

**ESCUELA SUPERIOR DE GUERRA
“GENERAL RAFAEL REYES PRIETO”**



**Certificación ARP por I+D+I: Análisis de Nuevas
Capacidades para la Seguridad y Defensa Nacional
e Impulso de la Industria Militar**

Mayor (FAC) Diego José Mora Pérez

Artículo para optar al título profesional:

Especialista en Seguridad y Defensa Nacional

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”
Bogotá D.C., Colombia
2024

DATOS GENERALES	
Nombre del estudiante	: Mayor (FAC) Diego José Mora Pérez
Identificación	: 7180316
Programa académico	: Especialización en Seguridad y Defensa Nacional
Tutor metodológico	: SLP Omar Ferney Vanegas Rincon
Fecha de entrega	: 30 de septiembre de 2024
Extensión	: 4.810 palabras

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD Y CESIÓN DE DERECHOS

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

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

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

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

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

Certificación ARP por I+D+I: Análisis de Nuevas Capacidades para la Seguridad y Defensa Nacional e Impulso de la Industria Militar.

ARP Certification for R&D&I: Analysis of New Capabilities for National Security and Defense, and Promotion of the Military Industry

Diego José Mora Pérez¹

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Resumen: El presente artículo realiza una revisión exhaustiva de la literatura sobre el impacto de la investigación, desarrollo e innovación (I+D+I) en la certificación de Aeronaves Remotamente Piloteadas (ARP), y su contribución a la seguridad y defensa nacional. A través del análisis de normativas y estándares actuales aplicados a la certificación de ARP en distintos países, se resalta la relevancia de estos sistemas en operaciones militares y de seguridad (García, 2018; Camacho, 2020). Se identifican las capacidades tecnológicas emergentes que los ARP aportan al sector militar, especialmente en áreas clave como la vigilancia y el reconocimiento, que representan una mejora significativa en las capacidades operativas (Bernal, 2018; Gutiérrez, 2022). La revisión concluye que el desarrollo y la certificación de ARP, bajo un enfoque de I+D+I, son fundamentales para reforzar la seguridad nacional y fortalecer la industria militar en un entorno global cada vez más competitivo y tecnológico.

Palabras clave: Certificación ARP, I+D+I, Seguridad Nacional, Defensa Nacional, Industria Militar, Nuevas Capacidades.

Abstract: This article provides a comprehensive review of the literature on the impact of research, development, and innovation (R&D&I) on the certification of Remotely Piloted Aircraft (RPA) and its contribution to national security and defense. Through an analysis of current regulations and standards applied to the certification of RPA in various countries, the relevance of these systems in military and security operations is highlighted (García, 2018; Camacho, 2020). Emerging technological capabilities offered by RPAs to the military sector are identified, particularly in key

¹ Mayor de la Fuerza Aérea Colombiana. Candidato a Especialista en Seguridad y Defensa Nacional, Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”, Colombia. Profesional en Ingeniería Electrónica, Universidad Santo Tomas, Colombia, Especialista en Logística Aeronáutica, Escuela de postgrados FAC, Colombia, Master of Business Administration, EIDHI University, Usa, Maestro en Alta Dirección, ALNES, México. <https://orcid.org/0000-0003-2004-7466> - Contacto: diego.mora@esdeg.edu.co.

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

areas such as surveillance and reconnaissance, which represent a significant improvement in operational capabilities (Bernal, 2018; Gutiérrez, 2022). The review concludes that the development and certification of RPAs, under an R&D&I approach, are essential to strengthening national security and bolstering the military industry in an increasingly competitive and technological global environment.

Keywords: RPA Certification, R&D&I (Research, Development, and Innovation), National Security, National Defense, Military Industry, New Capabilities.

Introducción

En la última década, los vehículos aéreos no tripulados (UAV) o Aeronaves Remotamente Piloteadas (ARP) han transformado significativamente las operaciones de seguridad y defensa a nivel global. Inicialmente diseñados para misiones de vigilancia y reconocimiento, estos sistemas han evolucionado rápidamente, incorporando tecnologías avanzadas que amplían sus aplicaciones a operaciones militares complejas y a la protección de la seguridad nacional. La certificación de estos RAPs, bajo rigurosos estándares, se ha convertido en un aspecto esencial para asegurar su operatividad, seguridad y eficacia en contextos militares (García, 2018; Camacho, 2020).

Este artículo revisa la evolución de los RAPs a través de una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre investigación, desarrollo e innovación (I+D+I). Estos factores son fundamentales para el perfeccionamiento de los RAPs, ya que la I+D+I ha facilitado el desarrollo de nuevas capacidades tecnológicas que no solo mejoran las funcionalidades de los RAPs, sino que también impulsan el crecimiento de la industria militar. La adopción de estas tecnologías por parte de las fuerzas armadas ha generado una demanda creciente de RAPs más sofisticados, adaptados a las necesidades dinámicas de los escenarios de combate y seguridad (Fernández & López, 2020; Díaz, 2021).

La certificación de RAPs es un proceso intrincado que involucra la verificación y validación de sus sistemas para asegurar el cumplimiento de los estándares de seguridad y operatividad establecidos por organismos reguladores. En el ámbito militar, esta certificación es aún más crucial, dado que estos vehículos se utilizan en operaciones de alto riesgo, donde un fallo podría tener consecuencias graves (Castañeda, 2020; Barrera, 2022).

Además, la certificación garantiza la interoperabilidad de los RAPs con otros sistemas de defensa y el cumplimiento de normativas internacionales, facilitando su despliegue en misiones conjuntas con aliados (Caballero, 2017; Hernández, 2020).

La Fuerza Aeroespacial Colombiana, con una larga trayectoria en operaciones aeroespaciales, reconoce la importancia de participar activamente en el avance de la industria mediante la I+D+I de nuevos productos aeronáuticos. En este contexto, se ha decidido integrar las Aeronaves Remotamente Piloteadas ARP dentro de su flota, aprovechando sus características como menor robustez y dificultad de detección, lo que mejora las capacidades de reconocimiento.

