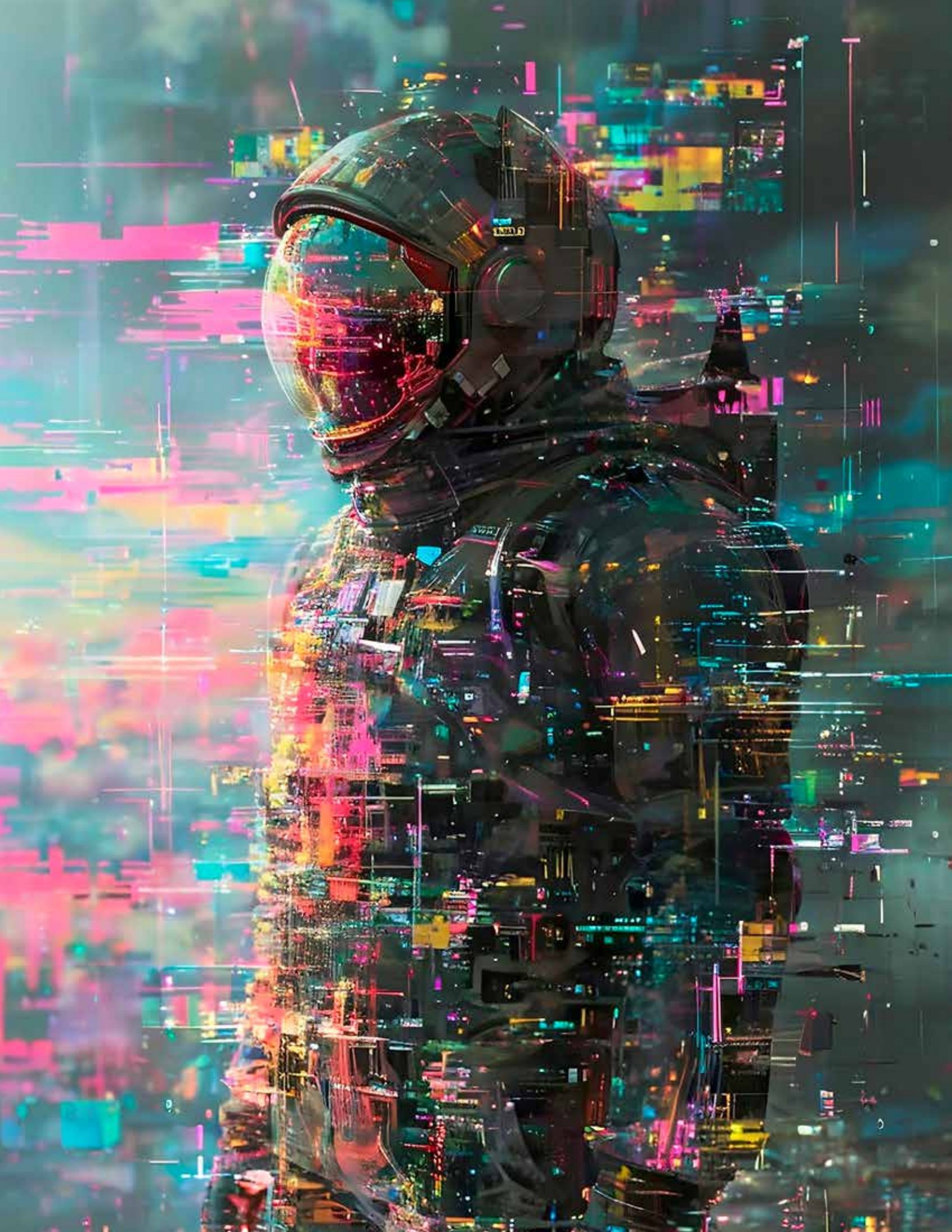






Aplicaciones de inteligencia artificial en el sector aeroespacial en Colombia

Artificial Intelligence Applications in the Aerospace Sector in Colombia

Andrés Julián Moreno Moreno (1)

Gabriel Andrés Alzate Acuña (2)

Gustavo Vargas-Yara (3)

(1). Ingeniero Electrónico, Magister en Ciencias de la Información y las Comunicaciones, SENA.
Investigador experto en ciencias aeroespaciales 2024.
Grupo de Investigación del Centro Metalmecánico Gicemet, Bogotá D.C., Colombia.
ajmorenom@sena.edu.co

