comités estratégicos, RAE y documentos de evaluación de resultados). La revisión de estos flujos evidenció que, la introducción de algoritmos de XAI podría facilitar la correlación automática de variables interinstitucionales, identificar patrones ocultos y proponer escenarios futuros sustentados en justificaciones entendibles por el usuario final que asesora al Alto Mando, para generar recomendaciones explicables automáticas sustentables.

Para complementar este análisis técnico-doctrinal, se diseñó y aplicó una encuesta estructurada diligenciada por 15 Oficiales del Alto Mando de la FAC, pertenecientes a los comandos de Operaciones Aéreas y Espaciales, Apoyo a la Fuerza y Desarrollo Humano. Los resultados de mencionada encuesta revelaron que, aunque el nivel de conocimiento en inteligencia artificial fue reportado como “medio a alto” y la mayoría de los encuestados contaban con una gran experiencia en planeamiento estratégico, aún existe una brecha

formativa relevante. La confianza en los sistemas actuales de información para apoyar decisiones estratégicas fue evaluada mayoritariamente como media o baja, lo que coincide con las limitaciones técnicas previamente identificadas.

Un hallazgo relevante fue que el 100% de los Oficiales encuestados reconoció la utilidad de la IA para apoyar la toma de decisiones estratégicas, destacando áreas como el procesamiento de datos operacionales, gestión de personal, operaciones aéreas, planeación institucional y logística. Más del 85% manifestó estar “muy dispuesto” o “totalmente dispuesto” a incorporar XAI en su labor decisoria, siempre que esta se alinee con principios doctrinarios y éticos.

Los principales desafíos identificados por los encuestados incluyen la falta de legislación específica, el acceso limitado a bases de datos robustas, la resistencia cultural al cambio, limitaciones en la infraestructura técnica y la necesidad de garantizar soberanía tecnológica. Estas respuestas refuerzan la necesidad de garantizar la adopción de XAI sea abordada como una transformación interinstitucional progresiva y multidimensional, alineada con la doctrina vigente y las buenas prácticas internacionales (Reynolds & Atalan, 2024).

Entre las principales conclusiones, se identificaron barreras técnicas como, poca estandarización de los datos, ausencia de bases de datos centralizadas para entrenamiento de modelos con IA con trazabilidad. En cuanto a las barreras operacionales se identifica la baja cultura institucional sobre inteligencia artificial y explicabilidad y poca capacitación del personal en lectura crítica de resultados algorítmicos. De otra parte, también es oportuno enunciar los riesgos a los que se somete la institución en caso de delegación indebida de la decisión al sistema sin comprensión humana (lo que vulnera el principio de control humano sobre las tecnologías).

A pesar de estos desafíos, se evidenciaron también capacidades potenciales en sistemas como GEOMASK, KAIROS y HORUS, donde ya se exploran herramientas de inteligencia artificial, aunque aún con limitada explicabilidad. Estos sistemas podrían ser puntos de partida para la incorporación gradual de módulos XAI, orientados a visualización explicativa de patrones detectados, justificación de anomalías o alertas tanto para aeronaves

como para el área satelital, y priorización de cursos de acción con base en criterios éticos y doctrinarios.

En síntesis, la percepción del Alto Mando de la FAC valida la pertinencia y urgencia de integrar herramientas XAI para sistematizar y procesar datos institucionales de forma comprensible, trazable y ética. Este esfuerzo debe partir de iniciativas piloto sobre plataformas existentes, fortalecidas con marcos doctrinarios claros y programas de capacitación dirigidos. Solo así, se podrá consolidar un sistema decisional estratégico con respaldo en evidencia explicable, acorde con los principios operacionales de las Fuerzas Militares de Colombia y en sintonía con los estándares internacionales de legalidad, responsabilidad y gobernanza tecnológica.