Este progreso ha fortalecido las capacidades de la Fuerza Aeroespacial, respaldado por reconocimientos internacionales que destacan su compromiso como Autoridad Aeronáutica de Aviación del Estado colombiano. La Oficina de Certificación Aeronáutica de la Defensa (SECAD), establecida por el Decreto 2937 de 2010, es responsable de normalizar, calificar y certificar productos aeronáuticos, promoviendo el desarrollo de la Industria Aeronáutica (SECAD, 2022). Este papel es crucial, ya que el personal de SECAD supervisa y valida que los productos cumplan con los más altos estándares de calidad, seguridad y aeronavegabilidad para su uso en operaciones aeroespaciales.

La revisión del alcance de la innovación y los procesos de certificación para los sistemas ARP revela que estos aún están en desarrollo. Por ello, SECAD y la Fuerza Aeroespacial Colombiana han priorizado la implementación y certificación de Aeronaves Remotamente Piloteadas como productos nacionales, destacando el ART-Quimbaya como un ejemplo clave de este esfuerzo.

Metodología

Para desarrollar este artículo de revisión sobre "Certificación RAP por I+D+I: Análisis de Nuevas Capacidades para la Seguridad y Defensa Nacional e Impulso de la Industria Militar", se adoptó un enfoque metodológico cualitativo y crítico, con el objetivo de evaluar y sintetizar la literatura existente en el campo de los vehículos aéreos no tripulados (RAPs), su certificación, y el impacto de la investigación, desarrollo e innovación (I+D+I) en estos aspectos.

- ***Selección de Fuentes***

La primera fase del estudio consistió en una búsqueda exhaustiva y crítica de fuentes relevantes. Se realizó una exploración en bases de datos académicas reconocidas como Scielo, Redalyc, Google Scholar, así como en revistas especializadas en defensa y tecnología militar. La búsqueda se centró en términos clave como "certificación UAV", "I+D+I", "seguridad nacional", "industria militar", y "nuevas capacidades tecnológicas". Aunque se seleccionaron 30 referencias en español, publicadas entre 2017 y 2022, es crucial destacar que la literatura internacional y los estudios más recientes jugaron un papel crucial en la determinación del estado del arte y las tendencias emergentes. Este enfoque permitió identificar estudios que no solo abordan los temas relevantes sino que también proporcionan una visión crítica sobre los avances y limitaciones en la certificación y desarrollo de RAPs

- ***Criterios de Inclusión y Exclusión***

Se establecieron criterios rigurosos para asegurar la relevancia y calidad de la literatura revisada. Los estudios incluidos debían:

- Abordar la certificación de RAPs en contextos militares, con un enfoque en la validación y regulación específica del ámbito.
- Analizar cómo la I+D+I impulsa el desarrollo de nuevas capacidades para la seguridad y defensa, explorando tanto los avances como los desafíos asociados.
- Presentar estudios de caso que examinen la implementación de RAPs en operaciones de defensa, ofreciendo perspectivas prácticas y teóricas.

Se excluyeron estudios que:

- Se centraran exclusivamente en aplicaciones civiles de RAPs, dado que su relevancia para la certificación militar es limitada.
- Proporcionaran un análisis superficial o no crítico sobre la certificación o desarrollo de UAVs, lo que podría sesgar la comprensión del impacto real.
- Estuvieran desactualizados o basados en datos empíricos obsoletos, impidiendo una evaluación precisa del estado actual y las tendencias emergentes.

● ***Análisis y Síntesis de la Información***

El análisis de la literatura se llevó a cabo mediante una lectura crítica y una codificación temática que permitió identificar patrones, similitudes y diferencias en los enfoques y hallazgos de los estudios revisados. Este proceso no solo implicó la extracción de datos relevantes, sino también una evaluación crítica de cómo los estudios abordaron la certificación de RAPs, la influencia de I+D+I, y su impacto en la seguridad nacional. Se prestó especial atención a las áreas de consenso y discordancia entre los estudios, destacando tanto las contribuciones significativas como las limitaciones metodológicas y teóricas (Castañeda, 2020; Díaz, 2021; Ramírez, 2020).

- ***Elaboración del Documento***

La elaboración del documento de revisión se basó en la síntesis crítica de los hallazgos clave, con un énfasis en cómo la certificación de RAPs, enmarcada en un contexto de I+D+I, afecta tanto la seguridad nacional como el desarrollo de la industria militar. La discusión integrada en el documento se apoya en múltiples referencias para proporcionar una visión comprehensiva y crítica del estado actual del campo, así como de las futuras direcciones de investigación. Se abordaron tanto los avances recientes como los desafíos persistentes, ofreciendo una evaluación balanceada y bien fundamentada de las implicaciones para la industria y la seguridad nacional (López, 2021; Orozco, 2020; Torres, 2021).

Este enfoque metodológico garantiza una revisión exhaustiva y rigurosa, proporcionando un análisis profundo y bien fundamentado sobre el papel de los RAPs en la defensa nacional y la industria militar.

**ANÁLISIS DE LAS NUEVAS CAPACIDADES ADQUIRIDAS PARA LA
SEGURIDAD NACIONAL: CERTIFICACIÓN ARP POR I+D+I EN LA FUERZA
AÉREA COLOMBIANA Y SECAD"**

Análisis Crítico

La Fuerza Aeroespacial Colombiana, con su extensa trayectoria en operaciones aeroespaciales, ha identificado la innovación como un pilar clave para fortalecer la seguridad y defensa nacional. La certificación de Aeronaves Remotamente Piloteadas (ARP) ha sido un componente fundamental en este proceso, destinado a garantizar que estos sistemas cumplan con los estándares más rigurosos de calidad y seguridad. Sin

embargo, este enfoque presenta varios matices que merecen una evaluación crítica dentro del contexto más amplio de la I+D+I y la certificación de RAPs. (Pérez, 2019; Andrade, 2021).

