



13 de enero de 2026

Defensa 5.0: desafíos estratégicos y oportunidades tecnológicas para España

Resumen:

En el contexto actual de transformación tecnológica y geopolítica, España se enfrenta a un desafío estructural: el bajo crecimiento de la productividad total de los factores, especialmente en su sector industrial, en comparación con otros países de la Unión Europea. Esta debilidad limita su competitividad y capacidad de innovación, lo que hace urgente la adopción de tecnologías avanzadas y su integración efectiva en el modelo de negocio. En el ámbito de la defensa, este reto adquiere una dimensión estratégica, ya que no basta con participar en consorcios internacionales; es necesario consolidar un ecosistema nacional de innovación capaz de generar tecnologías soberanas, sostenibles y alineadas con las prioridades y necesidades del país. Para lograrlo, se requiere impulsar capacidades críticas como la ciberseguridad, la inteligencia artificial aplicada al entorno militar o la industria naval inteligente, además de fomentar la colaboración público-privada y fortalecer la transferencia tecnológica entre universidades, centros de investigación y empresas. Este enfoque permitiría reducir la dependencia tecnológica externa, reforzar la autonomía estratégica europea y posicionar a España como actor relevante en el panorama global. En este marco, la pregunta central que guía esta investigación es: ¿Puede España consolidar un ecosistema nacional de innovación en defensa que impulse su productividad y autonomía tecnológica?

Palabras clave:

Industria 5.0; desarrollo tecnológico; defensa estratégica; ecosistema colaborativo; autonomía nacional.

***NOTA:** Las ideas contenidas en los **Documentos de Investigación** son responsabilidad de sus autores, sin que reflejen necesariamente el pensamiento del IEEE o del Ministerio de Defensa.

Defence 5.0: Strategic Challenges and Technological Opportunities for Spain

Abstract:

In the current context of technological and geopolitical transformation, Spain faces a structural challenge: the low growth of the total factor productivity, particularly in its industrial sector, compared to other European Union countries. This weakness limits its competitiveness and innovation capacity, making an urgency of the adoption of advanced technologies and its effective integration in the business model. In the field of defence, this challenge acquires a strategic dimension, as mere participation in international consortia is not sufficient; it is a necessity to consolidate a national innovation ecosystem, capable of generating sovereign, sustainable technologies aligned with the country's priorities and needs. Achieving this requires the development of critical capabilities such as cybersecurity, artificial intelligence applied to military environments, or smart naval industry, as well as fostering public-private collaboration and strengthening technology transfer between universities, research centres, and companies. This approach would help reduce external technological dependence, reinforce European strategic autonomy, and position Spain as a relevant actor in the global landscape. Within this framework, the central research question guiding this study is: Can Spain consolidate a national defence innovation ecosystem that enhances its productivity and technological autonomy?

Keywords:

industry 5.0; technological development; strategic defence; collaborative ecosystem; national autonomy.

Cómo citar este documento:

BENITO HERNÁNDEZ, Sonia; FONDRÍA MESA, Antonio; y RAMÍREZ MORÁN, David.
Defensa 5.0: desafíos estratégicos y oportunidades tecnológicas para España. Documento de Investigación IEEE 01/2026. [enlace web IEEE](#) y/o [enlace bie](#)³ (consultado día/mes/año)

1. Introducción

El siglo XXI se caracteriza por una aceleración sin precedentes de la evolución tecnológica, con un impacto directo en todos los ámbitos de la vida humana, incluida la seguridad y la defensa. Tras la consolidación del paradigma de la Industria 4.0, centrado en la digitalización, la automatización y el uso intensivo de datos, comienza a emerger la Industria 5.0, un concepto que busca ir más allá de la eficiencia productiva para situar al ser humano, la sostenibilidad y la resiliencia en el centro de los procesos productivos.