## **Recomendaciones para una Implementación Ética, Doctrinaria y Operacional de la Inteligencia Artificial Explicable en la FAC**

La incorporación progresiva de la Inteligencia Artificial Explicable en la Fuerza Aeroespacial Colombiana debe realizarse bajo un enfoque integral que contemple no solo la dimensión técnica, sino también los marcos éticos, doctrinarios y operacionales que rigen el accionar de las Fuerzas Militares. En coherencia con los hallazgos doctrinales, técnicos y empíricos previamente analizados, se proponen a continuación un conjunto de recomendaciones estructuradas en cinco ejes estratégicos:

### **Desarrollo de una política institucional de XAI en defensa**

Se recomienda que el Ministerio de Defensa Nacional, en coordinación con la FAC y el Comando General de las Fuerzas Militares, formule una política específica para la adopción de XAI, que articule los principios de legalidad, responsabilidad, trazabilidad y control humano significativo. Esta política debe enmarcar que dentro del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Defensa y estar alineada con las directrices éticas internacionales como las adoptadas por la OTAN (Reynolds & Atalan, 2024).

Además, esta política debe estar alineada con los fundamentos doctrinarios establecidos en el MFC 1.0, que promueven una capacidad militar conjunta, interoperable, adaptable y orientada a entornos de amenazas híbridas y multidominio. Así mismo, debe considerar los principios de responsabilidad y legalidad estipulados en el MFRE 5-0, garantizando que las decisiones, aunque asistidas por algoritmos, sigan siendo tomadas bajo la autoridad y supervisión del comandante.

### **Diseño de una hoja de ruta operativa y doctrinaria**

La implementación de XAI debe estar respaldada por una hoja de ruta que defina etapas progresivas de desarrollo, prueba e integración. Esta hoja de ruta debe incluir como mínimo:

- Identificación de sistemas piloto (por ejemplo, KAIROS, GEOMASK o SVE).
- Evaluación de madurez tecnológica (TRL).
- Adaptación doctrinaria en manuales tácticos, reglas de enfrentamiento y procedimientos operacionales estandarizados (SOP).
- Actualización de la doctrina de operaciones conjuntas para incluir criterios de explicabilidad algorítmica.

Adicionalmente, se recomienda desarrollar simulaciones y juegos de guerra con inclusión de herramientas XAI para evaluar su utilidad real en escenarios operacionales, antes de su despliegue definitivo. Estas simulaciones deben permitir al comandante contrastar la inferencia algorítmica con su experiencia profesional, garantizando el principio de control humano significativo.

### **Fortalecimiento de capacidades institucionales**

La encuesta aplicada al Alto Mando de la FAC evidenció una alta disposición a utilizar la XAI, pero también una brecha formativa. Por tanto, se recomienda:

- Diseñar programas de capacitación específicos para oficiales en temas como ética de la IA, evaluación de sistemas algorítmicas y supervisión humana efectiva.

- Incluir contenidos de XAI en los programas de formación de la Escuela de Posgrados de la FAC y la Escuela Superior de Guerra.
- Crear grupos interdisciplinarios de trabajo que integren ingenieros, oficiales de inteligencia, planificadores operacionales y expertos jurídicos para evaluar aplicaciones con XAI en contextos reales.
- Incentivar la producción doctrinaria y académica propia sobre XAI en defensa, promoviendo publicaciones desde el Centro de Estudios Estratégicos de la FAC.

### **Interoperabilidad y gobernanza de datos**

Para que la XAI funcione eficazmente, es fundamental garantizar la calidad, disponibilidad e interoperabilidad de los datos. Se sugiere:

- Establecer estándares comunes de estructuración y almacenamiento de datos operacionales, logísticos e institucionales.
- Implementar repositorios seguros que permitan el entrenamiento y validación de modelos con trazabilidad y gobernanza efectiva.
- Promover el uso de *blockchain* y tecnologías de control de versiones para garantizar la integridad y auditabilidad de los insumos de los algoritmos explicables (Fuerza Aérea Colombiana, 2023).
- Establecer convenios con universidades e institutos tecnológicos (o aprovechar los ya existentes) para la investigación en minería de datos aplicados a contextos de defensa.

### **Evaluación continua y supervisión ética**

Finalmente, toda implementación de XAI debe ser acompañada por mecanismos de evaluación ética, legal y operacional. Esto incluye:

- La creación de un comité institucional de ética tecnológica que supervise la incorporación de AI en operaciones militares.
- Protocolos de revisión de decisiones automatizadas, donde siempre exista una validación humana final.