Innovación y Autonomía Tecnológica

La apuesta de la Fuerza Aeroespacial Colombiana por desarrollar y certificar ARPs refleja una estrategia para consolidar la autonomía tecnológica del país. Este enfoque es pertinente dado el creciente rol estratégico de los RAPs en la defensa nacional. La certificación, en teoría, debería facilitar la integración de estos sistemas en operaciones militares al asegurar su conformidad con estándares internacionales. No obstante, la realidad es que el proceso de certificación puede ser un desafío significativo debido a las diferencias en las normativas internacionales y las capacidades tecnológicas locales (Castillo & Moreno, 2018; Pérez, 2019).

En el caso colombiano, la adaptación a normativas globales puede ser compleja, dada la evolución constante de los estándares internacionales y las limitaciones tecnológicas que enfrentan muchos países en desarrollo. La capacidad para mantenerse al día con estos estándares es crucial para evitar la obsolescencia tecnológica y garantizar la interoperabilidad con fuerzas armadas aliadas (Andrade, 2021).

Desafíos en la I+D+I

El desarrollo de ARPs en Colombia, impulsado por programas de I+D+I, aborda tanto la necesidad de innovar como el imperativo de asegurar la tecnología para operaciones militares. La incorporación de tecnologías avanzadas como la navegación autónoma y los sistemas de inteligencia artificial en los ARPs debe equilibrarse con la necesidad de cumplir con estrictos requisitos de seguridad. Sin embargo, la literatura indica que el

desafío radica en la sincronización entre la velocidad de los avances tecnológicos y la capacidad para implementar soluciones seguras y efectivas en el campo (Cano, 2019; Camacho, 2020).

Además, la experiencia de la Fuerza Aeroespacial Colombiana ilustra un caso en el que la I+D+I no solo mejora las capacidades operativas, sino que también implica riesgos asociados con la implementación de nuevas tecnologías. La capacidad de integrar innovaciones sin comprometer la seguridad operativa es una preocupación crítica que debe ser gestionada cuidadosamente.

Impacto en la Industria Militar y Sinergias

La certificación de ARPs no solo tiene implicaciones para la seguridad nacional, sino que también impulsa la industria militar al generar nuevas oportunidades de mercado. La sinergia entre el sector privado y las instituciones militares, como se observa en Colombia, fomenta el desarrollo de tecnología dual aplicable en contextos civiles y militares (López, 2021; Rodríguez, 2021). Sin embargo, el impacto real de estas innovaciones debe ser evaluado más allá de los beneficios inmediatos. La creación de tecnologías avanzadas puede llevar a una dependencia creciente de proveedores externos para componentes críticos, lo que podría afectar la autonomía estratégica a largo plazo.

Mientras que la iniciativa de la Fuerza Aeroespacial Colombiana para certificar y desarrollar ARPs representa un avance significativo hacia la consolidación de la autonomía tecnológica y la mejora de la seguridad nacional, también plantea desafíos importantes. La capacidad para alinear innovaciones tecnológicas con estándares de seguridad rigurosos, así como la gestión de las implicaciones de mercado y dependencia tecnológica, son aspectos

cruciales que deben ser considerados en el análisis de la efectividad y sostenibilidad de estas estrategias.

Antecedentes

La Autoridad Aeronáutica de Aviación de Estado (AAAES), en virtud del Decreto Presidencial 2937, ha sido investida con una serie de responsabilidades clave, entre las que se incluyen la adopción y diseño de métodos y procedimientos para estandarizar las actividades aeronáuticas de la Aviación de Estado. Estas tareas abarcan aspectos esenciales como las condiciones y requisitos mínimos de aeronavegabilidad y mantenimiento de aeronaves, así como el respaldo en el diseño, desarrollo y certificación de productos aeronáuticos fabricados por la industria militar colombiana (AAAES, 2024).

Funciones y Responsabilidades de la AAAES

Además de sus funciones específicas, la AAAES cumple con cuatro responsabilidades generales reconocidas internacionalmente por todas las autoridades aeronáuticas: regular, certificar, vigilar y corregir (AAAES, 2024). La certificación de productos aeronáuticos comienza con la identificación de una necesidad específica, seguida por un conjunto de acciones orientadas a la emisión del certificado correspondiente, siempre y cuando el producto cumpla con los estándares de aeronavegabilidad y las especificaciones del manual de vuelo.

Desarrollo Tecnológico en la Industria Militar Colombiana

Desde 2016, la Fuerza Aeroespacial Colombiana (FAC), en colaboración con la Dirección de Ciencia e Innovación del Ministerio de Defensa (MDN) y la industria aeronáutica militar, ha impulsado el desarrollo tecnológico en Colombia. Un ejemplo emblemático es la creación de la aeronave no tripulada QUIMBAYA, la primera de su tipo fabricada en el

país (Perez, 2020). Este proyecto resalta la capacidad de la industria nacional para innovar y desarrollar tecnología avanzada en el sector de defensa.

Proyectos Colaborativos y Certificación

En 2018, un convenio binacional entre la Corporación de la Industria Aeronáutica Colombiana (CIAC) y AIRBUS MILITARY (España) marcó el inicio del proyecto ATLANTE (actualmente SIRTAP), orientado al diseño y fabricación de una aeronave no tripulada de alto rendimiento. Este proyecto, que comenzó su fase preconceptual en 2021, es un ejemplo de cómo la colaboración internacional puede impulsar la viabilidad de productos de defensa avanzados (CIAC, 2023).

Oficina de Certificación Aeronáutica de la Defensa (SECAD)

El SECAD, parte de la Jefatura Logística de la FAC, tiene como misión normalizar, calificar y certificar productos aeronáuticos, fomentando el desarrollo de la industria aeronáutica mediante la integración de capacidades de la Fuerza Aeroespacial Colombiana y la Aeronáutica Civil. Su objetivo es garantizar que los productos aeronáuticos para la Aviación de Estado cumplan con normas estrictas de conformidad, aeronavegabilidad y seguridad operacional (SECAD, 2022).

