

## Capítulo 4.

# Factores determinantes para el desarrollo tecnológico y la innovación en el sector defensa y aeroespacial colombiano como sectores para la transformación productiva

*TC. Jimmy Anderson Flórez Zuluaga*

Jefe Centro de Desarrollo Tecnológico Aeroespacial para la Defensa  
-CETAD

Fuerza Aérea Colombiana

<https://orcid.org/0000-0002-0426-1000>

[jimmy.florez@fac.mil.co](mailto:jimmy.florez@fac.mil.co)

*Dr. Jhon Fredy Escobar Soto*

Corporación Universitaria Remington

<https://orcid.org/0000-0002-6826-6222>

[jhon.escobar@uniremington.edu.co](mailto:jhon.escobar@uniremington.edu.co)

*Cita este capítulo:*

Flórez Zuluaga, J. A. y Escobar Soto, J. F. (2022). Factores determinantes para el desarrollo tecnológico y la innovación en el sector defensa y aeroespacial colombiano como sectores para la transformación productiva. En: Ortiz Ayala, R.; Valencia Pérez, L. R.; Valencia Pérez, H. F.; Escobar Soto, J. F.; Flórez Zuluaga, J. A.; Quintero Quiceno, S.; Riaño Cubillos, J. S.; Falla Rubiano, A.; Barros Ochoa, A. I.; Salazar Ospina, F. A.; Morante, D.; Cárdenas, P. A.; Cajiao Pardo, L. M.; Giraldo Martínez, G. A.; Ortega Madroño, M. S.; La Rivera Muñoz, F.; Castillo García, J. F.; Mosquera Pérez, C. M.; Cabezas Álzate, D. F.; (...) y Ordóñez-Castaño, I. A. *Gestión, tecnología y logística empresarial aplicado al sector aeroespacial y otros estudios prospectivos en tendencia* (pp. 77-109). EMAVI Sello Editorial y Editorial Universidad Santiago de Cali.

## Introducción

El presente capítulo está orientado como un estudio de gestión tecnológica con el fin de determinar que procesos y que factores deben ser fortalecidos en el país para lograr un desarrollo industrial nacional de capacidades en el sector aeroespacial y de defensa en Colombia, este servirá de eje tractor para industrias de alta tecnología y aprovecha de manera positiva la experiencia del país en la lucha contra amenazas transnacionales como el narcoterrorismo.

Para esto primero se desarrolla un ejercicio prospectivo para determinar las principales áreas de desarrollo que deben trabajarse en el sector defensa y aeroespacial colombiano, dadas las condiciones del país, las condiciones de la industria colombiana y de los sectores con miras a generar capacidades nacionales a 10 años que le permitan al país buscar soberanía tecnológica y desarrollo nacional de capacidades.

A partir de estas variables se proponen factores que deben ser tenidos en cuenta dentro de los procesos de innovación al interior de la Fuerza Aérea Colombiana como ente de encuentro entre el desarrollo del sector aeroespacial y de defensa, basados en un análisis de modelos de otros países que sirvan como referente para la institución.

Este trabajo pretende ser una herramienta de análisis para la planeación y desarrollo de áreas críticas en la Fuerza y en la industria para posibilitar la generación de capacidades, apalancadas por la combinación de factores de tetra hélice que integren a la sociedad dentro de los procesos de articulación de la Universidad – Empresa - Estado descrita por Pineda Márquez et al. (2011) aumentando la sinergia de las capacidades nacionales de acuerdo con las áreas de interés del país.

Se partirá entonces de investigaciones previas y de un análisis de las capacidades de ciencia y tecnología del sector defensa, basado en procesos de diagnóstico y análisis del modelo de ciencia y tecnología de la Fuerza Aérea que puede ser replicable a las otras fuerzas y los modelos de otros países que puedan ser emulados, buscando aplicar mejores prácticas mundiales, lo que es contrastado con un informe de la OCDE del Ministerio de Ciencia y Tecnología el cual propone.

**Palabras clave:** sector aeroespacial y defensa, gestión tecnológica, Fuerza Aérea Colombiana, ciencia y tecnología, proyectos de investigación, desarrollo industrial nacional.

## Revisión de la literatura y análisis del sector

Desde el Plan de Nacional de Desarrollo 2018-2022 “Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad”, se propone como objetivo plantar las bases de la legalidad, el emprendimiento y la equidad buscando desarrollar a Colombia, enmarcado en el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible al 2030, bases para un desarrollo sostenible, donde la Ciencia y la tecnología cumplan un papel crucial (Congreso, 2018).

La investigación, el desarrollo y la innovación han sido el pilar para el desarrollo de los países, lo que para el caso de Colombia se ha ido incorporado desde la planeación nacional a través de los últimos planes de gobierno y políticas públicas como los CONPES (Consejo Nacional de Política Económica y Social), buscar desarrollar las capacidades nacionales en áreas que han sido consideradas como transversales para la transformación productiva tales como:

- CONPES 3522 - Lineamientos de Política de Cooperación Industrial y Social - Offset (2008)
- CONPES 3975 - Política Nacional para la Transformación Digital e Inteligencia Artificial (2019).
- CONPES 4069 - Política Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación 2022-2031 ( 2021).
- CONPES 4062 - Política Nacional de Propiedad Intelectual (2022).

Ser una herramienta de apalancamiento para el desarrollo de las capacidades nacionales para el sector defensa (Aramayo, 2019; Rodríguez Gutiérrez, 2012; Rodríguez-Gutiérrez et al., 2017).

Este tipo de modelos, se han promovido en muchos países como Brasil, España, Inglaterra y Chile, donde la integración del sector defensa en el desarrollo de proyectos de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i), ha llegado a crear grandes economías, que además de generar réditos para los Estados y empleos bien pagados para los ciudadanos, les brindan a los

países independencia y soberanía sobre una o varias tecnologías como se describe en (Florez, 2021; Wegener, 2000; Ruttan, 2006), que resaltan el papel del Estado en el proceso I+D+i y más específicamente desde el sector defensa como sector que puede apalancar estos procesos. En países como Estados Unidos el desarrollo en defensa es base de la tecnología y potencializador de la producción industrial, con implicaciones positivas en los mercados y el crecimiento de la productividad y de la economía. Otros casos de éxito son China e Israel, han logrado consolidar el desarrollo de su economía aprovechando la solución y búsqueda de desarrollos desde el sector defensa, gracias a su posición geopolítica y a su optimización de capacidades en torno a objetivos del Estado (Donatas Palavenis, 2020; Yuan et al. 2014 ).

En este sentido se puede pensar en el I+D+i del sector defensa, como elemento base para garantizar la posición hegemónica de una nación como en el caso de los Estados Unidos, o Israel, desde aspectos como la seguridad, y el uso del poder duro como herramienta de la política frente a otros competidores, además de ser un importante dinamizador a través del desarrollo tecnológico para la economía, la industria y la innovación de nuevos sectores a través de tecnologías transversales.

Es congruente asumir que a nivel mundial el desarrollo tecnológico militar sirve como herramienta de desarrollo nacional y de generación de capacidades nacionales de uso dual, apalancados por los sistemas de ciencia, tecnología e innovación al interior de sector defensa que garanticen productos tecnológicos acordes a las necesidades del país, dentro del proceso de la tetra hélice, definida por el estado, la sociedad, la academia y la industria, que asuman desarrollos, e inversiones en infraestructura que después estén al servicio de la industria nacional a través de convenios, o relacionamientos comerciales, industriales, Joint ventures, que integren la sociedad, la industria, el Estado con el sector defensa, y la educación, por ejemplo a través de las corporaciones que forman parte del Ministerio de Defensa Nacional. Lo que generaría un cambio en la cultura y establecería un círculo virtuoso en la nación, marcado por posibles beneficios económicos de los proyectos para las partes involucradas, ahorros institucionales y ventajas estratégicas con impactos positivos en el desarrollo tecnológico y en la aplicación de las capacidades del país, su productividad y su competitividad.

Para esto es necesario tener en cuenta múltiples factores, entre ellos, la forma en la que se abordan y transfieren los proyectos entre entidades o

sectores; mediante la integración de herramientas como metodologías correctamente apropiadas, de medición del nivel de madurez de la tecnología, el mercado, la regulación, la integración entre otras (Mankins, 2009 y Tlapanco Rios et al., 2022). Este tipo de metodologías podrían ser la base de sistemas más desarrollados de transferencia tecnológica entre los componentes de la tetra hélice, compras de tecnología, medición de alcance de desarrollos tecnológicos, e incluso la asignación y entrega eficiente de recursos, que busquen un retorno de la inversión o proyectar desarrollos como base de la planeación por capacidades, que potencien la investigación, desarrollo y adquisición en el sector defensa como base de desarrollo de tecnología y de ventaja estratégica para el país. Con este fin, es necesario una industria con la capacidad para desarrollar esas iniciativas y una cuidadosa escogencia de áreas que permitan un desarrollo exitoso y que sirvan como sectores tractores de la industria nacional.