- Inclusión de cláusulas de reversibilidad y supervisión humana significativa en los sistemas utilizados para toma de decisiones críticas (Baniecki & Biecek, 2024; Wood, 2024).
- Articulación con el Ministerio de Ciencia y Tecnología y con organismos internacionales como REAIM (*Responsible AI in the Military Domain*) del Departamento de Estados Unidos, para asegurar una implementación alineada con marcos internacionales de gobernanza algorítmica.

Estas recomendaciones deben entenderse como un proceso continuo de transformación estratégica, donde la incorporación de XAI no implica reemplazo del juicio humano, sino su fortalecimiento con evidencia trazable y comprensible. La FAC, en su rol como actor estratégico del poder aeroespacial nacional, se encuentra en una posición privilegiada para liderar esta transición en el ámbito regional, contribuyendo no sólo a la defensa nacional, sino también al desarrollo de capacidades soberanas en ciencia, tecnología y ética militar aplicada.

## Conclusiones

El análisis realizado permitió afirmar que la Inteligencia Artificial Explicable (XAI) constituye un habilitador estratégico esencial para la modernización de la Fuerza Aeroespacial Colombiana (FAC) y, en general, de las Fuerzas Militares de Colombia. Su pertinencia no radica únicamente en la capacidad de procesar grandes volúmenes de datos en tiempo real, sino en la posibilidad de garantizar transparencia, trazabilidad y legitimidad en contextos decisionales de alta complejidad, donde la confianza institucional y el respeto al Derecho Internacional Humanitario son condiciones ineludibles.

De los resultados de la encuesta realizada, así como, de la investigación adelantada se puede evidenciar que la FAC ya ha iniciado un proceso de información tecnológica sostenida, con herramientas de software que integran tecnologías emergentes para fortalecer el mando y control. No obstante, dichos sistemas presentan limitaciones de explicabilidad, lo

que subraya la necesidad de avanzar hacia la incorporación de módulos de XAI que permitan inferencias auditables, comprensibles y justificadas para el alto mando.

Las recomendaciones propuestas en este capítulo delimitan una hoja de ruta realista para implementación progresiva de la XAI en la FAC. Estas abarcan desde la formulación de una política institucional de AI explicable para defensa, hasta el fortalecimiento de la interoperabilidad de datos, la capacitación del talento humano y la creación de mecanismos de supervisión ética.

Finalmente, puede concluirse que la incorporación de XAI en la FAC es una condición estratégica y prioritaria para consolidar un sistema de decisiones más confiable, oportuno y legítimo y el éxito del proceso de implementación de la XAI en el contexto militar dependerá de una alineación efectiva entre las capacidades tecnológicas emergentes, las doctrinas institucionales y los principios fundamentales del Derecho Internacional Humanitario y los derechos humanos. Así, la XAI puede convertirse no solo en una herramienta tecnológica, sino en un pilar legítimo del poder decisional militar colombiano del siglo XXI.