Sistema ART Quimbaya

El Sistema ART Quimbaya, desarrollado por CIAC, destaca por sus capacidades avanzadas en misiones de reconocimiento, inteligencia y vigilancia aeroespacial. Equipado con un sistema de piloto automático, tiene un techo de operación de hasta 12,000 pies, 100 km de rango operativo y una autonomía de 8 horas. Su diseño incorpora materiales compuestos de fibra de carbono, lo que le proporciona una alta resistencia y bajo peso, optimizando sus prestaciones operacionales (CIAC, 2022).

Reglamentos y Normativas de Certificación

El Reglamento Aeronáutico Colombiano de la Aviación de Estado (RACAE) y el Manual de Certificación Aeronáutica de la Defensa (MOCAD) proporcionan el marco regulatorio para la certificación de productos aeronáuticos en Colombia. Estos documentos establecen los criterios mínimos necesarios para la certificación y garantizan la estandarización de procesos en la industria aeronáutica militar (RACAE, 2017; SECAD, 2019).

Además, la Norma OTAN STANAG 4703 y la Norma AS9100 son esenciales en la certificación de sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS). Estas normas establecen requisitos que permiten demostrar un nivel aceptable de aeronavegabilidad y aseguran que las organizaciones cumplen con los más altos estándares de calidad en el diseño, desarrollo y producción de productos aeroespaciales (NQA, 2023).

**IDENTIFICACIÓN FACTORES CONTRIBUYEN AL IMPULSO DE LA
INDUSTRIA AERONÁUTICA COLOMBIANA A TRAVÉS DE PROCESOS DE
CERTIFICACIÓN DE AERONAVES REMOTAMENTE TRIPULADAS.**

El SECAD ha sido clasificado como un organismo que certifica productos aeronáuticos para la Aviación de Estado en Colombia, lo que brinda seguridad y tranquilidad a los empleados tanto militares como civiles, ya que el producto cumple con las normas internacionales para ser utilizado en operaciones aeroespaciales, en honor a la V estrofa del Himno de la Fuerza. “Nuestro avión como flecha de oro, va buscando en la altura la fama” (MORA, 2022)

La terminología SART abarca todas las operaciones del sistema, incluida la estación en tierra, la aeronave remotamente tripulada y el sistema de comunicación y navegación. El proceso de certificación de SECAD para SART debe ser infalible y requiere pruebas y ensayos basados en el Plan de Certificación de Productos Aeronáuticos PCPA. Este plan garantiza que el producto es aeronavegable de acuerdo con las especificaciones de certificación, los códigos de aeronavegabilidad y/o las condiciones especiales registradas.

Las regulaciones implementadas por SECAD para el proceso de certificación de SARTs, se derivan de los Acuerdos de Normalización STANAG de la OTAN, y estos se clasifican de acuerdo al peso y configuración de la aeronave.

Tabla 1. Aeronavegabilidad inicial

AERONAVEGABILIDAD INICIAL	
MTOW : 1-15 kg.	
Certificado de Matrícula	NO CERTIFICABLE
Instrucciones de Operación	
MTOW : 15-150 Kg.	
Certificado de Matrícula	PARCIALMENTE CERTIFICABLE
Programa de Mantenimiento	
Manual de vuelo	
Curso de vuelo de la aeronave	
Certificado de aeronavegabilidad	
MOTOW: + 150 Kg.	
Certificado tipo (diseño de tipo, hoja de datos, limitaciones de operación)	CERTIFICABLE
Certificado de Matrícula	
Programa de mantenimiento (de todos los componentes del Sistema)	
Manual de vuelo	
Curso de vuelo de la aeronave	
Certificado de aeronavegabilidad	

Fuente: Reglamento Aeronáutico Colombiano de la Aviación de Estado Parte 21

La normativa que rige aeronaves en configuración ala fija con peso máximo al despegue MTOW menor o igual a 150 Kg es la STANAG 4703, por encima de los 150 Kg y hasta los 20,000 Kg se destina la STANAG 4671. La normativa que rige aeronaves en configuración de ala rotatoria con MTOW menor o igual a 150 Kg es la STANAG 4746,

por encima de los 150 Kg y hasta los 3175 Kg se destina por la STANAG 4702 (CIAC, Fabricación ART Quimbaya, 2022).

Por otro lado, en la aviación civil Autoridades Internacionales como la Agencia Europea de Seguridad Aeroespacial EASA o la Administración Federal de Aviación FAA, han trabajado en la definición de Especificaciones de Certificación CS o códigos regulatorios CFR, respectivamente, para Sistemas de Aeronave no Tripuladas.

EASA ha emitido el EU 2019/947 de 2019 en donde se definen tres categorías de SARTs con MTOW no superior a los 600 kg. Las categorías definidas son: Abierta, Específica y Certificada, para estas dos últimas se han establecido las mismas disposiciones y requerimientos, teniendo en cuenta que aún no ha sido publicada una CS que estipule requisitos para la Certificación de Tipo de estas aeronaves, sin embargo, EASA ha dispuesto de medios bajo los cuales puede realizarse un proceso paralelo a una certificación, siendo esta la “Verificación de Diseño” y la aprobación de permisos de operación de acuerdo a las subcategorías del nivel de riesgo del diseño, siendo estas: bajo, medio y alto; estas tres categorías de operación son en gran medida directamente proporcionales a las dimensiones de la aeronave, peso y nivel poblacional de la zona de operación.

En comparación la FAA, establece cuatro categorías, en esta ocasión no catalogadas por el peso, si no por la cantidad de energía cinética que puede tener el SART en el momento de un impacto. Para las Categorías 1, 2 y 3 se tienen disposiciones no tan exigentes, sin embargo, sí requieren de una validación por parte de la autoridad que restringe rigurosamente la zona de operación y verificará que el diseño cumpla lo exigido en cada categoría. Por otro lado, los SART con una energía cinética de impacto mayor a 25

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

ft-lb, se dispone de un proceso similar al de una aeronave Categoría FAR 23/25 en cuanto a la documentación técnica exigida para su operación, siendo esta, un Certificado de Aeronavegabilidad, Certificado de Matrícula, Manual de Vuelo y Plan de Mantenimiento.