Para esto se analizan las capacidades orientadas al desarrollo del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación (SCTeI), la industrial del sector defensa y aeroespacial, partiendo de la estructura de la Fuerza Aérea Colombiana para el I+D+i. En el país, la entidad rectora por parte del Estado para la gestión de la I+D+i es el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación que, busca fomentar la investigación aplicada y fortalecer el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación a través de la transferencia de conocimiento y transformación manufacturera como herramienta de desarrollo nacional (Minciencias, n.d.; Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2020), donde el ministerio tiene como papel fundamental formular, liderar, coordinar, ejecutar, implementar y controlar las políticas que en estas materias se emiten desde el nivel central del Estado. En este sentido se han venido realizando gestiones para articular el todos los sectores de la tetra como lo son el sector académico, el empresarial, el gubernamental y la sociedad civil, que a través del desarrollo profesional y articulado de su papel en aspectos como la generación de conocimiento, su transferencia, y basado en esto la implementación de los procesos de innovación, apropiación social, desde la formación de alto nivel en Ciencia, Tecnología e Innovación como se describe en ([www.minciencias.gov.co](http://www.minciencias.gov.co), 2022). Dentro de sus desafíos esta la focalización de las apuestas productivas del país para el mejoramiento de la competitividad. En este sentido se desarrolló la Misión de Sabios (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Información, 2019), que después de un cuidadoso análisis, priorizo áreas de interés en el desarrollo nacional desde la óptica de un grupo de expertos nacionales e internacionales, escogiendo 8 focos temáticos, los cuales para este

análisis son de especial importancia, las ciencias básicas y del espacio y las tecnologías convergentes e industrias 4.0.

Con respecto al sector, el Ministerio de Defensa Nacional tiene dentro de sus prioridades el impulso al desarrollo de la ciencia y tecnología para fortalecer la Fuerza Pública y el desarrollo sostenible para Colombia, apuesta que se ha abordado a través del Grupo Social y Empresarial de la Defensa (GSED), como el encargado de potenciar las capacidades del sector a nivel nacional, este “cuenta con dieciocho (18) entidades que apoyan la misión de las Fuerzas Militares y la Policía Nacional, con empresas como CODALTEC, CIAC, COTECMAR, Universidad Militar y la Agencia Logística entre otras, que podrían generar un clúster de internacionalización para exportación de este tipo de servicios y tecnologías de defensa y que pueden fungir como catalizador nacional de la tetra-helice. Dichas entidades poseen una amplia oferta de servicios de educación, transporte, recreación, vivienda y producción de equipos y elementos de uso militar y civil”. (www.gsed.gov.co, 2022), convirtiéndose en uno de los principales grupos económicos del país con cifras de activos de 13,6 billones, y una participación en el PIB superior al 1,1 % generando más de 12.000 empleos directos de acuerdo con (Cuellar, 2018; García Mesa, 2021; MinDefensa, 2019; Neira, 2018).

De estas entidades, cuatro (04) se encuentran dedicadas a actividades industriales y vienen desarrollando capacidades científicas y tecnológicas aplicables al desarrollo de la industria nacional mediante procesos de innovación, con el fin de apoyar a las Fuerzas de acuerdo con sus necesidades. Estas se describen así:

**CIAC:** De acuerdo con CIAC ( s.f.), la Corporación de la Industria Aeronáutica Colombiana S.A. (CIAC S.A.) es la empresa líder en la industria aeroespacial nacional con base en su condición de fabricante de productos aeronáuticos y de estación reparadora certificada para la prestación de servicios MRO de aviación.

**INDUMIL:** De acuerdo con el plan estratégico de Indumil (2020), la Industria Militar, produce, importa, exporta y comercializa armas, municiones, explosivos, accesorios y sus servicios complementarios, con calidad, oportunidad e innovación, con el propósito de satisfacer las necesidades y expectativas de las partes interesadas contribuyendo con responsabilidad social y ambiental al progreso del país con capacidades de innovación en el área metalmecánica y exportación a varios países de la región.

**COTECMAR:** Según COTECMAR (s.f.), la Corporación de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Industria Naval Marítima y Fluvial es una organización innovadora que trabaja dentro del campo de investigación científica y tecnológica, apoyando el desarrollo de la industria marítima colombiana. La corporación está orientada a la dirección, planificación, articulación, ejecución y control de los procesos relacionados con la gestión de la innovación y las actividades de investigación y desarrollo tecnológico para mantener el liderazgo en el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación.

**CODALTEC:** De acuerdo con su página oficial la Corporación de Alta Tecnología para la Defensa nace de la necesidad del Sector Defensa de promover el desarrollo de capacidades en el área tecnológica; a fin de crear sus propias soluciones, apoyando no solo el ambiente operacional de la Fuerza Pública sino el avance de la industria nacional. Su misión es disminuir la brecha tecnológica del país en la industria del sector defensa a través de la apropiación y generación de conocimiento, el desarrollo tecnológico y mediante la integración del sector productivo público y privado, las universidades y el estado. Todo lo anterior con proyección social para el desarrollo de tecnologías duales, que potencien la producción tecnológica nacional y territorial. En 2018 fue reconocido por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia – Colciencias (hoy Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación) como Centro Autónomo de Investigación y actor del Sistema Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación de Colombia. (<https://www.codaltec.com>, 2020).

Por su parte, las Fuerzas Militares (FFMM) se han transformado para enfrentar los efectos desestabilizadores de las organizaciones narcoterroristas y las amenazas transnacionales. En Montes (2008), se aprecia un enfoque, que describe desde lo tecnológico y la generación de industria del sector defensa, y se plantea una nueva hoja de ruta para Colombia. En este sentido, el Grupo Social y Empresarial de la Defensa (GSED), podría jugar un papel clave en la consolidación de capacidades, que reúne las empresas del sector con el fin de potenciar y dinamizarlo. A nivel Estado, se busca consolidar las capacidades nacionales mediante el GSED, con el fin de fortalecer la industrialización de servicios de defensa, a través de alianzas público-privadas, o de las empresas del GSED (MinDefensa, 2019).

Dentro de las entidades oficiales que conforman el sector una de las más grandes y con mayor vocación tecnológica, por su naturaleza, es la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) con más de 12.000 miembros y aproximadamente 13 bases aéreas disgregadas en todo el país, con una gran cantidad de equipo volante y con grandes capacidades de conocimiento, desarrollos e investigación en el sector.

Colombia viene desarrollando en las últimas dos décadas capacidades enfocadas al sector aeroespacial desde el sector defensa y seguridad como uno de los principales tractores de estos desarrollos, por lo cual se reconocen una fuerte relación entre ellos y se parte del análisis conjunto de los sectores ya que en Colombia están fuertemente integrados. Esto se ha logrado a través de convenios entre organizaciones, el GSED, el esfuerzo y liderazgo de la FAC y convenios de cooperación social e industrial (Offset) provenientes de las compras del sector entre los que destacan los usados en el centro para la certificación de piezas, que ha potenciado capacidades de diferentes sectores para producir estos elementos para consumo interno, reduciendo costos y aumentando las capacidades nacionales (Gaviría Gómez, 2017), habilitando una poderosa herramienta para transferencia tecnológica.

Con respecto a la FAC, la aplicación de la ciencia y la tecnología se ha evidenciado a través del apalancamiento de grandes desarrollos nacionales en apoyo con el GSED, como la aeronave T-90 “Calima”. Este desarrollo es producto del trabajo conjunto entre el Comando Aéreo de Mantenimiento (CAMAN) y la Corporación de la Industria Aeronáutica Colombiana (CIAC). El apoyo a la industria espacial se ve reflejado a través de la comisión colombiana del espacio y del programa espacial de la FAC donde los programa FACSAT-I y FACSAT-II han venido jalonando el desarrollo espacial colombiano (David y García, 2020; Portilla Barbosa y Murcia Piñeros, 2021), además de proyectos como los de sustitución de importaciones.

La Fuerza Aérea Colombiana, con el fin de promover los avances tecnológicos y técnicos en el sector aeroespacial, ha fomentado a través de su estructura de I+D+i estos desarrollos (FAC, 2018) apoyado por sus entidades de educación superior, centros de investigación y grupos de investigación, consolidando un gran sistema de ciencia y tecnología, que contiene el marco de referencia para el desarrollo de proyectos de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación por parte del personal de la institución, así como para el personal en formación (cadetes y alumnos) quienes deben cumplir

con trabajos de investigación como requisito de graduación. Actualmente la FAC cuenta con cuatro centros de (I+D+i) que según él (FAC, 2018) y según aparece en Minciencias (s.f.) tiene como características principales:

**CITAE.** Centro de Investigación en Tecnologías Aeroespaciales, con sede en la ciudad de Cali (Valle del Cauca) cuya misionalidad es la de llevar a cabo estudios e investigaciones en el campo de la ingeniería aeronáutica y espacial, desarrollo de vehículos espaciales, sistemas de lanzamiento, sistemas de control de misión y cargas útiles.

**CETIA.** Centro Tecnológico de Innovación Aeronáutico, con sede en el municipio de Madrid, (Cundinamarca), cuya misionalidad es la de llevar a cabo estudios e investigaciones en el campo logístico aeronáutico.

**CETAD.** Centro de Desarrollo Tecnológico Aeroespacial para la Defensa, con sede en el municipio de Rionegro (Antioquia), cuya misionalidad es la de llevar a cabo estudios e investigaciones en el campo de la ingeniería aplicada a sistemas de comando y control, simulación, sistemas avanzados de defensa, guerra electrónica y contramedidas.

**CIBAE.** Centro de Investigaciones Biomédicas Aeronáuticas y Espaciales, con sede en la ciudad de Bogotá, cuya misionalidad es la de llevar a cabo estudios e investigaciones en el campo de la medicina y de los factores que afectan el desempeño de las tripulaciones de la FAC en las operaciones aéreas y espaciales.

La FAC, cuenta también con una Oficina de Certificación Aeronáutica de la Defensa cuya misión es normalizar, calificar y certificar productos aeronáuticos, para el desarrollo de la industria aeronáutica y la oficina de como Autoridad Aeronáutica de la Aviación de Estado (AAAES), ente certificador de productos y servicios aeronáuticos para aviación del Estado.