(2). Ingeniero Electrónico, Magister en Ciencias de la Información y las Comunicaciones, SENA.
Investigador experto en inteligencia artificial 2024.
Grupo de Investigación de Cenigraf - Ingraf, Bogotá D.C., Colombia.
galzatea@sena.edu.co

(3). Economista y Magister en Ciencias Económicas, SENA, Investigador en temas de política pública en ciencia, tecnología e innovación, Grupo de Investigación del Centro Metalmecánico Gicemet, Bogotá D.C., Colombia.
gvargas@sena.edu.co

RESUMEN

Este artículo analiza el impacto de la inteligencia artificial (IA) en el sector aeroespacial colombiano, destacando sus aplicaciones en monitoreo satelital, gestión de tráfico aéreo y optimización de rutas de vuelo. Los hallazgos muestran cómo estas tecnologías están transformando la vigilancia ambiental e infraestructura vial, posicionando a Colombia como líder regional en innovación. Sin embargo, se identifican retos en infraestructura, formación de talento y regulación ética. Se proponen estrategias como la colaboración público-privada y políticas públicas sólidas para impulsar su potencial en el desarrollo sostenible.

Palabras Claves: Inteligencia artificial, tecnologías aeroespaciales, drones, sistema de aeronaves no tripuladas, visión por computador, satélites, imágenes satelitales.

ABSTRACT

This article analyzes the impact of artificial intelligence (AI) in the Colombian aerospace sector, highlighting its applications in satellite monitoring, air traffic management, and flight route optimization. The findings show how these technologies are transforming environmental monitoring and infrastructure, positioning Colombia as a regional leader in innovation. However, challenges remain in infrastructure, talent development, and ethical regulation. Strategies such as public-private collaboration and robust public policies are proposed to maximize AI's potential for sustainable development.

Keywords: Artificial intelligence, aerospace technologies, drones, unmanned aircraft system, computer vision, satellites, satellite images.

1. INTRODUCCIÓN

En la última década, y en especial los recientes dos años, la inteligencia artificial (IA) ha revolucionado múltiples sectores industriales, entre ellos y ‘relevante para el futuro cercano’ el sector aeroespacial, al ofrecer herramientas avanzadas para la recopilación, procesamiento y análisis de datos, particularmente en aspectos como innovaciones en la predicción de tráfico aéreo, el monitoreo satelital de cultivos y territorios estratégicos, la gestión de flotas de drones, entre otros. Estas capacidades resultan particularmente útiles para optimizar operaciones y mejorar la seguridad en actividades que antes requerían una intervención humana intensiva [1].

En este contexto, el presente artículo surge como parte del desarrollo del proyecto “*Estudio prospectivo sobre el uso, apropiación y desarrollo de conocimiento derivado de tecnologías de vanguardia: Ciencias Aeroespaciales e Inteligencia Artificial*”, liderado por la Dirección Regional del SENA Distrito Capital, concebido como una iniciativa estratégica que busca fortalecer las capacidades nacionales en Ciencia, Tecnología e Innovación (CTeI), y responde a la necesidad de construir un panorama prospectivo que guíe la toma de decisiones estratégicas en torno a tecnologías clave para el futuro del país.

Durante su ejecución, el proyecto ha logrado avances en la caracterización de capacidades institucionales y tecnológicas, tanto en infraestructura como en talento humano, así como en la identificación de tendencias emergentes y desafíos relacionados con las tecnologías analizadas. Entre los principales resultados, se destacan el diseño de instrumentos metodológicos para el análisis prospectivo y la creación de un modelo conceptual que permite orientar el desarrollo de

proyectos de investigación, formación y transferencia tecnológica en áreas como las ciencias aeroespaciales y la inteligencia artificial.

Este artículo presenta un análisis algunos de estos resultados, explorando el aporte potencial de estas tecnologías en el desarrollo socioeconómico del país y destacando oportunidades para su implementación en sectores estratégicos. Además, se abordan los retos que enfrenta Colombia para consolidar su posición como referente en la adopción ética y sostenible de estas tecnologías. De esta manera, se busca aportar al fortalecimiento de las políticas públicas y al desarrollo de capacidades en tecnologías de vanguardia, alineando las acciones del SENA con las demandas del mercado laboral y los objetivos estratégicos del país en el ámbito de la CTeI.