## Referencias

- Air Force Research Laboratory Public Affairs. (2023, 13 de febrero). DOD artificial intelligence agents successfully pilot fighter jet. *Air Force Laboratory*. <https://www.afrl.af.mil/News/Article-Display/Article/3297364/dod-artificial-intelligence-agents-successfully-pilot-fighter-jet/>
- Baniecki, H., & Biecek, P. (2024a). *Adversarial attacks and defenses in explainable artificial intelligence: A survey*. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2024.102303>
- Baniecki, H., & Biecek, P. (2024b). *Adversarial attacks and defenses in explainable artificial intelligence: A survey*. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2024.102303>
- Barredo Arrieta, A., Díaz-Rodríguez, N., Del Ser, J., Bennetot, A., Tabik, S., Barbado, A., Garcia, S., Gil-Lopez, S., Molina, D., Benjamins, R., Chatila, R., & Herrera, F. (2020a). Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI. *Information Fusion*, 58, 82–115. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2019.12.012>
- Barredo Arrieta, A., Díaz-Rodríguez, N., Del Ser, J., Bennetot, A., Tabik, S., Barbado, A., Garcia, S., Gil-Lopez, S., Molina, D., Benjamins, R., Chatila, R., & Herrera, F. (2020b). Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI. *Information Fusion*, 58, 82–115. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2019.12.012>
- Bhatt, U., Xiang, A., Sharma, S., Weller, A., Taly, A., Jia, Y., Ghosh, J., Puri, R., Moura, J. M. F., & Eckersley, P. (2020). Explainable machine learning in deployment. *FAT\* 2020 - Proceedings of the 2020 Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*, 648–657. <https://doi.org/10.1145/3351095.3375624>
- Dan G. Cox. (2021). Artificial Intelligence and Multi-Domain Operations a Whole-of-Nation Approach Key to Success. *Military Review*, 101(3), 76-91.
- Fuerza Aérea Colombiana. (2020, abril). *Estrategia para el desarrollo aéreo y espacial de la Fuerza Aérea Colombiana EDAES 2042*. <https://www.fac.mil.co/sites/default/files/2021-04/edaes.pdf>
- Fuerza Aérea Colombiana. (2023, junio). *Plan Estratégico de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (PETIC) FAC 2023-2026*. <https://www.fac.mil.co/sites/default/files/linktransparencia/Planeacion/Planes/petic.pdf>
- Giacomo, P. P., Afina, Y., Grand-Clément, S., Puscas, I., Mohan, S., & Abowitz, J. (2023). United Nations General Assembly (A/RES/79/239). *Artificial Intelligence in the Military Domain and Its Implications for International Peace and Security*. [https://docs-library.unoda.org/General\\_Assembly\\_First\\_Committee\\_-Eightieth\\_session\\_\(2025\)/79-239-UNIDIR-EN.pdf](https://docs-library.unoda.org/General_Assembly_First_Committee_-Eightieth_session_(2025)/79-239-UNIDIR-EN.pdf)
- Gunning, D., & Aha, D. W. (2019). DARPA's Explainable Artificial Intelligence Program. *AI Magazine*, 40(2), 44–58. <https://doi.org/10.1609/aimag.v40i2.2850>

- Luna, P. A. Z., & Sotelo, J. A. L. (2020). Systematic Literature Review: Artificial Neural Networks Applied in Satellite Images. *2020 IEEE Colombian Conference on Applications of Computational Intelligence (IEEE ColCACI 2020)*, 1–6.  
<https://doi.org/10.1109/ColCACI50549.2020.9247916>
- Ministerio de Defensa Nacional. (2024, junio). *Política de Ciencia, Tecnología e Innovación para el Sector Defensa y Seguridad - Ctel 2024*.  
[https://www.mindefensa.gov.co/\\_cache\\_1aa2/content/Pol%C3%ADtica%20de%20CTel2024%20140624%20vf-5295010000147823.pdf](https://www.mindefensa.gov.co/_cache_1aa2/content/Pol%C3%ADtica%20de%20CTel2024%20140624%20vf-5295010000147823.pdf)
- Mohan, S. (2022). *Managing Expectations: Explainable A.I. and its Military Implications*.  
<https://www.orfonline.org/public/uploads/posts/pdf/20230816162901.pdf>
- Reynolds, I., & Atalan, Y. (2024, 8 de julio). *Calibrating NATO's Vision of AI-Enabled Decision Support*. Center for Strategic & International Studies.  
<https://www.csis.org/analysis/calibrating-natos-vision-ai-enabled-decision-support>
- Wasilefsky, D., Caballero, W. N., Johnstone, C., Gaw, N., & Jenkins, P. R. (2024). Responsible machine learning for United States Air Force pilot candidate selection. *Decision Support Systems*, 180, 114198. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2024.114198>
- Wood, N. G. (2024). Explainable AI in the military domain. *Ethics and Information Technology*, 26(2). <https://doi.org/10.1007/s10676-024-09762-w>
- Yang, W., Wei, Y., Wei, H., Chen, Y., Huang, G., Li, X., Li, R., Yao, N., Wang, X., Gu, X., Amin, M. B., & Kang, B. (2023). Survey on Explainable AI: From Approaches, Limitations and Applications Aspects. *Human-Centric Intelligent Systems*, 3(3), 161–188.  
<https://doi.org/10.1007/s44230-023-00038-y>
- Zarate, P., & Carvajal, A. (2023). FACSAT2 Chiribiquete: exitoso lanzamiento y puesta en órbita del segundo satélite de la Fuerza Aérea Colombiana en el espacio: Implementación de Inteligencia Artificial en la extracción de datos satelitales. *Revista Aeronáutica, Edición 309*.  
<https://revistaaeronautica.com/edicion/edicion-309/>
-