En el sector industrial, aeroespacial como una de las entidades más grandes del sector existe la Asociación del Transporte Aéreo en Colombia denominada ATAC, la cual asocia, las aerolíneas colombianas transportadoras de carga y pasajeros nacionales e internacionales, con el propósito de trabajar en soluciones y desafíos del sector. Esta asociación incluye, Satena, Avianca, Easy Fly, LAN Colombia, Aerolíneas de Antioquia, aerolíneas argentinas, Air Canadá, Airfrance, Helicol, LAN, Taca, Tampa, entre otras aerolíneas que funcionan en el país. En representación de la capacidad industrial y

comercial nacional, destacan iniciativas como las de Corredor-Gutiérrez (2017), donde a través de agremiaciones han buscado desarrollar capacidades para promover el desarrollo en estos sectores. El Clúster Aeroespacial Colombiano (CAESCOL) con 16 empresas asociadas, Centro de Desarrollo Tecnológico para la Cadena Metalmeccánica Colombiana (CRTM Pacífico) en donde se encuentran aliadas 13 empresas, la Asociación Colombiana de Productores Aeroespaciales (ACOPAER) que cuenta con 21 empresas y la Cámara de Comercio de Dos Quebradas, que tiene alianza con 11 empresas que han incursionado en el sector, son una muestra de este fenómeno que tiene como común denominador que sus capacidades están orientadas en el mantenimiento, reparación y la fabricación de piezas metalmeccánicas del sector aeronáutico. En Morante Granobles y López Martínez (2018) se analizan otros clústeres latinoamericanos y se describe el papel del CETAD como centro de desarrollo tecnológico de la FAC como impulsor de la creación de CAESCOL. También la mesa técnica aeronáutica de Rionegro que viene trabajando en la elaboración de una política pública que hace parte de una inversión en ciencia, tecnología e innovación, con el objetivo de buscar recursos a nivel local, regional, departamental y nacional que aporten al desarrollo; y la mesa interinstitucional del sector aeronáutico, integrada por: ANDI, ACOLEA, FEDEMETAL, e invitados como AIRBUS, PROCOLOMBIA, los clústeres a nivel nacional y MinDefensa.

Todo este esfuerzo actualmente ha fructificado en la creación de una federación aeroespacial colombiana, que tiene la vocería de una gran parte de los actores del sector denominada FEDIAC y que se define como un ente gremial que promueve el desarrollo de la Industria Aeroespacial en Colombia integrando el sector a través de la cooperación industrial, académica y gubernamental generando la respuesta a los diferentes retos asegurando la inversión en cadenas de valor. Esta federación de acuerdo con AeroCivil, ha efectuado convenios con casas fabricantes (OEM's) como Boeing y SAAB, para identificar las capacidades de la industria nacional para la participación en proyectos de transferencia tecnológica buscando incursionar en la cadena de valor global (CEA, 2020)

Industrialmente el sector defensa y aeroespacial cuentan con unas capacidades que pueden ser integradas con líneas de producción de acuerdo con las necesidades de la nación, y a un mediano plazo podrían transformarse para vender bienes y servicios a otros países u organizaciones interesados en la defensa estratégica y el sector aeroespacial.

Una vez conocidas las capacidades sectoriales con las que se cuenta en Colombia y como se describe en (Ospina, 2015; Miranda, 2012; Ruiz et al., 2019), buscando un análisis realista aplicado a las políticas y tecnologías del nuevo milenio, se analizan líneas de investigación de países líderes como Estados Unidos, Rusia y China y se observa primero una relación entre los sectores de I+D, Aeroespacial y defensa como base para el liderazgo geopolítico y económico de los países.

También se consulta con expertos en tendencias tecnológicas mundiales como se describe en (Burke et al., 2020; Perry, 2018) se encuentra que tecnologías como desarrollos en la Nube, Ciberseguridad, protocolos de cifrado y seguridad digital liderados por el blockchain, Big Data, sistemas geográficos, sistemas autónomos y automatizados, procesamiento de digital de imágenes y señales, aeronaves remotamente tripuladas, entre otras áreas, están aportando de manera dual a sectores como la defensa y potenciando industrias en España, Israel entre otros. También se consideran informes de organizaciones transnacionales como (BID, 2010; OCDE, 2015; Para y Mejor, 2020), que muestran una clara tendencia apalancada por las tecnologías emergentes como factor clave que podría potenciar estos sectores y el país (MinTIC, 2019).

En este capítulo, se analiza la infraestructura colombiana, teniendo en cuenta que según los expertos consultados puede ser altamente potenciada por esta tecnología de la industria 4.0, ya que se considera que en Colombia se cuenta con capacidades digitales y de desarrollo que potenciarían estas áreas de la industria y el conocimiento, fortalecidos por las políticas públicas mencionadas.

## Perfil Tecnológico de los Sectores

El sector Defensa y Aeroespacial Colombiano, cuenta con actividades económicas desarrolladas en el país relacionadas a través de Códigos de Clasificación de Actividades Económicas CIIU como se describe entre otros para cada sector:

## Defensa

Va desde el 2512 de fabricación de tanques, depósitos y recipientes de metal, excepto los utilizados para el envase o transporte de mercancías, 2520 fabricación de armas y municiones, 2599 fabricación de otros productos elaborados de metal, 2910 fabricación de vehículos automotores y sus motores, 3030 fabricación de aeronaves, naves espaciales y de maquinaria conexas, 3040 fabricación de vehículos militares de combate, 3290 otras industrias manufactureras, 8421 relaciones exteriores, 8422 actividades de defensa, 8423 orden público y actividades de seguridad, 8411 actividades legislativas de la administración pública, 8412 actividades ejecutivas de la administración pública, 8422 actividades de defensa, 8423 orden público y actividades de seguridad.

## Aeroespacial

Van desde el 3530 Fabricación de aeronaves y naves espaciales, 6220, transporte no regular por vía aérea, 6310 manipulación de carga, 6320 almacenamiento y depósito, 6333 actividades de aeropuertos y servicios complementarios para el transporte aéreo, 6339 otras actividades complementarias del transporte, 7310 investigación y desarrollo experimental en el campo de las ciencias naturales, ciencias de la salud, ciencias agropecuarias y la ingeniería, 7421 actividades de arquitectura e ingeniería y actividades conexas de asesoramiento técnico, 7512 actividades ejecutivas de la administración pública, 7522 actividades de defensa.

El crecimiento económico en los últimos años ha sido una de las banderas del desarrollo del país y el papel del sector aeronáutico colombiano en este crecimiento es preponderante ya que proporciona un vínculo de comunicación directo entre las ganancias generadas por las exportaciones y el transporte aéreo de carga y de pasajeros que mueven otros renglones de la economía como el turismo. Con respecto a la Aviación de Estado, se consume una gran cantidad de insumos la gran mayoría importados de países como Estados Unidos, España e Israel.

Dentro de las carreras técnicas y profesionales ofrecidas en el país relacionados con los sectores están:

Oficiales y suboficiales de las Fuerzas Militares, físicos y astrónomos, meteorólogos, estadísticos, ingenieros eléctricos, ingenieros electrónicos

de telecomunicaciones y afines, Ingenieros mecánicos, industriales y afines, químicos y afines, de minas, ingenieros metalúrgicos y afines, ingeniería mecánica integrada en saberes de la ingeniería mecatrónica, aeroespacial, aeronáutica, electrónica, de telecomunicaciones, de sistemas, informática, de materiales, industrial y tecnologías en aeronáutica, mecánica, aviónica, pilotaje, control de tráfico aéreo, seguridad aeronáutica y regulación de tráfico aéreo.

Empresas líderes en el sector aeroespacial y defensa a nivel mundial en los sectores se desatacan mundialmente:

Tabla 1  
Empresas líderes del sector

Empresa	Sector	Descripción de mercado
Lockheed Martin (Estados Unidos)	Defensa-aeroespacial	Es uno de los principales actores de la industria aeroespacial y militar siendo el mayor contratista militar de estados unidos, para todas sus fuerzas y su departamento de defensa. Resaltan sus capacidades en el área de la aeronáutica, misiles, helicópteros, sistemas de radares, tecnología espacial.
Boing (Estados Unidos)	Defensa-aeroespacial	Otro gran proveedor de tecnología de la estación espacial aeroespacial internacional. Desarrolla y comercializa aviones militares y civiles, tripulados y no tripulados, sistemas satelitales, tecnología espacial, misiles y sistemas de defensa, inteligencia y seguridad. Entre sus productos esta su modelo 777 en todas sus variantes, el cohete space launch y e IF-18 super Hornet.
Northrop grumman (Estados Unidos)	Defensa-aeroespacial	Northrop grumman corporación es otro gran actor del sector en el mundo. Está conformada por una agrupación de empresas e industrias aeroespaciales y de defensa y es uno de los mayores contratistas de defensa militar a nivel mundial. Está conformado por tres divisiones de negocios: sistemas aeroespaciales, sistemas de misiones y servicios de tecnología bajo el agua, en el espacio y en el ciberespacio. Es un proveedor de tecnologías de información de los mayores contratistas militares del mundo.

---

Bae Systems (Inglaterra)	Defensa-aeroespacial	Empresa británica, que se ha posicionado como uno de los mayores contratistas militares del mundo, además con capacidades en la industria aeronáutica comercial.
Bombardier (Canadá)	Aeroespacial	Bombardier es parte importante de los mercados de aeronavegación, incluye modelos con capacidad entre 50 y 100 asientos. Bombardier Aerospace, se encuentra en Querétaro y también produce piezas aeronáuticas.
Raytheon (Estados Unidos)	Defensa-aeroespacial	Empresa que desarrolla y comercializa tanto para el sector defensa como para el sector civil sistemas de comando, control, comunicaciones, inteligencia y servicios de soporte para la industria de defensa mundial con capacidades de desarrollo y comercialización de sistemas de radares de aeronaves, sistemas de miras y blancos, sistemas de comunicación y componentes de satélites y sensores para aplicaciones militares aeronáuticas, navales y de tierra.
Embraer (Brasil)	Defensa-aeroespacial	La empresa brasileña de aeronáutica (Embraer) es competencia directa con los Canadair regional jets de Bombardier y es la empresa aeronáutica y de defensa más grande de América del Sur. Es un icono de la industria en Brasil y una muestra de la colaboración de la triple hélice.
Dassault (Francia)	Aeroespacial	Dassault aviation es un fabricante de aeronaves civiles y militares francés con capacidades de desarrollo en el sector aeroespacial de uso dual.