Frente a la estructura del artículo en la siguiente sección se describe la metodología utilizada, seguido de un estado del arte en la sección 3 sobre los desarrollos históricos y las aplicaciones actuales de la IA en este ámbito; la sección 4 aborda las aplicaciones específicas en el sector aeroespacial colombiano, mientras que en la sección 5 se discuten los desafíos y oportunidades para el país. Finalmente, en la sección 6 se presentan las conclusiones en torno a la implementación de estas tecnologías en Colombia.

2. METODOLOGÍA

La metodología de este estudio se basó en un enfoque mixto de análisis bibliométrico, revisión de estado del arte, así como estudios de caso que contribuyen a un análisis comparativo de desarrollos locales y foráneos en relación con la inteligencia artificial (IA) y el sector aeroespacial en Colombia.

En este sentido, para identificar las tendencias y aplicaciones de la IA en el sector ae-

roespacial, se realizó una revisión exhaustiva de la literatura científica entre los años 2010 y 2023. Las principales bases de datos consultadas fueron Scopus, IEEE Xplore y el repositorio del Sistema de Bibliotecas del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) en Colombia, lo cual permitió acceder a una gama de artículos sobre IA aplicada al sector aeroespacial.

El estudio bibliométrico se basó en las correlaciones entre palabras clave relevantes en los campos de inteligencia artificial y tecnologías aeroespaciales, y empleó la herramienta VOS Viewer para identificar patrones en la co-ocurrencia de palabras clave y determinar los clústeres de temas predominantes.

Finalmente, en desarrollo del proyecto se consultaron expertos en IA y tecnologías aeroespaciales de instituciones rectoras del sec-

tor, entidades académicas y centros de investigación, principalmente, con el fin de corroborar la relevancia y aplicabilidad de las tecnologías estudiadas, así como a identificar desafíos y oportunidades para la implementación de IA en el sector aeroespacial colombiano.

3. ESTADO DEL ARTE

Los primeros desarrollos de la inteligencia artificial, como un campo de estudio académico, se sitúa en la década de 1950; en efecto, uno de los momentos clave fue la Conferencia de Dartmouth en 1956, organizada por John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester y Claude Shannon, evento considerado el germen para este campo de actividad como disciplina independiente. Allí, se expresó la creencia de que cualquier característica de la inteligencia