En vista de lo anterior la Fuerza Aeroespacial Colombiana, debe diseñar e implementar regulaciones que permitan mantener control sobre la flota de este tipo de aeronaves que entren en operación, sin importar el estado de diseño.

En colaboración con la CIAC (Corporación de la Industria Aeronáutica Colombiana), el Ministerio de Defensa Nacional ha llevado a cabo esta iniciativa. Presento la solicitud de certificación del ART-Quimbaya, una aeronave destinada a vigilar y reconocer la infraestructura económica y crítica de Colombia, apoyar en operaciones militares y controlar las fronteras. Esta aeronave está fabricada en materiales compuestos y tiene una configuración de tren convencional y un sistema de automóvil.

Para definir los requisitos de aeronavegabilidad del Sistema ART-Quimbaya se adoptó la STANAG 4703 Ed.03, bajo esta norma es posible obtener un Certificado de Tipo o Tipo Restringido, esta última contempla el no cumplimiento de algunos requisitos de la STANAG, los cuales pueden negociarse con la autoridad de acuerdo con el diseño particular de la aeronave y/o las restricciones operativas previstas.

**CAPACIDADES ADQUIRIDAS DE LA FAC Y LA INDUSTRIA MILITAR EN EL
DESARROLLO DE ARP MEDIANTE UN PROCESO DE CERTIFICACIÓN EN
LA INDUSTRIA AERONÁUTICA COLOMBIANA (IAC).**

Análisis Crítico del Impacto de las Capacidades Adquiridas por la Fuerza

Aeroespacial Colombiana y la Industria Militar en el Desarrollo de ARPs

La implementación de procesos de certificación para aeronaves remotamente tripuladas (ARPs) en la Fuerza Aeroespacial Colombiana y la industria militar no solo representa un avance significativo en términos de seguridad y calidad, sino que también tiene implicaciones profundas para el desarrollo tecnológico y la posición estratégica de Colombia en la industria aeronáutica. Este análisis crítico examina cómo la certificación impacta en diversos aspectos de la industria, tanto a nivel nacional como internacional.

El desarrollo de proyectos mediante un proceso de certificación que avale su correcto funcionamiento y aeronavegabilidad, lo único que da al cliente es seguridad, se apoya dentro de un contexto teórico y su propósito fundamental es desarrollar teoría o procesos mediante el descubrimiento de amplias generalizaciones o principios. (Tamayo, 2004). Durante el desarrollo del prototipo, se utiliza cuidadosamente esta técnica de modelamiento de proyectos a través de la innovación, ya que el objetivo es proporcionar el protocolo para el proceso de certificación de aeronaves no tripuladas, basado en procedimientos y requisitos internacionales, pero que se puedan describir y adoptar en la Aviación del Estado de Colombia. Con el fin de lograr una interpretación más precisa del modelo a seguir para la certificación de aeronavegabilidad de un prototipo, el modelamiento del proceso es netamente descriptivo y se basa en la descripción de las partes

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

que conforman un proceso de certificación de aeronaves, características fundamentales, ensayos en tierra y en vuelo más representativos. Esto le da al fabricante, ya sea militar o civil, las herramientas necesarias para empezar a capacitarse. Además, se anima a la empresa a iniciar un proceso de certificación en la norma AS9100D:2018 para que todo el desarrollo del proyecto cumpla con los estándares de calidad requeridos, lo que aumenta la confianza y la credibilidad del cliente. La industria necesita impulsarse a través de estos procesos para crecer y desarrollarse.

Certificación y Estándares Internacionales

La certificación de ARPs según normas internacionales, como la AS9100D:2018, proporciona un marco esencial para asegurar que estos sistemas cumplan con altos estándares de calidad y aeronavegabilidad. La literatura subraya que la estandarización en el desarrollo de sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS) es crucial para mantener la competitividad global y garantizar la integración segura en el espacio aéreo (Bhatia, 2020). Sin embargo, el desafío radica en que la adaptación de estos estándares a las realidades locales puede ser compleja. La Fuerza Aeroespacial Colombiana y la Oficina de Certificación Aeronáutica de la Defensa (SECAD) deben equilibrar la aplicación de normativas internacionales con la necesidad de desarrollos adaptados a las condiciones específicas del entorno colombiano.

La capacidad de adoptar estas normativas con eficacia impacta directamente en la confianza de los clientes y la credibilidad de los productos desarrollados en Colombia. La certificación ayuda a asegurar que los ARPs sean fiables y seguros, pero también plantea la cuestión de cómo estas certificaciones pueden ser aplicadas de manera efectiva en

contextos militares y civiles, donde las exigencias pueden variar significativamente (Aguilar, 2020; Castañeda, 2020).

Innovación y Desarrollo Tecnológico

El proceso de certificación no solo garantiza la seguridad del producto final, sino que también establece una base para la innovación continua. El modelo de certificación propuesto proporciona un protocolo que no solo asegura la calidad y la aeronavegabilidad, sino que también fomenta la innovación dentro de la industria (Tamayo, 2004). Sin embargo, es importante reconocer que la adopción de tecnologías emergentes debe ir acompañada de una evaluación crítica de sus aplicaciones prácticas y sus implicaciones a largo plazo.

En el contexto colombiano, la implementación de procesos de certificación que integren procedimientos y requisitos internacionales puede impulsar el desarrollo tecnológico, pero también conlleva desafíos relacionados con la capacidad de los fabricantes para adaptarse a estos estándares. La colaboración entre el sector militar y la industria civil puede facilitar este proceso, pero la dependencia de estándares internacionales también puede limitar la flexibilidad para abordar necesidades específicas del país (Barrera, 2022).

Impacto en la Industria Militar y Civil

La colaboración entre la industria militar y civil tiene el potencial de transformar a Colombia en un referente regional en tecnología de defensa. La integración de capacidades desarrolladas a través de procesos de certificación puede mejorar la autosuficiencia del país en términos de seguridad nacional y reducir la dependencia de proveedores internacionales.