---

Fuente: elaboración propia.

## Metodología

Posterior a un análisis del estado del arte y un análisis de los sectores se pretende proponer una aproximación a los principales elementos que, desde la perspectiva de los autores, pueden ser decisivos a la hora de proponer estrategias para desarrollar los sectores de Defensa y Aeroespacial en el

país. La idea es proponer una metodología de diagnóstico desde una matriz DOFA, que sirva como insumo para el desarrollo de un análisis prospectivo de los sectores analizados.

Para esto, posterior al diagnóstico con un grupo de expertos del área de ciencia y tecnología del sector defensa consultados, tanto de la FAC como del sector educativo, industrial y de otras fuerzas, se hace una aproximación a 40 factores de cambio que podrían marcar una diferencia para el desarrollo del sector aeroespacial y defensa visto en conjunto.

El grupo de expertos analiza los factores y su influencia directa e indirecta, para posterior usando el software MICMAC, realizar una cuantificación del análisis basado en los resultados de la discusión de manera individual se realiza una ponderación de expertos que incluyó personal de todas, las fuerzas, personal del sector aeroespacial y defensa y personal de ciencia y tecnología de la FAC, lo que ha permitido diagnosticar los sectores y establecer factores que permitan el desarrollo nacional del sector considerando las condiciones de la tecnología y las nuevas políticas públicas planteadas.

Dentro del análisis se tuvo consideración en las condiciones colombianas, de la industria, la tecnología, los programas educativos como base del análisis con el fin de establecer factores de cambio que sean realistas.

Por último, se realiza el análisis de los resultados y se seleccionan los factores de mayor impacto para la industria nacional, con el fin de proponer inversiones y desarrollos realistas que permitan de estos factores transformar la industria nacional, como eje de productividad y competitividad del país.

Con base en esos análisis se proponen algunas conclusiones que podrían servir de base en trabajos que continúen con estos estudios en el camino de proponer un sector fortalecido como base del desarrollo nacional.

Este trabajo está enmarcado, en las nuevas políticas públicas que pueden apalancar el sector, las condiciones de la industria nacional, y las capacidades de ciencia y tecnología para los sectores de análisis en el país, las condiciones de ciencia y tecnología de las fuerzas, la política internacional del país y las capacidades de las principales universidades en los sectores relacionados.

## Desarrollo

Se inicia con un diagnóstico de las capacidades de desarrollo tecnológico del sector basado en la estructura de la FAC como elemento de partida, buscando las principales variables de interés y con el potencial para transformar el desarrollo tecnológico en el sector defensa y aeroespacial y convertirlo en una base de la competitividad del país.

Se inicia con la realización de una matriz DOFA (Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas) a través del trabajo de un grupo intersectorial de las fuerzas y la academia.

Tabla 2  
Matriz DOFA

<b>1. Matriz Dofa</b>	
<b>ASPECTOS FAVORABLES</b>	
<b>Internos (Fortalezas)</b>	<b>Del entorno nacional y mundial (Oportunidades)</b>
Existencia de laboratorios, talleres y equipo en el Ministerio de Defensa.	Existencia del GSED en el MDN, con empresas como COTECMAR, CIAC, CODALTEC.
Conocimiento de tecnologías emergentes que potencian la defensa y la industria aeroespacial nacional	Alianzas estratégicas con la empresas privadas como Fabricato, Newsat, CAESCOL, FEDIAC en diferentes áreas.
Personal altamente capacitado.	Mercado cautivo en el MDN a nivel nacional.
Existencia de necesidades transversales a nivel nacional e internacional en los sectores analizados.	Experiencia operacional y posibilidades de pruebas en entornos reales como base de comercialización internacional.
Sistemas de certificación, calificación y oficina de la autoridad aeronáutica de aviación de Estado en el sector.	Cooperación internacional en I+D+i en temas de seguridad nacional a través de OFFSET.
Exposiciones internacionales propias como expodefensa y la F-Air.	Acceso a patentes y sistemas mundiales de gestión de conocimiento.
Capacidad de innovación para plantear soluciones a retos a través de innovación abierta.	Capacidades nacionales en áreas de materiales, siderúrgicas, talleres y laboratorios en el sector educativo y privado.
Presupuesto de inversión y sostenimiento de nivel central.	Convenios regionales, con otros países.
Infraestructura existente en el sector público y privada	Alianzas estratégicas, oportunidades de incursión en redes internacionales y oportunidades de desarrollo en el país.
Universidades y entidades educativas en el sector.	
<b>ASPECTOS DESFAVORABLES</b>	
<b>Internos (Debilidades)</b>	<b>Del entorno nacional y mundial (Amenazas)</b>
Falta de equipo moderno en muchos entornos nacionales.	Efectos en el mercado por conflictos a nivel mundial.

**Cap. 4:** Factores determinantes para el desarrollo tecnológico y la innovación en el sector defensa y aeroespacial colombiano como sectores para la transformación productiva

<b>ASPECTOS DESFAVORABLES</b>	
<b>Internos (Debilidades)</b>	<b>Del entorno nacional y mundial (Amenazas)</b>
Inexistencia de sistemas de comando y control conjunto con última tecnología.	Alza en el valor del dólar
Falencias en ciberseguridad.	Procesos educativos, sin visión industrial
Falencias en investigación en Tecnologías críticas, tecnologías emergentes y tecnologías de mayor impacto futuro.	Altos costos de tecnología de defensa y aeroespacial
Falta de procesos en el área de innovación en los sectores.	Alta dependencia tecnológica en los sectores defensa y aeroespacial.
Alto nivel de dependencia tecnológica con otros países.	Falta de conocimiento de tecnologías transversales para los sectores.
Recortes presupuestales.	Carencias en el desarrollo por capacidades.
Falta de redes de trabajo Inter agenciales e intergremiales.	Debilidades en la legislación para desarrollo de los sectores.
Falta de confianza de mercados nacionales en procesos internos.	Riesgos inherentes al desarrollo experimental en los sectores.
Falta de procedimientos para desarrollo tecnológico industrial.	Dificultades en la importación de elementos.
Mayores inversiones iniciales, para implementar desarrollos.	Falta de experiencia para negociación de CyT.

Fuente: elaboración propia

Se definen los factores teniendo en cuenta entre otros aspectos, las capacidades del país, la economía, las condiciones del mercado, el marco regulatorio y las condiciones de planeación en políticas públicas, y las condiciones económicas posteriores a la pandemia, por lo cual se contemplan y priorizan tecnologías blandas basadas en el desarrollo de software, que según el estado del arte han sido relevantes para el desarrollo nacional y con gran movilidad al desarrollo dual.

También en el equipo de expertos que se consideró para desarrollar estos sectores teniendo en cuenta que hay que desarrollar el aparato productivo, empresarial, industrial y educativo, de manera que permitan dar un piso fuerte al desarrollo de los sectores analizados buscando independencia tecnológica, y lleguen a convertirse en base de una soberanía tecnológica perdurable para el país y proyectarse como potencial factor de generación de exportaciones que dinamicen la economía nacional.

Con base en este análisis, se seleccionaron 40 factores, de los cuales se priorizaron 22 como se muestra en la Tabla 3:

Tabla 3  
Descripción de los factores

2. Descripción de los factores						
Código	Factor	¿En qué consiste?	¿Qué ocurre actualmente?	¿Con qué indicadores se puede medir?	Nombre Corto	Familia
1	Sistemas de Inteligencia Artificial	IA, ese campo científico de la informática que se centra en la creación de programas y mecanismos que pueden mostrar comportamientos considerados inteligentes. En este aspecto se medirá los beneficios de desarrollar esta capacidad en el sector defensa colombiano.	No se utiliza en los sectores seleccionados, ni siquiera se tiene su concepción clara.	No. de sistemas basados en inteligencia Artificial para la defensa estratégica/ Número de sistemas para la defensa estratégica*100.	IA	Tecnológica
2	Desarrollo de Sistemas procesamiento digital de imágenes	El procesamiento digital de imágenes es un área de la ingeniería que permite a través de algoritmos automatizar procesos para mejorar o encontrar información oculta en imágenes de cualquier tipo, como imágenes satelitales, FLIR entre otras.	Se utiliza de manera manual sin conciencia del conocimiento adquirido.	% de sistemas de desarrollo nacional en PDI.	PDI	Tecnológica
3	Desarrollo de sistemas de Comando control comunicaciones-Sistemas ATM.	Los sistemas de comando control y comunicaciones o C3, son sistemas que integran la capacidad de fusionar información del territorio y comunicaciones para la Toma de decisiones.	En la mayoría de los sectores seleccionados se hace de manera manual. A nivel estratégico, en la ARC y en la FAC se tienen aproximaciones de este desarrollo.	Número de puestos de mando, con sistemas de C3/ Número de puestos de mando*100.	C3	Defensa-Aeroespacial
4	Desarrollo de sistemas de Seguridad para las comunicaciones.	Capacidades de desarrollo de sistemas para prevenir que alguna entidad no autorizada que intercepte la comunicación pueda acceder de forma inteligible a información. También este tipo de tecnologías habilitan el uso de comunicaciones en escenarios críticos.	Los medios utilizados son de poco alcance y cobertura con seguridad media para transmitir o recibir los mensajes. La ARC ha desarrollado una primera aproximación nacional, y la FAC está trabajando en el área.	Número de sistemas de data link implementados/ número de sistemas que lo requieren	COMSEC	Defensa
5	Simulación para la toma de decisiones.	Capacidad para desarrollar escenarios prediseñados en los que se desarrollan habilidades para la toma de decisiones mediante la observación de los resultados de sus decisiones.	Se implementan en los diferentes cursos y capacitaciones que recibe el personal de oficiales y suboficiales como materia de obligatorio conocimiento.	Resultado obtenido en la práctica de ejercicios en los juegos de guerra realizada de manera académica	Sim-TD	Tecnológica
6	Implementación sistemas de certificación -calificación.	Ventaja para el sector defensa de desarrollar capacidades en el área, proyecto o sector que puedan impactar las capacidades de los sectores seleccionados.	Es limitada, debido a la falta de recursos y a la dependencia constante de las grandes potencias como EE.UU y otras internas como la UAEAC.	% de elementos desarrollados con ventaja Esta/ Eltos Vent Op-est utilizados.	Cert-cal	Defensa-Aeroespacial
7	Fabricación de piezas	Dicese de tecnologías que puedan impactar necesidades de manera local de fabricación de piezas para defensa y	Actualmente la implementación es nula.	Piezas fabricadas Nal./Piezas compradas.	Fab-Piez	Defensa-Aeroespacial