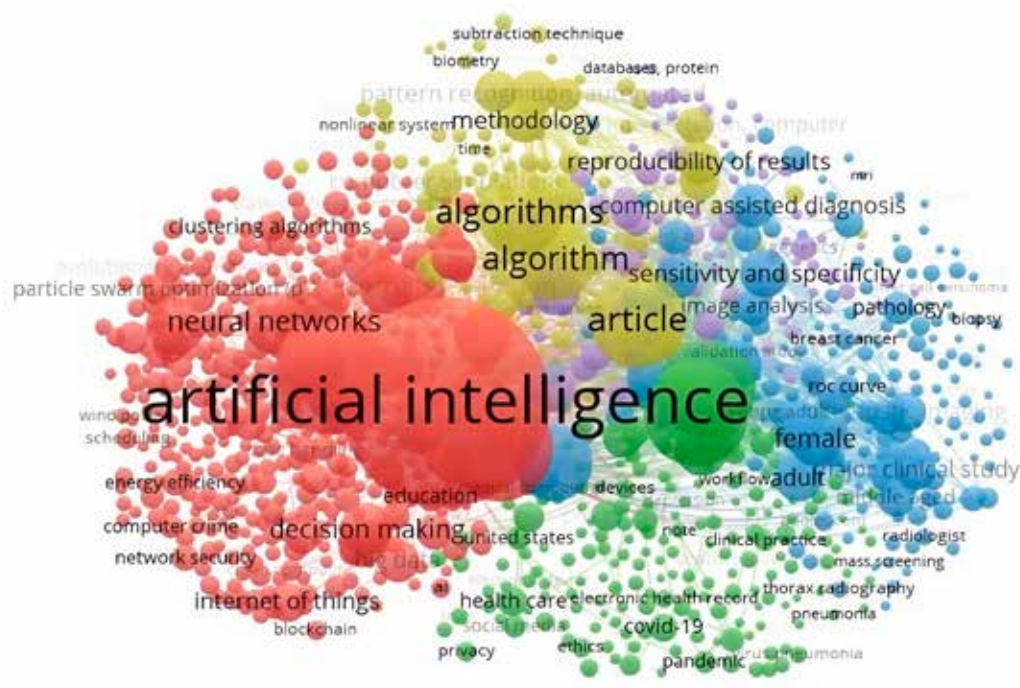


Figura 1. Diagrama de correlación para las temáticas asociadas con inteligencia artificial. Fuente: Elaboración propia

Otro grupo que concentra un importante número de correlaciones se encuentra en cuidado de la salud, diagnósticos y tratamiento de enfermedades, así como coronavirus Covid 19. Finalmente, resalta el clúster asociado con redes neuronales, internet de las cosas, blockchain, seguridad de redes, análisis de datos (big data) y toma de decisiones, entre otros.

Respecto al segundo ejercicio bibliométrico, se asociaron correlaciones entre inteligencia artificial y tecnologías aeroespaciales (Figura 2).

Los principales clústeres observados para estas correlaciones se reseñan en la tabla 1.

Tabla 1. Clústeres identificados, según temáticas correlacionadas

Clústeres	Temática
1	Navegación aérea. Vehículos aéreos no tripulados. Control de aeronaves y tráfico aéreo Antenas.
2	Vuelos espaciales e interplanetarios Exploración aeroespacial Investigación espacial Aprendizaje profundo Redes neuronales
3	Óptica espacial Sensores remotos
4	Electrónica aeroespacial Aprendizaje Optimización
5	Robots inteligentes Programación robótica Planeación de movimiento
6	Satélites Órbitas Aprendizaje profundo

Considerando la amplia producción científica, para realizar un análisis con mayor detalle, frente a las tendencias en las áreas de estudio, se priorizaron las referencias entre 2010 y 2023 que tuvieron un mayor índice de citación. Con base en ello, la temática de mayor interés es la de detección de defectos y diagnóstico de fallas en sistemas aeroespaciales en trabajos como [5], [6], [7], [8] y [9]. En un segundo grupo se encuentran los desarrollos asociados con procesamiento y fabricación de materiales, principalmente documentados en [10] y [11]. En cuanto al monitoreo de las estructuras aeroespaciales, sistemas de comunicación, navegación y control, reúne los aportes de [12], [13], [14], [15], [16] y [17]. Adicionalmente, es de notable importancia señalar las propuestas orientadas a la economía circular y sostenibilidad reseñadas en [18].

En este contexto, es importante señalar que las áreas resaltan la intersección entre la inteligencia artificial y las tecnologías aeroespaciales, subrayando la importancia de la innovación y la investigación en estos campos para mejorar la seguridad, eficiencia y rendimiento de los sistemas aeroespaciales.

Por otra parte, con base en un análisis de los proyectos del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA relacionados con inteligencia artificial y tecnología en 2024, se observa un claro enfoque en la transformación digital del sector agropecuario colombiano. Los desarrollos se centran principalmente en la implementación de sistemas de monitoreo inteligente, visión artificial, Internet de las Cosas (IoT) y automatización de procesos agrícolas. Destacan proyectos como calculadoras de fertilización con IA, sistemas de riego inteligente, monitoreo de cultivos mediante drones y sensores, y aplicaciones móviles para

la detección temprana de enfermedades en cultivos como café, tomate y papa.

Un segundo grupo importante de desarrollos se enfoca en la ganadería y producción animal de precisión, donde se están implementando sistemas automatizados para el monitoreo y control de variables ambientales en granjas avícolas, sistemas acuapónicos y producción apícola. Estos proyectos integran sensores IoT, sistemas de control automatizado y plataformas de análisis de datos en tiempo real, permitiendo una gestión más eficiente de los recursos y mejorando significativamente la productividad. La mayoría de estas soluciones han alcanzado niveles de madurez tecnológica (*Technology Readiness Level TRL*) entre 5 y 7, lo que indica que están en fase de validación o demostración en entornos relevantes.