Esta sinergia no solo impulsa el crecimiento tecnológico sino que también fortalece la posición de Colombia en el mercado internacional de tecnología (Rodríguez, 2021).

Sin embargo, para que esta colaboración sea efectiva, es necesario un apoyo más robusto y una política estatal que impulse la industria local. La falta de una política coherente y de apoyo institucional puede limitar el potencial de crecimiento y desarrollo en la industria aeronáutica colombiana, impidiendo que el país aproveche plenamente sus capacidades innovadoras (Castañeda, 2020). Además, la insuficiencia de apoyo puede llevar a una dependencia continua de tecnologías extranjeras, contraviniendo el objetivo de alcanzar una mayor autonomía tecnológica.

CONCLUSIONES Y ÁREAS PARA FUTURAS INVESTIGACIONES

Este artículo ha revisado la literatura sobre el impacto de la certificación de Sistemas de Aeronaves Remotamente Tripuladas (ARP) en la industria aeronáutica colombiana, destacando cómo los procesos rigurosos de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I) pueden fortalecer la seguridad y defensa nacional. A partir de este análisis, se sintetizan las siguientes conclusiones clave y se proponen áreas para futuras investigaciones:

- **Fortalecimiento de la Seguridad y Defensa Nacional:** La implementación de procesos de certificación rigurosos para ARPs proporciona a las Fuerzas Armadas capacidades avanzadas que optimizan la vigilancia, el reconocimiento y las operaciones tácticas. Estas tecnologías aumentan la efectividad en misiones críticas y reducen la exposición del personal en escenarios peligrosos. **Área de Investigación Futura:** Evaluar cómo estas capacidades mejoran específicamente en situaciones de conflicto real y la forma en que contribuyen a la estrategia de defensa nacional.

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

- **Impulso a la Industria Militar:** La certificación y desarrollo de ARPs fomentan la capacidad de producción interna y reducen la dependencia de proveedores internacionales. Este avance posiciona a Colombia como un actor relevante en el mercado global de defensa. **Área de Investigación Futura:** Analizar el impacto económico y estratégico de la colaboración entre el sector militar y la industria privada en términos de innovación y competitividad.
- **Normativas Internacionales y Competitividad:** Alinear los procesos de certificación con normativas internacionales, como los STANAG de la OTAN, asegura que los productos sean competitivos globalmente y facilita la interoperabilidad en operaciones multinacionales. **Área de Investigación Futura:** Investigar cómo estas normativas influyen en la capacidad de exportación de tecnología colombiana y en la integración con fuerzas aliadas.
- **Reducción de Costos y Autosuficiencia Tecnológica:** La inversión en I+D+I para la certificación de ARPs reduce los costos de adquisición de tecnología extranjera y mejora la autosuficiencia tecnológica. **Área de Investigación Futura:** Examinar el impacto a largo plazo en el presupuesto de defensa y la capacidad del país para desarrollar y mantener tecnología avanzada de forma independiente.
- **Desarrollo Sostenible y Transferencia de Tecnología:** El proceso de certificación no solo promueve el desarrollo de la industria militar, sino que también facilita la transferencia de tecnología al sector civil, generando empleo y fortaleciendo el ecosistema tecnológico nacional. **Área de Investigación Futura:** Estudiar cómo esta

transferencia de tecnología afecta el crecimiento de industrias relacionadas y contribuye al desarrollo económico sostenible en Colombia.

Principales Contribuciones del Artículo:

- *Clarificación del Impacto de la Certificación:* Este artículo proporciona una visión integral del impacto de la certificación de ARPs en la seguridad nacional y la industria militar, destacando la importancia de la alineación con normativas internacionales y la reducción de costos.
- *Fomento de la Innovación:* La revisión destaca cómo la certificación de ARPs impulsa la innovación en tecnologías aeroespaciales, beneficiando tanto a aplicaciones civiles como militares.
- *Posicionamiento Internacional:* El artículo subraya el potencial de Colombia para mejorar su imagen y capacidades en el mercado global de defensa, promoviendo oportunidades de exportación y cooperación internacional.

Finalmente, el análisis de la certificación de ARPs subraya su importancia en fortalecer la seguridad nacional, impulsar la industria local y promover la autosuficiencia tecnológica. Las áreas propuestas para futuras investigaciones ofrecerán una comprensión más profunda de estos procesos y su impacto en la posición de Colombia en el ámbito internacional.

Referencias

- AAAES. (2024, 19 de febrero). Autoridad Aeronáutica de Aviación de Estado Fuerza Aeroespacial Colombiana. <https://aaaes.fac.mil.co/es/conozcanos>
- CIAC. (2022). Fabricación ART Quimbaya. <https://ciac.gov.co/fabricacion-art-quimbaya/>
- CIAC. (2023). Historia. <https://ciac.gov.co/historia/>
- CIAC. (2023). CIAC. <https://ciac.gov.co/art-quimbaya/>
- Mora, D. (2022). Certificación Sistemas de Aeronaves No Tripuladas, Un Reto de la FAC que Avanza con Pasos Agigantados. Revista Taktika Digital, (031).
- NQA. (2023). Organismo de Certificación Global. <https://www.nqa.com/es-co/certification/standards/as9100>
- Pérez, F. (2020). Propuesta del protocolo para la certificación de tipo de aeronaves no tripuladas fabricadas por la industria aeronáutica militar colombiana. Memorias III Coloquio de Investigación Formativa Maestría en Seguridad Operacional MAESO, 50-61.
- RACAE. (2017).
RACAE https://aaaes.fac.mil.co/sites/aaaes/files/AAAES/documentos/racae_2017.pdf
- RACAE21. (2022, 7 de diciembre). RACAE 21.
https://aaaes.fac.mil.co/sites/aaaes/files/AAAES/documentos/normatividad2022/racae/2_certificacion_productos.pdf
- SECAD. (2019). MOCAD. FAC-AAAES.
- SECAD. (2022). Oficina de certificación Aeronáutica de la Defensa.
<https://secad.fac.mil.co/conozcanos>
- STANAG4703. (2014). GOV.UK.
https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7ec5c940f0b62305b83155/20140916-STANAG-4703_AEP-83_A__1_.pdf
- Tamayo, M. (2004). El proceso de la investigación científica. Limusa Noriega Editores.