## Cap. 4: Factores determinantes para el desarrollo tecnológico y la innovación en el sector defensa y aeroespacial colombiano como sectores para la transformación productiva

8	Soberanía Tecnológica	Trata de la autonomía, para uso y desarrollo de tecnologías críticas para el sector que garantizan ventajas que garantizan los intereses de la nación.	Actualmente la implementación es nula.	Número de proyectos creados y finalizados por los miembros de la fuerza en beneficios de los mismos y la población civil.	Sob-Tec	Defensa-Aeroespacial
9	Desarrollo de capacidades en 4IR	Ventaja de desarrollar capacidades de la cuarta revolución industrial aplicadas a l sector que provechen las posibilidades de la capacitada colombiana de ingeniería.	No se mide.	Impacto medido de 1 a 5 de la ventaja de este desarrollo.	Cap-4IR	Defensa-Aeroespacial
10	Ventaja económica del desarrollo	Estudio y balance monetario representado en los diferentes valores que pueden ahorrarse en capacidades necesarias y que tienen un efecto positivo en el sector a mediano plazo.	Se reciben ofertas a nivel mundial, las cuales en el mayor de los casos se limitan por la falta de presupuesto.	Valor en la adquisición de las tecnologías/ valor del presupuesto asignado.	Ven-Ec	Económico
11	Ventaja ambiental	Ventaja ambiental de los desarrollos realizados, por uso de nuevas tecnologías.	Se cumple con normatividad vigente.	Ponderación de 1 a 5 del ventaja ambiental del desarrollo.	Ven-Am	Ambiental
12	Desarrollo Aeroespacial	Nivel de beneficio estratégico para el país y las fuerzas, o ventaja del desarrollo para la defensa y el sector aeroespacial que pueda aportar al desarrollo industrial.	No se mide ya que el desarrollo en los sectores seleccionados es pequeño.	Ponderación de 1 a 5 del impacto del desarrollo en las capacidades.	Ven-Des	Económico
13	Posibilidad de comercialización y uso dual	Capacidad de llevar un producto generado al mercado, o transferirlo a la industria nacional.	Nulo	Número de proyectos comercializados-transferidos/No de proyectos creados*100.	Comer	Económico
14	Políticas institucionales de I+D+I en sector	Decisión escrita que se establece como una guía, para los miembros de una organización, sobre los límites dentro de los cuales pueden operar en desarrollo tecnológico en el área de defensa.	Están muy bien definidas dentro de los parámetros de legitimidad, legalidad y de orden constitucional	Existencia de una política que fomenté el desarrollo implementación y comercialización de productos de defensa generados en los sectores seleccionados.	Pol-Ins	Organizativa
15	Facilidades contractuales	Facilidades de contratación por ley de CyT, que permiten acceder a facilidades para el manejo de los procesos.	Implementación de proyectos en Ley CyT.	Número de contratos desarrollados en ley CyT/ No de contratos total*100	Cont-CyT	Legal
16	Estrategias Offset	Tiene como objeto propiciar un salto cualitativo tecnológico-Defensa gracias a compras en el sector defensa que obligan al proveedor a transferir tecnología al país comprador.	Las fuerzas cuentan con miles de crédito offset que no han sido aplicadas de manera eficiente ya que se ha buscado impactar áreas de capacitación.	Créditos offset utilizados para defensa estratégica/Total de créditos offset.	Offset	Económico-social
17	Capacidad de desarrollo nacional	Capacidades industriales, o en infraestructura tecnológica de un país o una comunidad para desarrollar el proyecto de acuerdo a la priorización, y oportunidades realistas, enfocado en la realización de un proyecto específico.	Se aplica mediante los diferentes programas y planes que adelantan las FFMM en las diferentes regiones donde se hace presencia de las mismas.	Cantidad de jornadas de apoyo realizadas/cantidad de jornadas de apoyo planeadas*100	Des-Nal	Industrial

Gestión, tecnología y logística empresarial aplicado al sector aeroespacial y otros estudios  
prospectivos en tendencia

18	Personal calificado para el sector.	Nivel de preparación en todos los niveles del personal, y su impacto en el desarrollo de la actividades de CyT para el sector.	Las fuerzas cuentan con personal capacitado en aéreas que no necesariamente explotan su capacidad.	Personas que trabajan en áreas que pueden generar retorno/ Porcentaje de personas capacitadas.	Per	Humano
19	Sistemas de fusión de datos ciberfísicos	Los de fusión de datos ciberfísicos, de forma general son desarrollos que basados en sensorica propia pueden integran datos en ambientes unificados para el proceso de toma de decisiones.	No se utiliza en los sectores seleccionados, ni siquiera se tiene su concepción clara.	No. de sistemas ciberfísicos en el sector/ No. de sistemas en el sector estratégica*100.	Sis-Ciber	Tecnológica
20	Desarrollo de sistemas de sensores.	Los sistemas de sensores o su adaptación a análisis de datos de los sectores estudiados son aquellos que permiten convertir variables físicas a datos digitales para ser procesados.	Se cuenta con estos elementos pero carecen de tecnología para desarrollar tecnologías que potencien los datos.	Número de sensores cuya información es explotada/ Número de Sensores.	IoT	Defensa
21	Desarrollo de Materiales	Capacidad de desarrollar e implementar materiales aeronáuticos y con propiedades para la defensa como protección, utilizadas en sistemas de transporte o afines.	Empleado en algunos vehículos de combate, con grandes falencias para la protección de los soldados.	Número de unidades blindadas ubicadas desarrolladas.	Mat.	Industrial
22	Desarrollo de capacidades Ciberdefensa/Ciber Seguridad	Ventaja de desarrollar capacidad para generar capacidades de defensa cibernética activas pasivas, proactivas, preventivas y reactivas para asegurar la información de los sectores.	Existe y evoluciona pero no es suficiente para evitar las posibles afectaciones que se pueden presentar.	Cantidad de aplicaciones de ciber probadas en entornos controlado.	CCI	Tecnológica

Fuente: elaboración propia.

## Matriz MID

Después de un análisis sobre la influencia que ejercían las variables entre ellas, se llegó a la siguiente matriz de ponderación de influencias directas con los siguientes pesos:

0: Sin influencia

1: Débil

2: Influencia moderada

3: Fuerte influencia

P: Influencias potenciales

Tabla 4  
Relación de pesos de la MID

	1 : IA	2 : PDI	3 : C3	4 : COMSEC	5 : Sim-TD	6 : Cert-Cal	7 : Fabri-Fiez	8 : Sob-Tec	9 : Cap-4IR	10 : Ven-Ec	11 : Ven-Am	12 : Aeroespaci	13 : Comer	14 : Pol-Ins	15 : Cont-CyT	16 : Offset	17 : Des-Nal	18 : Per	19 : Sis-Ober	20 : IoT	21 : Mat	22 : Oberseg
1 : IA	0	3	P	2	3	2	2	3	3	3	1	2	2	3	3	P	2	2	P	P	1	3
2 : PDI	3	0	1	1	1	2	2	1	1	2	1	3	2	2	2	1	1	2	1	2	1	2
3 : C3	2	1	0	2	2	3	3	3	1	3	1	3	P	2	2	1	3	2	2	2	1	P
4 : COMSEC	2	1	2	0	1	2	2	2	3	2	1	2	1	2	1	2	3	3	1	1	1	P
5 : Sim-TD	2	2	1	2	0	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	1	2
6 : Cert-Cal	2	2	3	3	2	0	2	2	P	2	1	2	2	2	3	3	3	1	3	1	1	1
7 : Fabri-Fiez	P	2	3	3	2	2	0	1	2	3	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	1
8 : Sob-Tec	2	2	1	1	1	P	P	0	2	2	1	2	1	2	2	P	2	2	2	2	P	3
9 : Cap-4IR	3	3	2	2	2	3	1	3	0	3	1	3	1	1	2	3	1	1	P	2	1	P
10 : Ven-Ec	3	2	2	1	3	P	3	1	2	0	1	P	P	1	1	P	3	2	2	1	1	3
11 : Ven-Am	1	2	1	1	1	1	1	1	1	0	2	1	1	1	1	2	2	1	2	2	1	1
12 : Aeroespaci	2	2	3	2	2	P	P	P	P	3	P	0	3	P	2	P	3	3	P	P	1	2
13 : Comer	2	2	1	1	2	2	P	2	2	1	1	2	0	2	3	1	2	2	1	2	1	1
14 : Pol-Ins	2	1	2	2	2	3	3	2	3	1	3	2	3	0	3	3	3	3	1	1	1	2
15 : Cont-CyT	1	1	2	2	2	2	2	1	1	3	1	3	P	2	0	P	1	1	1	1	1	1
16 : Offset	2	1	2	P	2	3	3	P	1	P	1	P	2	1	0	2	2	2	2	P	1	1
17 : Des-Nal	2	2	2	2	3	3	3	3	1	2	P	P	2	P	2	1	0	2	1	2	1	3
18 : Per	2	2	3	1	2	P	2	2	1	1	1	2	2	1	1	1	P	0	2	2	1	1
19 : Sis-Ober	P	P	P	2	1	1	2	1	1	1	1	P	1	1	1	1	1	1	0	P	1	2
20 : IoT	P	3	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	3	1	1	2	2	2	0	2	2
21 : Mat	2	1	1	1	1	1	1	1	1	P	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1	0	1
22 : Oberseg	P	P	2	P	2	1	1	3	3	P	1	3	2	3	1	P	2	1	1	2	1	0