Las implicaciones de estos desarrollos son significativas para el sector agropecuario colombiano, ya que representan un paso importante hacia la agricultura 4.0. La integración de estas tecnologías está permitiendo a los pequeños y medianos productores acceder a herramientas de precisión que anteriormente solo estaban disponibles para grandes empresas, democratizando así el acceso a la tecnología agrícola. Además, estos proyectos están generando un impacto positivo en la sostenibilidad ambiental, la eficiencia en el uso de recursos y la productividad del sector, mientras contribuyen a la formación de una nueva generación de técnicos y tecnólogos capacitados en el uso y desarrollo de tecnologías agrícolas avanzadas.

4. APLICACIONES DE LA IA EN EL SECTOR AEROESPACIAL

En Colombia, la aplicación de IA en el sector aeroespacial ha comenzado a mostrar un impacto positivo en áreas críticas como el

monitoreo de la Amazonía, la agricultura de precisión y la vigilancia ambiental, con base en técnicas como el uso de drones equipados con sistemas de visión artificial que facilitan la detección de deforestación y actividades ilegales en zonas de difícil acceso, permitiendo la intervención temprana de las autoridades ambientales. Esta tecnología permite captar imágenes en tiempo real y utilizar algoritmos de IA para detectar cambios en el terreno, ofreciendo una herramienta poderosa para la conservación de los recursos naturales del país [19], [20].

Otra aplicación significativa es el uso de satélites en combinación con IA para monitorear la infraestructura vial y evaluar su condición, permitiendo la identificación de daños o el riesgo de derrumbes en áreas rurales y montañosas. Esta tecnología, utilizada por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), facilita el mantenimiento preventivo y mejora la seguridad de las carreteras, especialmente en zonas propensas a deslizamientos de tierra [21], [2].

Además, la IA ha empezado a ser aplicada en la planificación y optimización de rutas de vuelo en el espacio aéreo colombiano. La Aeronáutica Civil ha implementado sistemas de predicción basados en IA que ayudan a gestionar el tráfico aéreo en aeropuertos congestionados, mejorando la eficiencia de las operaciones y reduciendo las demoras en vuelos comerciales [3], [22]. Estas aplicaciones no solo representan un potencial económico significativo para Colombia, sino que también crean oportunidades para posicionar al país como un líder en tecnología aeroespacial en América Latina.

Por otra parte, en cuanto a los desarrollos tecnológicos del SENA, aunque principalmente enfocados en el sector agropecuario, muestran importantes vínculos con el desarrollo aeroes-

CUBESAT

Pequeños satélites con grandes oportunidades para Colombia

Los CubeSats representan una oportunidad única para que Colombia avance en la investigación espacial, la formación tecnológica y la observación ambiental. Podrían monitorear fenómenos climáticos, mejorar las comunicaciones en regiones apartadas y promover la innovación en el sector aeroespacial del país.

Permiten desarrollar misiones en pocos meses, facilitando la participación de países con presupuestos limitados en la exploración espacial.

1

2

3

4

Módulos electrónicos de un CubeSat

- 1 Módulo ACDS
- 2 Transceptor VHF/UHF
- 3 OBC / Computador a bordo
- 4 EPS / Subsistema de alimentación electrónica

Su versatilidad los hace ideales para aplicaciones como observación terrestre, telecomunicaciones e investigación científica.

Un CubeSat es un pequeño satélite de bajo costo, con dimensiones estandarizadas de 10x10x10 cm (1U), que puede expandirse a módulos de mayor tamaño (2U, 3U, etc.).



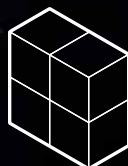
1U



2U



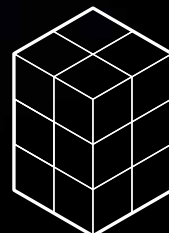
3U



4U



6U



12U

pacial, particularmente en el uso de tecnologías de sensores remotos y sistemas de navegación. El uso de drones equipados con sensores multi-espectrales para el monitoreo de cultivos, como se observa en varios proyectos, representa una aplicación directa de tecnologías originalmente desarrolladas para la observación satelital y la exploración espacial. Estos sistemas están utilizando principios de teledetección y procesamiento de imágenes similares a los empleados en satélites de observación terrestre, adaptados a una escala más local y accesible.