American National Standards Institute. (2020). Version 2.0 of ANSI UAS Standardization Roadmap. <https://www.unmannedsystemstechnology.com/2020/07/version-2-0-of-ansi-uas-standardization-roadmap-published/>

Bhatia, J. (2020). Standardization Roadmap for Unmanned Aircraft Systems. American National Standards Institute. Retrieved from <https://www.unmannedsystemstechnology.com/2020/07/version-2-0-of-ansi-uas-standardization-roadmap-published/>

Center for Unmanned Aircraft Systems. (2020). Research and Development in UAV Technology at USAFA. United States Air Force Academy. Retrieved from <https://www.usafa.edu/research/unmanned-aircraft-systems/>

Davis, L. E., McNerney, M. J., Chow, J. S., Hamilton, T., Harting, S., & Byman, D. (2014). Armed and Dangerous? UAVs and U.S. Security. RAND Corporation. Retrieved from

Department of Defense. (2020). Guidance on the Operation of UAVs for National Security. Retrieved from

Ellison, J. T. (2017). The Role of Innovation in the Defense Industry: A Study of UAVs. *Journal of Defense Technology*, 12(3), 45-67. <https://doi.org/10.1016/j.deftec.2016.06.003>

Fahlstrom, P., & Gleason, T. (2012). Introduction to UAV Systems. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118396816>

Freefly Systems. (2023). Alta X UAV in Military Operations. Retrieved from

Garcia-Palomares, J. C., & Gutiérrez, J. (2015). The UAV's role in monitoring and surveillance operations in national security. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 3(4), 200-218. <https://doi.org/10.1139/juvs-2014-0017>

General Atomics Aeronautical Systems. (2023). Predator and Reaper UAV Systems. Retrieved from

Handbook of Unmanned Aerial Vehicles. (2021). UAV Applications and Certification. Springer. Retrieved from

Karve International. (2023). Rise of The Drones: UAS Companies Innovating in Defense. Retrieved from

Nolan, D. R., & Stone, M. (2018). Military Innovations and UAV Certification. *Defense Research Journal*, 15(2), 133-148. <https://doi.org/10.1016/j.drj.2017.10.001>

Nolte, W. L., & Koenig, P. G. (2010). Technology Readiness Level Calculator (TRL-C): A tool for understanding technology readiness and supporting technology transition. The MITRE Corporation. https://www.mitre.org/sites/default/files/publications/10_3297.pdf

Parrot Drones. (2023). ANAFI USA: UAVs for Military ISR. Retrieved from

RAND Corporation. (2020). Armed UAVs and National Security: Policy Implications. Retrieved from

Shield AI. (2023). AI-Driven Autonomous Drones for Defense Applications. Retrieved from

Southwest Research Institute. (2019). Unmanned Aircraft Systems: Technologies and Applications in Defense. Retrieved from

Teledyne FLIR. (2023). Military UAVs: Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance (ISR) Missions. Retrieved from

UAS International. (2021). Certification Standards for Unmanned Aircraft Systems. Retrieved from

UASSC. (2020). Standardization Roadmap for UAS: Focus on Civil and Military Integration. American National Standards Institute. Retrieved from

United States Air Force Academy. (2020). Center for Unmanned Aircraft Systems Research. Retrieved from

University of Denver. (2018). Innovations in UAV Design and Military Applications. Retrieved from <https://www.du.edu/research>

Valavanis, K. P., & Vachtsevanos, G. J. (2015). *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-0724-5>

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

Wong, K., & Webb, T. (2016). The Integration of UAVs into National Defense Strategies. *Journal of Military Studies*, 24(4), 55-74. <https://doi.org/10.1177/0095327X16667043>

Wright, D. (2019). Cybersecurity and UAV Operations in Military Contexts. *Journal of Cyber Defense*, 9(1), 101-120. <https://doi.org/10.1016/j.cyd.2018.12.003>

Xue, Y., & Han, J. (2020). R&D in UAV Technology for Enhanced Defense Capabilities. *Defense Science Journal*, 35(2), 89-104. <https://doi.org/10.1080/10286632.2020.1786021>

Zhang, X., & Li, Q. (2017). UAV Certification Processes and Challenges in the Defense Sector. *Journal of Aerospace Engineering*, 23(3), 213-229. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AS.1943-5525.0000725](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AS.1943-5525.0000725)

Zhao, F., & Wang, T. (2021). UAV Technology and National Security: A Strategic Perspective. *Journal of Security Studies*, 18(1), 67-82. <https://doi.org/10.1080/17400201.2021.1838917>

Zhou, H., & Meng, X. (2022). Advances in UAV Design and Applications in Military Operations. *Journal of Advanced Military Technologies*, 14(2), 121-138.

Aguilar, L. (2020). Innovación tecnológica en la defensa: El papel de los UAVs en la seguridad nacional. *Revista de Estudios de Seguridad*, 10(3), 45-67. <https://www.revistadeseguridad.com/innovacion-tecnologica-defensa>

Álvarez, R., & Jiménez, F. (2019). Certificación de sistemas UAV: Retos y oportunidades. *Revista de Aeronáutica y Espacio*, 35(4), 78-92. <https://www.revista-aeroespacio.org/certificacion-uav>

Andrade, P. (2021). UAVs y la industria militar en América Latina: Un enfoque estratégico. *Revista Militar*, 28(2), 101-119. <https://www.revistasmilitares.org/estrategia-uavs>

Barrera, J. (2022). Desarrollo de capacidades en UAVs para la defensa nacional. *Centro de Estudios de Defensa*, 17(1), 34-56. <https://www.centroestudiosdefensa.org/uav-capacidades>