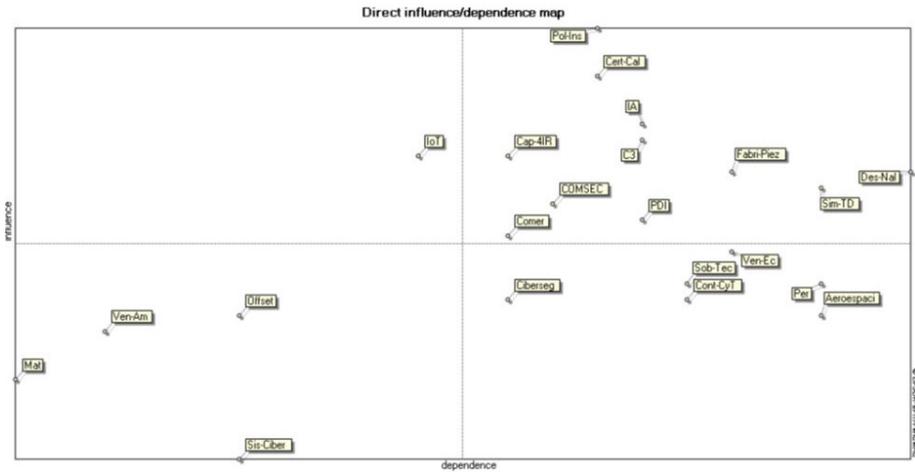
© URSOR-ERTA-MICMAC

Fuente: elaboración propia.

### Plano Directo

Finalizado el análisis y posterior a introducir los valores en MICMAC, se ejecutó el programa y se obtuvo el siguiente plano cartesiano, que describe el plano directo de la graficación de la MDI. En este plano se pretende de acuerdo con la movilidad y dependencia de cada variable determinar cuáles factores se encuentran en las zonas INFLUENCIA, ENTORNO, AUTONOMÍA y DOMINIO, como se observa en el Figura 1.

Figura 1  
Gráfico de relación directa de las variables



Fuente: elaboración propia.

Como se observa, las variables están distribuidas en los diferentes cuadrantes, sin embargo, parte del objetivo de este trabajo es desarrollar un análisis del gráfico de influencia directa para determinar el área de conflicto y de esta cuáles serán las variables críticas. Para esto es necesario primero tener claro el comportamiento de las variables en cada cuadrante y sobre todo en el área de conflicto, como se observa en el gráfico.

Con respecto al análisis podemos decir que las siguientes variables se ubicaron en cada cuadrante, resaltando que en el cuadrante de poder no quedaron variables de acuerdo con la ponderación de los expertos.

### Cuadrante de Enlace o zona de conflicto

**Variables:** Seguridad en las comunicaciones, capacidad de comercialización, Capacidad de procesamiento de imágenes, capacidades de fabricación de piezas, capacidades en inteligencia artificial, capacidades en certificación, Simulación, Comando control y comunicaciones, desarrollo nacional.

## Cuadrante de Resultados o de salida

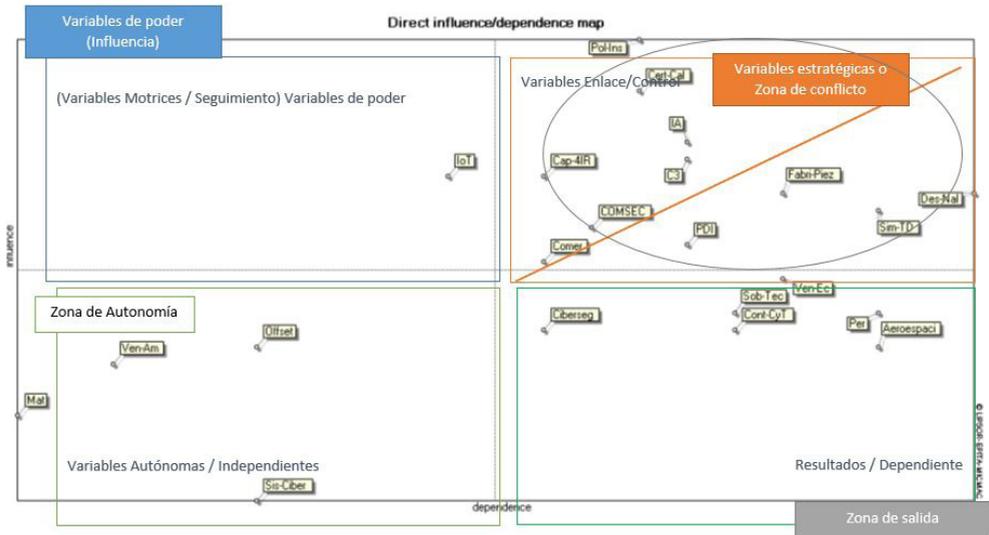
**Variables:** Ciberseguridad, soberanía tecnológica, contratación de ciencia y tecnología, desarrollo aeroespacial y personal

## Cuadrante de variables autónomas o Independientes

Variables: Offset, sistemas ciber físicos, ventajas ambientales y materiales.

### Figura 2

Análisis de gráfico de relación directa de las variables



Fuente: elaboración propia.

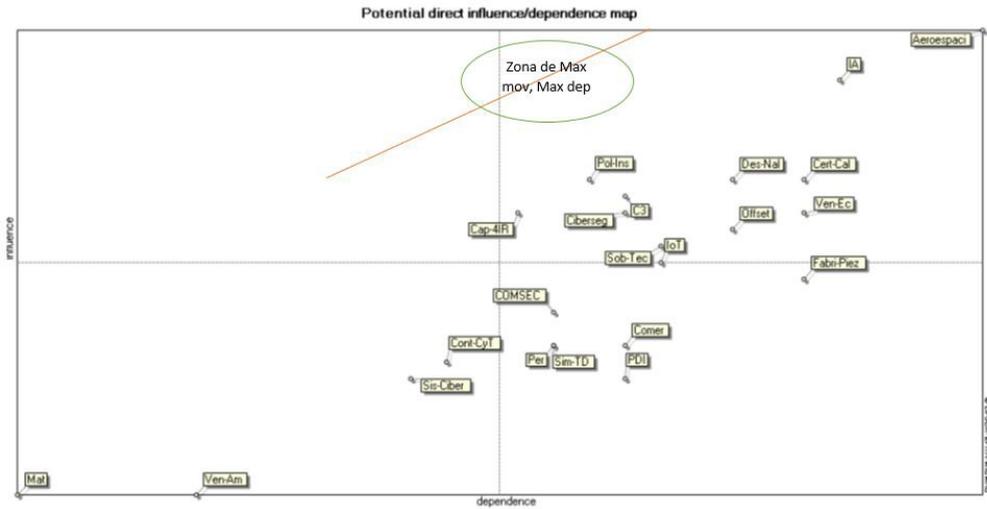
## Plano Indirecto/Desplazamientos

Una vez determinadas las zonas y la posición de las variables, nuevamente usando el software se procede a obtener el gráfico de influencias indirectas y de desplazamientos, con el fin de con el grupo de expertos realizar una discusión y encontrar las variables con mayor movilidad y dependencia. A partir del punto de mayor movilidad y dependencia del gráfico de influencia

indirecta, se traza nuevamente la bisectriz para establecer con base en el desplazamiento de las variables cuales son aquellas con mayor proyección. Estos gráficos se muestran en la Figura 3.

### Figura 3

Gráfico de relación indirecta de las variables



Fuente: elaboración propia.

### Selección Las 6 Variables Clave

Con base en los gráficos anteriores, es decir, el gráfico de influencia directa y el de influencia indirecta se crea el gráfico de desplazamiento. En este es más fácil observar el comportamiento de las variables y se determina la zona de enlaces, en la cual la dependencia es suficientemente fuerte para determinar las principales variables que deben ser abordadas si se desea desarrollar capacidades orientadas al fortalecimiento de los sectores discutidos y a la generación de capacidades estratégicas en el país. Según el estudio, si se logran cambios en estas variables gracias a su influencia, dependencia y movilidad se pueden tener efectos para generar una transformación en el sector, debido a su impacto estratégico.