La implementación de sistemas de internet de las cosas (*IoT*) y redes de sensores en los proyectos agrícolas del SENA está estrechamente relacionada con las tecnologías de telemetría y control remoto utilizadas en la industria aeroespacial. Los sistemas de monitoreo en tiempo real, como los implementados en invernaderos inteligentes y sistemas de producción animal, utilizan arquitecturas de comunicación y protocolos similares a los empleados en las misiones espaciales. Además, el desarrollo de gemelos digitales para el monitoreo de cultivos representa una adaptación de tecnologías utilizadas en la industria aeroespacial para simular y monitorear sistemas complejos.

El desarrollo de sistemas autónomos y robots agrícolas en el SENA, como el Robot Agrícola Modular Tele-operado, comparte principios fundamentales con los “*Rover*” y sistemas robóticos utilizados en la exploración espacial. Estos sistemas incorporan tecnologías de navegación autónoma, sistemas de control remoto y capacidades de toma de decisiones que son análogas a las requeridas en vehículos de exploración espacial. La experiencia adquirida en el desarrollo de estos sistemas terrestres puede ser de alto valor para futuros desa-

rollos en robótica espacial y sistemas autónomos para exploración planetaria.

Los avances en el procesamiento de datos y el uso de inteligencia artificial en los proyectos del SENA también tienen aplicaciones potenciales en el sector aeroespacial. Las técnicas de análisis de imágenes y aprendizaje profundo utilizadas para la detección de enfermedades en cultivos pueden adaptarse para el análisis de imágenes satelitales y la detección de fenómenos atmosféricos o geológicos. Además, los sistemas de toma de decisiones basados en IA desarrollados para la agricultura de precisión pueden ser adaptados para su uso en sistemas de control de misiones espaciales y gestión de recursos en estaciones espaciales. Esta convergencia tecnológica está creando un ecosistema de innovación donde las tecnologías desarrolladas para aplicaciones terrestres pueden encontrar nuevos usos en el espacio, y viceversa.

Se observa entonces, que la inteligencia artificial se ha convertido en un componente fundamental en el desarrollo de proyectos aeroespaciales, transformando significativamente la forma en que se diseñan, operan y mantienen los sistemas espaciales. Las aplicaciones de IA abarcan desde el diseño optimizado de componentes espaciales mediante algoritmos generativos y simulaciones avanzadas, hasta el control autónomo de satélites y vehículos espaciales. Los sistemas de IA están permitiendo avances significativos en áreas críticas como la navegación autónoma, la optimización de trayectorias, la predicción de fallos en equipos espaciales y el procesamiento en tiempo real de grandes volúmenes de datos provenientes de sensores y sistemas de telemetría. Esta capacidad de procesamiento y análisis automático es particularmente relevante en misiones espacia-

les donde la comunicación con la Tierra puede tener retrasos significativos o ser intermitente, requiriendo sistemas capaces de tomar decisiones de manera autónoma.

Los desarrollos actuales en *deep learning* y redes neuronales están revolucionando aspectos específicos como el análisis de datos astronómicos, la detección y seguimiento de objetos espaciales, y la planificación de misiones espaciales complejas[23], [7]. Por ejemplo, los algoritmos de IA están siendo utilizados para identificar exoplanetas en grandes conjuntos de datos astronómicos, optimizar el uso de recursos en estaciones espaciales, y predecir condiciones espaciales que podrían afectar a las misiones. Además, la IA está jugando un papel crucial en el desarrollo de sistemas de mantenimiento predictivo para equipos espaciales, la automatización de procesos de ensamblaje y prueba de componentes espaciales, y la optimización de las comunicaciones espaciales. Estos avances, que se complementan con los desarrollos observados en proyectos como los del SENA, están acelerando la exploración espacial y haciendo más eficientes y seguros los proyectos aeroespaciales.

5. DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES PARA COLOMBIA

La implementación de la inteligencia artificial (IA) en el sector aeroespacial en Colombia presenta un panorama diverso de desafíos y oportunidades, especialmente en el contexto de la hoja de ruta nacional para la adopción ética y sostenible de estas tecnologías [24]. A continuación, se analizan algunos aspectos considerados relevantes.