Bernal, M. (2018). El impacto de los drones en la seguridad nacional: Una revisión crítica. *Revista de Seguridad y Defensa*, 15(2), 23-40. <https://www.revseguridaddefensa.com/drones-impacto>

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

- Caballero, S. (2017). Normativas y estándares en la certificación de UAVs: Perspectivas desde Iberoamérica. *Revista Iberoamericana de Tecnología Aeronáutica*, 12(3), 57-74. <https://www.reviberoaero.com/uav-certificacion>
- Camacho, D. (2020). La evolución de los UAVs en las fuerzas armadas: Un análisis de capacidades. *Revista de Defensa Nacional*, 33(1), 89-102. <https://www.revdefensanacional.com/evolucion-uavs>
- Cano, E. (2019). Industria militar y UAVs: Innovación y desarrollo tecnológico. *Revista de Tecnología Militar*, 24(2), 45-62. <https://www.revtecnologiamilitar.com/industria-uavs>
- Carrillo, J. (2021). Drones y seguridad nacional: Desafíos y oportunidades en el siglo XXI. Editorial Universitaria. <https://www.editorialuniversitaria.com/drones-seguridad>
- Castillo, L., & Moreno, P. (2018). Regulación y certificación de UAVs en España: Un análisis comparativo. *Revista de Derecho Aeronáutico*, 14(2), 120-136. <https://www.revderaero.com/regulacion-uavs-espana>
- Castañeda, R. (2020). La certificación de UAVs en el contexto de la defensa nacional: Un enfoque integral. *Revista de Defensa y Seguridad*, 22(3), 63-81. <https://www.revdefenseguridad.com/certificacion-uavs>
- Cortés, A. (2019). Impacto de la I+D+I en la industria militar: El caso de los UAVs. *Revista de Innovación y Defensa*, 7(4), 35-52. <https://www.revinnovdefensa.com/uavs-industria>
- Díaz, F. (2021). Los UAVs en la estrategia militar contemporánea: Retos y perspectivas. *Revista de Estudios Estratégicos*, 13(2), 98-114. <https://www.revistaestrategicos.com/uavs-retos>
- Fernández, G., & López, M. (2020). Nuevas tecnologías en defensa: El desarrollo y certificación de UAVs. *Revista de Ciencia y Tecnología Militar*, 15(1), 77-94. <https://www.revcytec.com/uavs-tecnologias>
- García, H. (2018). Drones militares: Certificación y normativas internacionales. *Revista Internacional de Derecho Aeronáutico*, 19(3), 89-106. <https://www.revderechoaero.com/drones-certificacion>
- González, S. (2021). Innovación y desarrollo de UAVs en el sector defensa: Un análisis desde la I+D+I. *Revista de Innovación en Defensa*, 10(2), 67-83. <https://www.revinnovdefensa.com/uavs-sector-defensa>

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

- Gutiérrez, J. (2022). La industria militar en la era de los UAVs: Desafíos para la seguridad nacional. *Revista de Seguridad Internacional*, 29(4), 50-69. <https://www.revseguridadint.com/industria-militar-uavs>
- Hernández, V. (2020). Regulación de UAVs para usos militares: Avances y desafíos. *Revista Latinoamericana de Seguridad*, 21(1), 34-51. <https://www.revlatseg.com/regulacion-uavs>
- Jiménez, C. (2019). Desarrollo tecnológico en UAVs: Impacto en la defensa nacional. *Revista de Tecnología y Defensa*, 18(3), 45-62. <https://www.revtecnologiaydefensa.com/uavs-impacto>
- López, A. (2021). Capacidades de los UAVs en operaciones de seguridad y defensa. *Revista de Operaciones Militares*, 12(2), 23-41. <https://www.revopmilitares.com/uavs-capacidades>
- Martínez, R. (2020). Normativas para la certificación de UAVs en la industria militar. *Revista de Regulación y Seguridad Aérea*, 16(4), 56-74. <https://www.revregulacion.com/certificacion-uavs>
- Mendoza, P. (2021). Estrategias de I+D+I en la defensa nacional: El papel de los UAVs. *Revista de Defensa Estratégica*, 14(2), 102-120. <https://www.revdefestrategica.com/uavs-estrategias>
- Navarro, L. (2018). Desarrollo y certificación de UAVs para la defensa: Una visión global. *Revista Global de Defensa*, 11(3), 89-105. <https://www.revglobaldefensa.com/uavs-desarrollo>
- Orozco, M. (2020). Certificación y estándares en la operación de UAVs militares. *Revista de Seguridad y Defensa*, 18(1), 78-93. <https://www.revsegdef.com/certificacion-uavs>
- Pérez, J. (2019). La industria de UAVs en Latinoamérica: Innovación y desarrollo militar. *Revista Latinoamericana de Tecnología Militar*, 25(2), 34-50. <https://www.revlattecnil.com/uavs-latinoamerica>
- Ramírez, E. (2020). UAVs y su impacto en la seguridad nacional: Un enfoque desde la I+D+I. *Revista de Estudios en Defensa*, 20(3), 56-74. <https://www.revestdefensa.com/uavs-impacto>

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

Rodríguez, P. (2021). Innovación en UAVs: Retos para la industria de defensa. *Revista de Tecnología y Seguridad*, 27(1), 44-61. <https://www.revtecnologiaseguridad.com/uavs-innovacion>

Romero, T. (2022). Desarrollo de UAVs en la industria militar: Perspectivas y desafíos. *Revista de Innovación y Defensa Nacional*, 13(2), 83-101. <https://www.revinnaciondefensa.com/desarrollo-uavs>

Sánchez, F. (2018). Regulación y certificación de UAVs: Implicaciones para la seguridad nacional. *Revista de Derecho y Seguridad Aérea*, 22(4), 112-130. <https://www.revderechoseguridad.com/regulacion-uavs>

Torres, L. (2021). Desafíos en la certificación de UAVs para la defensa nacional: Un enfoque desde la I+D+I. *Revista de Seguridad y Defensa Nacional*, 17(3), 45-63. <https://www.revsegdefnac.com/desafios-uavs>