Para determinar las variables críticas se debe entonces trazar una bisectriz en este cuadrante y escoger aquellas de mejor distancia absoluta a esta línea. Aunque es difícil determinar las variables en este gráfico, ya que todas las variables de este cuadrante revisten de gran importancia, se realizó un análisis de las capacidades nacionales, costos de transferencia, capacidades de las universidades y de las empresas para determinar las relaciones de influencia indirecta y se seleccionan como variables clave: capacidades de la cuarta generación industrial, políticas institucionales en el área, ciberseguridad, comando control y comunicaciones, desarrollo aeroespacial, y capacidades de inteligencia artificial.

## Análisis

Son muchas las variables que están en la zona de conflicto consideradas de gran importancia por parte del equipo de expertos, sin embargo, para la selección de variables se tuvieron en cuenta aspectos como alta dependencia o movilidad.

Variables tan importantes como inteligencia artificial para el trabajo, y su integración con tecnologías de la cuarta generación industrial, podrían transformar la industria nacional en el sector defensa y aeroespacial, ya que son muchos los productos derivados de estas, que podrían impactar las capacidades nacionales desde la tetra hélice con impactos en el corto y mediano plazo hacia comercialización e industrialización de estas.

Tecnologías derivadas de la observación de la tierra que emplean la gran base de datos de imágenes aéreas y satelitales existentes integradas con sistemas de inteligencia artificial, podrían además de mejorar algoritmos para llegar a ser exportados y en un futuro mejorar los sistemas y planeación de catastro a nivel nacional, protección del medio ambiente, lucha contra la minería ilegal, lucha contra cultivos ilícitos entre otros, análisis meteorológicos, sistemas de análisis de medio ambiente para medición de contaminación, entre otros. En esta área el desarrollo espacial también estaría potenciado por el liderazgo de la fuerza en el sector y aprovechando la capacidad del FACSAT2, y las nuevas políticas públicas en el sector.

Otro aspecto que va de la mano con lo anterior son las tecnologías de comando, control y comunicaciones, o en el sector civil el área de

administración del espacio aéreo, áreas en las que ya se cuentan con desarrollo importantes e intenciones de países centroamericanos para su comercialización, lo cual podría llegar a ser calificado y certificado para su uso dual, y permitirá el desarrollo de estos mercados en América latina y en el país. Todos estos desarrollos son orientados al dominio digital por lo que la ciberseguridad a través de la combinación de inteligencia artificial y tecnologías operacionales podrían revolucionar las operaciones, economizando gran cantidad de recurso y nuevamente con aplicaciones al sector aeroespacial, y de seguridad digital de vital importancia para el país.

Si además de estos desarrollos técnicos desde las políticas y reglamentaciones se impulsa la comercialización, se impacta el desarrollo nacional, pero para esto es necesario mejorar las políticas internas, en estos sectores que busquen el fortalecimiento de la industrialización y el desarrollo armónico y cooperativo de iniciativas entre la triple hélice y no como hasta ahora en una competencia que destruye iniciativas privadas o estatales por la falta de punto de trabajo mutuo y políticas que respalden esos desarrollos de manera eficiente y eficaz.

Todo esto, afectara positivamente los sectores creando un ciclo virtuoso que impulsará nuevas políticas que jalonaran todo el sistema y generaran más recursos para el desarrollo.

Otras variables importantes que a futuro deben ser consideradas como la ventaja estratégica en el desarrollo y el personal, podrían llegar a ser abordadas desde las políticas que generan mejores condiciones para el sector, ambas fuertemente relacionadas como se ven el grafico de grafos.

Para impactar la familia tecnológica quedaron variables que serán el eje de primera línea, y para impactar el sistema, las mencionadas de 4IR, áreas de C3, ciberdefensa e inteligencia artificial. Estas líneas son transversales a todos los sectores, por lo cual impactos en desarrollos repercutirán en la competitividad y productividad de los sectores, esto a su vez en las políticas institucionales y personales, y con estas variables el grupo de expertos opina que se puede llegar a transformar todo el sistema.

Como se analizó en el estado del arte estas áreas, son de posible desarrollo en el país con lo cual además se podría impulsar la economía lo que sería un efecto de realimentación positiva externa para el sistema, lo que proporciona congruencia para el eje del trabajo de prospectiva tecnológica.

## Conclusiones

A partir de lo anterior se puede concluir que es posible el desarrollo de una estrategia, realista orientada a transformar el sector defensa y aeroespacial en pilar del desarrollo nacional. Para esto se parte del apoyo desde las políticas públicas que han tenido las tecnologías de inteligencia artificial, las tecnologías de la cuarta revolución industrial, las políticas de ciencia y tecnología, las políticas OFFSET y la propiedad intelectual como base de la generación de riqueza y capacidad comercial.

La estrategia debería reconocer que en el país existen capacidades reales en estos campos, además de que también como se muestra en este trabajo existen iniciativas privadas en el sector defensa y aeroespacial orientados a los sectores específicos. SI se parte desde esta realidad del país es posible desarrollar una serie de planes que potencian desde el desarrollo en el sector defensa y seguridad desarrollos que potencien el sector aeroespacial.

También se puede concluir que se deben fortalecer las políticas públicas para fortalecer y generar puentes que permitan integrar a través de procesos de innovación la capacidad de desarrollos que tienen los sectores, con la industria local y con las necesidades desde consumo de las empresas públicas y privadas del país, para esto se deben fortalecer los mecanismos legales de contratación en los procesos de innovación y además flexibilizar el manejo de la propiedad intelectual al interior del Ministerio de Defensa con el fin de apoyar directamente la industria nacional y poder generar a futuro regalías que puedan reinvertirse en la sociedad y en la solución de problemas de los sectores.

Para esto con base en los análisis de los expertos es necesario la creación y fortalecimiento de proceso de innovación orientados a mercados externo o internos ya que en ambos sectores no se cuentan con planes de innovación ni experiencia para desarrollarlos. Estos planes deberán estar orientados a satisfacer necesidades propias de los sectores y consolidarse como futuros exportadores de estas tecnologías.

Colombia es un país geopolíticamente privilegiado, bioceánico, con proyección Antártida y con espacio sobre el ecuador. Con una política de defensa orientada al respeto de las normas internacionales y las relaciones basadas en el respeto a la autodeterminación de los pueblos, pero con unas

condiciones internas amenazadas por factores desestabilizadores como las organizaciones narcoterroristas. Geográficamente, es un país de regiones que han sido interconectadas principalmente a través del espacio aéreo y marítimo-fluvial. Por estos motivos el sector defensa ha tenido que responder de manera contundente frente a las amenazas internas para lo cual ha tenido que modernizarse y presenta una gran oportunidad para apalancar el desarrollo nacional. Dentro de este trabajo la Fuerza Aérea Colombiana como se ha evidenciado a tenido un papel multidimensional, primero como responsable del control del espacio aéreo colombiano y la seguridad nacional, segundo interconectando los territorios a través de Satena y tercero como pionera en el desarrollo tecnológico aeroespacial del país, para lo cual de la mano de las universidades y de la industria nacional se crea una gran posibilidad que a través de los factores analizados permita incubar estos sectores y ser diferenciadores para el desarrollo nacional.

Se deberán continuar desarrollos que permitan definir escenarios de futuro para que de acuerdo a la visión nacional de los sectores estos puedan desarrollarse de manera armónica con los planes nacionales y permitan fomentar el desarrollo sostenible del país en los sectores objeto de este estudio.

## Referencias

- Aramayo, P. A. (2019). Implementación del Offset en la industria de Defensa, caso aeronáutico – Actualización de Sistemas de gestión aeronáutica y específicos (AS9100 - NAS - NADCAP). 6, 23–37.
- Bergamini, R. L. (2021). Avaliação do Nível de Maturidade de Tecnologia (TRL) nas Instituições de Ciência e Tecnologia (ICTs) com o modelo adaptado da AFRL – Air Force Research Laboratory. Revista de Administração de Roraima - RARR, 10. <https://doi.org/10.18227/2237-8057rarr.v10i0.5738>.
- BID. (2010). Ciencia, Tecnología e Innovación en América Latina y el Caribe. 116.
- Burke, B., Cearley, D., Litan, A., Groombridge, D., y Mahdi, D. (2020). Top 10 Strategic Technology Trends for 2020: Practical Blockchain. Gartner, 1–13.

- CEA - Centro de Estudios Aeronáuticos (2020). Marco nacional de cualificaciones sector aeronáutico – aviación civil contextualización del sector. Aeronáutica Civil.
- CIAC. (n.d.). CIAC S.A. <https://www.ciac.gov.co/institucional/historia/>. Retrieved August 3, 2022, from <https://www.ciac.gov.co/institucional/historia/>.
- Congreso. (2018). Plan Nacional de Desarrollo 2018 – 2022 “Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad”. 300.
- CONPES 3522. (2008). Lineamientos de Política de Cooperación Industrial y Social - Offset.
- CONPES 3975 (2019). Política Nacional para la Transformación Digital e Inteligencia Artificial, Consejo Nacional de Política Económica y Social - República de Colombia 115. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Economicos/3975.pdf>.
- CONPES 4069. (2021). Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2022-2031
- CONPES 4062. (2022). Política Nacional de Propiedad Intelectual.
- Corredor-Gutiérrez, C. G. (2017). Diseño de un marco y hoja de ruta que permita formular la política espacial de Colombia, para promover el desarrollo tecnológico, económico y social del país. En Universidad de La Sabana.
- COTECMAR. (s.f.). <https://www.cotecmar.com/ciencia-y-tecnologia>. <https://www.cotecmar.com/ciencia-y-tecnologia>.
- Cuellar, Á. A. (2018). El grupo social y empresarial de la defensa Gsed cambia su estrategia. Revista Semana. <https://www.semana.com/contenidos-editoriales/fuerzas-armadas-marcha-hacia-la-paz/articulo/el-grupo-social-y-empresarial-de-la-defensa-cambia-su-estrategia/574826>.
- David, E., y García, C. (2020). Operacionales y representaciones del segmento espacial, caso FACSAT y EMFF. 15, 143–165.
- Developments, S. (2015). Military and Security Developments Involving the People’s Republic of China 2015. Department of Defense.