En cuanto a los desafíos, se observan brechas significativas en infraestructura tecnológica, particularmente en regiones rurales donde la

conectividad y el acceso a tecnologías avanzadas son limitados, lo que afecta la capacidad de desplegar aplicaciones como el monitoreo satelital y el uso de drones en zonas remotas. Por su parte, se requiere formar recurso humano que contribuya al crecimiento acelerado del sector. También es urgente contar con un marco normativo en materia de regulación y gobernanza ética, especialmente para las primeras etapas de desarrollo, para fomentar confianza pública y minimizar riesgos asociados. Finalmente, contar con inversión en investigación y desarrollo de proyectos de alto impacto como los sistemas de navegación autónoma y el análisis de datos satelitales.

Respecto a las oportunidades, en cuanto a monitoreo ambiental y seguridad nacional, la IA ofrece herramientas útiles en la protección de ecosistemas críticos, como la Amazonía, análisis de imágenes satelitales y monitoreo de deforestación, que son ya una realidad en el país y pueden potenciarse. En la gestión de tráfico aéreo, la implementación de sistemas inteligentes mejora la eficiencia operacional y posiciona a Colombia como un referente regional en innovación aeroportuaria. Integración en proyectos de desarrollo rural, como el monitoreo de cultivos y la gestión de recursos naturales, generan impactos positivos en la productividad agrícola y en la calidad de vida de las comunidades. En conjunto, se constituye como oportunidad en el país para liderar iniciativas de cooperación que impulsen el desarrollo tecnológico del país.

Por lo anterior, resulta oportuno avanzar en acciones que contribuyan a fortalecer la colaboración público-privada para movilizar recursos y conocimientos. Así mismo establecer políticas públicas robustas, marcos regulatorios claros que promuevan la innovación responsable

y protejan los intereses nacionales. Fomentar la investigación aplicada con proyectos que conecten la academia con las necesidades del sector productivo y la sociedad. Finalmente, promover la alfabetización para capacitar comunidades y fortalecer las competencias en estas tecnologías en los diferentes niveles educativos.

6. CONCLUSIONES

A manera de conclusión, a nivel conceptual se observa como las tecnologías asociadas a la inteligencia artificial y aeroespacial se consideran emergentes por su dinámica de desarrollo científico, por lo que se asume un potencial para el desarrollo de iniciativas y proyectos intra e interinstitucionales que contribuyan a la implementación de políticas públicas de impacto.

REFERENCIAS

- [1] R. Chai, A. Tsourdos, y A. Savvaris, «Review of advanced guidance and control algorithms for space/aerospace vehicles», *Progress in Aerospace Sciences*, vol. 122, 2021.
- [2] R. Molina, «Uso de inteligencia artificial en el monitoreo de infraestructura vial y prevención de desastres en Colombia», *Ingeniería y Sociedad*, vol. 12, n.º 1, pp. 44-58, 2021.
- [3] D. Serrano y G. Martínez, «Inteligencia artificial para la predicción de tráfico aéreo en Colombia», *Revista Aeroespacial Colombiana*, vol. 11, n.º 2, pp. 70-83, 2022.
- [4] McCarthy, «J.; Minsky», *M Rochester N 2006 Propos. Dartm. Summer Res. Proj. Artif. Intell. AI Mag V 27 N 4 P 12-14*.
- [5] E. M.; K. K.D., «(2021)», *Fault Diagn. Progn. Aerosp. Syst. Using Grow. Recurr. Neural Netw. LSTM IEEE Aerosp. Conf. Proc.*.
- [6] E. D.; H. A. E.; D. A.; Y. M.; A. A.; A. S., «(2021)», *Multi-Object. Hybrid Artif. Intell. Approach Fault Diagn. Aerosp. Syst. IEEE Access V 9*.
- [7] W. J.; S. J. A.; I. J. A.; A. I., «(2019)», *Geom. Defect Detect. Thewire Electr. Disch. Mach. Fir-Tree Slots Using Deep Learn. Tech. Appl. Sci. Switz. V 9 N 1*.
- [8] P. M. L.; W. M., «(2020)», *Real World Object Detect. Dataset Quadcopter Unmanned Aer. Veh. Detect. IEEE Access V 8*.
- [9] D. M. D.; S. Z.; J. I.K., «(2021)», *Integr. Mach. Learn. Model Aircr. Compon. Rare Fail. Progn. Log-Based Dataset ISA Trans. V 113*.
- [10] A. P. R.; D. S. R. B.; G. T. M.; F. M. N.; B. E.C., «(2017)», *Estim. High Precis. Hole Diameters Aerosp. Alloys Using Artif. Intell. Syst. Comp. Anal. Differ. Tech. J. Braz. Soc. Mech. Sci. Eng. V 39 N 1*.
- [11] M. N.; B. K.; P. D.; G. P. M.; A. D.; B. J.S., «(2019)», *Mach. Anal. ANFIS Model. Adv. Mach. Hybrid Met. Matrix Compos. Aerosp. Appl. Mater. Manuf. Process. V 34 N 16*.
- [12] H. H.; G. M.; K. M.; H. C. H.; P. H.-H., «(2019)», *Temp. Eff. Electromechanical Response Deposited Piezoelectric Sens. Used Struct. Health Monit. Aerosp. Struct. Sens. Switz. V 19 N 12*.