- Donatas Palavenis. (2020). Israel defense industry, what we can learn from it ? Strategy and Foreign Policy Approaches in a Context of Multipolar Tensions, 105. <https://ecpr.eu/Events/Event/PaperDetails/55294>.
- FAC. (2018). Modelo de Investigación Del Sistema Educativo De La Fuerza Aérea colombiana (SEGUNDA ED, Vol. 11).
- Ferreira, C. V., Biesek, F. L., y Scalice, R. K. (2021). Product innovation management model based on manufacturing readiness level (MRL), design for manufacturing and assembly (DFMA) and technology readiness level (TRL). *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 43(7), 1-18. <https://doi.org/10.1007/s40430-021-03080-8>.
- Florez, J. (2021). Towards a competitive ST system in the defense sector. *Ingeniería Solidaria*, 17(2), 1-28. <https://doi.org/10.16925/2357-6014.2021.02.06>.
- García Mesa, J. A. (2021). Diseño de un centro de servicios compartidos para las entidades del viceministerio del grupo social y empresarial del sector defensa “gsed.” Universidad militar nueva granada.
- Gaviria Gómez. (2017). DNP le apuesta a una política de desarrollo productivo del sector aeronáutico colombiano. Dnp. Gov. Co. <https://www.dnp.gov.co/Paginas/DNP-le-apuesta-a-una-política-de-desarrollo-productivo-del-sector-aeronáutico-colombiano.aspx>.
- Gutiérrez, I. D. R. (2012). Los offsets del sector defensa como instrumento de política para el fomento de la innovación tecnológica en Colombia. Un análisis desde la experiencia internacional, caso España y Chile. Universidad Tecnológica de Bolívar.
- Indumil. (2020). Plan Estratégico 2019 - 2022 y Plan de Acción.
- Jiménez-Navia, B., Villa-Enciso, E. M., y Bermúdez-Hernández, J. (2020). La gestión de la tecnología y la innovación en el sector defensa: resultados desde un análisis bibliométrico. *Revista Virtual Universidad Católica Del Norte*, 5821(59), 45-70. <https://doi.org/10.35575/rvucn.n59a4>.
- Mankins, J. C. (2009). Technology readiness assessments: A retrospective. *Acta Astronautica*, 65(9-10), 1216-1223. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2009.03.058>.

Mazzucato, M. (2015). The Entrepreneurial State.

Minciencias. (s.f.). <https://colombiaesciencia.minciencias.gov.co>. Retrieved August 3, 2022, from <https://colombiaesciencia.minciencias.gov.co/content/la-fuerza-aérea-colombiana-fortalece-su-sistema-de-ciencia-tecnología-e-innovación>.

MinTIC. (2019). Misión internacional de sabios para el avance de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación. Pacto por la Ciencia, la Tecnología y la Innovación: Un sistema para construir el conocimiento del futuro. In Misión de Sabios - Colombia 2019.

Minciencias. (s.f.). Colciencias se acerca al Sector Defensa | Colciencias. Retrieved August 30, 2020, from <https://legadoweb.minciencias.gov.co/noticias/colciencias-se-acerca-al-sector-defensa>.

MinDefensa. (2019). Sector Defensa | Armada Nacional.

MinDefensa. (2019). Mindefensa destaca aportes del GSED a la economía del país. <https://www.cgfm.mil.co/es/blog/mindefensa-destaca-aportes-del-gsed-la-economia-del-pais>.

MinTIC. (2020). Programa Nacional en Seguridad y Defensa | Minciencias. <https://minciencias.gov.co/node/1130>.

MinTIC. (2019). CONPES de transformación digital promoverá la competitividad del país y la eficiencia del sector público. <https://Mintic.Gov.Co/Portal/Inicio/Sala-de-Prensa/Noticias/107147:CONPES-de-Transformacion-Digital-Promovera-La-Competitividad-Del-Pais-y-La-Eficiencia-Del-Sector-Publico>. <https://mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-Prensa/Noticias/107147:CONPES-de-transformacion-digital-promovera-la-competitividad-del-pais-y-la-eficiencia-del-sector-publico>.

Miranda Redondo, R. (2012). Los offset del sector defensa a como instrumento de política para el fomento de la innovación tecnológica en los sectores productivos: un análisis desde la experiencia internacional casos de estudio: Brasil l e Inglaterra. In Tesis de Maestría. Universidad Tecnológica de Bolívar.

Montes, J. A. (2008). Las Fuerzas Militares de Colombia y la Industria de Defensa del país. Tecnología Militar. <http://web.b.ebscohost.com/consultaremota.upb.edu.co/ehost/pdfviewer/>

pdfviewer?vid=1&sid=b98d5eef-ec7e-4341-bf0d-ec89774ff346 %40pdc-  
v-sessmgr05

- Morante Granobles, F. D., y López Martínez, W. (2018). Análisis de modelos de clústeres aeroespaciales más representativos a nivel mundial y su incidencia para el desarrollo del clúster aeroespacial del valle del cauca. *Ciencia y Poder Aéreo*, 114-122. <https://doi.org/https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.591>.
- Neira, G. A. G. (2018). Análisis de la estructura de gobierno corporativo de las empresas del gsed frente a los lineamientos de mejores prácticas emitidos por ocde y caf. *Revista muro de la investigación*, 2(1), 1-42. <https://doi.org/10.17162/Rmi.V2i1.763>.
- OCDE. (2015). Estudios Económicos de la OCDE. *Microscopy and Microanalysis*, 18(S2), 48.
- Ospina, F. A. S. (2015). Propuesta de diseño de un bróker tecnológico de conocimiento que fortalezca la industria aeroespacial en Antioquia. En *Universidad Pontificia Bolivariana* (vol. 3, Issue 2). Universidad pontificia bolivariana.
- Para, D., y Mejor, U. N. A. (2020). *Perspectivas económicas de América Latina 2020*.
- Perry, H. W. J. (2018). *Iniciativa de Visión Estratégica* :
- Pineda Márquez, K., Morales Rubiano, M. E., y Ortiz Riaga, M. C. (2011). Modelos y mecanismos de interacción Universidad-Empresa-Estado: retos para las universidades colombianas. *Equidad y Desarrollo*, 15, 41-67. <https://doi.org/10.19052/ED.193>.
- Portilla Barbosa, J. G., y Murcia Piñeros, J. O. (2021). Evolución orbital del satélite FACSAT-1 y estimación de su tiempo de reentrada. *Ciencia y Poder Aéreo*, 16(1), 6-17. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.694>.
- Rodríguez-Gutiérrez, I. D. (2012). Los offsets del sector defensa como instrumento de política para el fomento de la innovación tecnológica en Colombia. Un análisis desde la experiencia internacional, caso España y Chile. *Universidad Tecnológica de Bolívar*.
- Rodríguez-Gutiérrez, I. D., Amar-Sepúlveda, P., y Miranda-Redondo, R. J. (2017). *Fomento de la innovación tecnológica en Colombia: Un análisis*

desde la experiencia internacional de los Offsets del sector defensa. *Espacios*, 38(51).

- Ruiz, X., Escáñez, F. J. V., Trabajo, D. De, y No, O. (2019). Seguridad y Defensa en América del Sur : de los Libros Blancos de la Defensa a la Cooperación Regional.
- Ruttan, V.W. (2006). "Is War Necessary for Economic Growth? Military Procurement and Technology Development," *Staff Papers* 13534, University of Minnesota, Department of Applied Economics.
- Sausser, B., Verma, D., Ramirez-Marquez, J., y Gove, R. (2006). From TRL to SRL: The concept of systems readiness levels. Conference on Systems Engineering Research, Los Angeles, CA, 1–10. <http://www.boardmansausser.com/downloads/2005SausserRamirezVermaGoveCSER.pdf>.
- Schildorfer, W., Aigner, W., y Hasenauer, R. (2017). TRL and MRL of C-ITS as lessons learnt from the Austrian C-ITS Corridor ECo-AT. September 2018, 0–12. <https://www.researchgate.net/publication/313063121%0ATRL>.
- Spanish Institute for Strategic Studies, I. (2011). Strategic Dossier. 154-B.
- Tlapanco Rios, E. I. y Castaño Urrego, C. A. (2022). Gestión de la Madurez Tecnológica Nivel 1 (TRL 1); Estrategia de Gestión de la Innovación de Producto en Procesos de Diseño Mecánico. *Revista Politécnica*, 49(1), 7–18. <https://doi.org/10.33333/rp.vol49n1.01>.
- Trabajo, C. D. E. (2020). Cuaderno de trabajo n° 7-2020 Ciencia, tecnología e innovación en la defensa : los casos de Brasil y México (2007-2020).
- Velázquez-Juárez, J. A., Valencia-Pérez, L. R., y Peña-Aguilar, J. M. (2016). El papel del modelo de la triple hélice como sistema de innovación para aumentar la rentabilidad en una Pyme comercializadora. *Revista CEA*, 2(3), 101. <https://doi.org/10.22430/24223182.268>.
- Wegener, H. (2000). Hacia una industria europea de defensa. *Estudios de Política Exterior*, 14(74), 57–63.

Yuan, C., Liu, S., Yang, Y., y Shen, Y. (2014). On the contribution of defense innovation to China's economic growth. *Defence and Peace Economics*, 27(6), 820–837. <https://doi.org/10.1080/10242694.2014.901644>.