AGRADECIMIENTOS.

El presente artículo hace parte del desarrollo del proyecto “*Estudio prospectivo sobre el uso, apropiación y desarrollo de conocimiento derivado de tecnologías de vanguardia: ciencias aeroespaciales e inteligencia artificial*”, código SGPS-13226-2024, se agradece el apoyo y dirección de Director Sena Regional Distrito Capital y Subdirectores de Centro Metalmecánico y Centro para la Industria de la Comunicación Gráfica. 🌀

- [13] F. T. ; I. M. ; G. A. ; S. R., «(2021)», *Laser Beam Atmospheric Propag. Model. Aerosp. LIDAR Appl. Atmosphere V 12 N 7*.
- [14] C. Y. ; L. W. ; N. Z. ; F. Z. ; H. Q. ; J. T., «(2020)», *Pervasive Intell. Endog. 6G Wirel. Syst. Prospects Theor. Key Technol. Digit. Commun. Netw. V 6 V 3*.
- [15] H. D., «(2017)», *Platf. Directly Evolves Multirotor Controll. IEEE Trans. Evol. Comput. V 21 N 6*.
- [16] C. C. ; J. Y. ; K. C.A. (2013), «Artificial Intelligence learning based on proportional navigation guidance», *Proc. 2013 Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Inform. ICACCI 2013*.
- [17] E. C. M. ; S. Z. ; J. I.K. (2019), «The application of reasoning to aerospace Integrated Vehicle Health Management (IVHM): Challenges and opportunities», *Prog. Aerosp. Sci. V 105*.
- [18] R. D. V. M. ; J. D. ; de C. F. P. ; R. C. D. A. ; P. P. M.A., «(2022)», *Possibilities Appl. Circ. Econ. Aerosp. Ind. Pract. Oppor. Chall. J. Air Transp. Manag. 102*.
- [19] J. Gomez y M. Herrera, «Aplicación de drones para la vigilancia ambiental en Colombia», *Revista de Tecnología y Ambiente*, vol. 9, n.º 2, pp. 55-67, 2022.
- [20] C. Pardo y L. Rodríguez, «Deforestación y minería ilegal en la Amazonía: el papel de los drones en la protección ambiental», *Revista Colombiana de Ciencia y Tecnología Ambiental*, vol. 15, n.º 3, pp. 112-117, 2023.
- [21] J. C. Agudelo y F. Torres, «Evaluación de infraestructura vial en áreas montañosas con IA y satélites», *Instituto Nacional de Vías - INVIAS, Informe Técnico*, 2023.
- [22] P. González y H. Lopez, «Aplicación de algoritmos predictivos en la gestión del tráfico aéreo colombiano», *Aeronáutica Civil de Colombia, Informe de Innovación*, 2021.
- [23] D. A. ; P. P. P. ; E. V. V. ; R. N. ; H. J. (2020), «Deep learning as an alternative to super-resolution imaging in UAV systems», *Imaging Sens. Unmanned Aircr. Syst. Deploy. Appl.*.
- [24] Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación, *Hoja de ruta para el desarrollo y aplicación de la inteligencia artificial en Colombia*. Bogotá, 2024.