La Industria 4.0, también conocida como la cuarta revolución industrial, fue popularizada por Schwab (2016), fundador y presidente ejecutivo del Foro Económico Mundial, quien la definió como una revolución singular en su escala, alcance y complejidad, debido a la fusión de esferas físicas, digitales y biológicas y su impacto transversal en instituciones, industrias e individuos. Schwab situó el inicio de este cambio paradigmático a finales del siglo XX y comienzos del XXI, impulsado por Internet móvil, sensores más potentes y asequibles, y la evolución de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático. Así, la Cuarta Revolución Industrial no surge de una innovación aislada, sino de la confluencia acelerada de múltiples desarrollos tecnológicos que redefinieron los modelos de producción, el empleo y la interacción social. En el ámbito de la defensa, estas tecnologías permiten la automatización de procesos, la mejora en la toma de decisiones operativas y el desarrollo de sistemas autónomos y conectados. Según Corzo-Ussa et al. (2022), la aplicación de la Industria 4.0 en defensa representa una oportunidad estratégica para reducir brechas tecnológicas y fortalecer capacidades soberanas en países como España.

Por su parte, la Industria 5.0, promovida por la Unión Europea desde 2021 (Carayannis y Morawska-Jancelewicz, 2022), representa una evolución del paradigma anterior. Este enfoque incorpora principios éticos y sociales en el diseño de sistemas tecnológicos, priorizando la colaboración entre humanos y máquinas y la sostenibilidad en sus ámbitos ambiental y social. Travez Tipan y Villafuerte Garzón (2023) destacan que esta nueva etapa se apoya en tecnologías como la IA, el IoT, la realidad extendida y los cobots (robótica colaborativa), pero con una orientación hacia el valor social y la responsabilidad tecnológica. Así, mientras la Industria 4.0 se caracteriza por la automatización intensiva, la interconexión digital y el uso de tecnologías para optimizar procesos productivos, la Industria 5.0 propone una reintegración del ser humano en el centro del sistema

productivo, mediante la colaboración con una evolución de estas tecnologías, orientando la innovación hacia la sostenibilidad, la resiliencia y el bienestar social (Pérez-Domínguez et al., 2023).

La bibliografía reciente, junto con autores de referencia en campos como la industria, el marketing, la ingeniería y la empresa, ponen de manifiesto esta transición. Entre las obras de referencia se encuentra *Marketing 5.0: Technology for Humanity* de Kotler et al., (2021), que analiza cómo las tecnologías emergentes no solo transforman la producción, sino también la relación entre instituciones, empresas y ciudadanía. Desde el ámbito estrictamente industrial, destacan publicaciones como *Industry 5.0: Concepts and Strategies for Digital Transformation* (Kaswan et al., 2023), que aborda el papel de la inteligencia artificial (IA) y la digitalización en esta nueva era. Asimismo, trabajos como *Smart Organizations in Industry 5.0: A Human-Centric Approach* (Saniuk et al., 2022) e *Industria 5.0: un enfoque centrado en el ser humano* (Castellanos Alba, 2023) refuerzan la idea de que el nuevo paradigma no se limita a lo técnico, sino que incorpora consideraciones éticas, sociales y de sostenibilidad.

En paralelo, distintos foros internacionales constituyen espacios de referencia para el debate y la construcción de consensos en torno a la Industria 5.0. Entre ellos destacan el World Industry 5.0 Forum, que aborda la convergencia entre tecnología, sostenibilidad e innovación humana; el Foro Transfiere, celebrado en Málaga, que se ha consolidado como un punto de encuentro europeo en ciencia y tecnología; y encuentros como el Foro Personas e Industria en la Era de la Sociedad 5.0 (Universidad de los Andes, 2025) o el Forging Forum, que ponen de relieve la interacción entre el desarrollo industrial, la responsabilidad medioambiental y el bienestar social. También cabe mencionar el International Workshop on Industry 5.0 and Society 5.0 (IWIS), que reúne a investigadores internacionales para analizar tanto los beneficios como las barreras de este nuevo paradigma.

En el caso de España, la transición hacia una economía 5.0 requiere una reindustrialización inteligente, sustentada en la digitalización, la sostenibilidad y la resiliencia. Según el informe elaborado por PwC y Siemens (2025), esta transformación podría incrementar el peso de la industria del 16 % al 18 % del PIB en la próxima década, siempre que se prioricen inversiones estratégicas en infraestructuras, talento y tecnologías disruptivas. En paralelo, España está plenamente integrada en un

ecosistema de seguridad compartida, tanto en el marco de la Unión Europea como en el de la OTAN. En este contexto, la innovación tecnológica se convierte en un factor clave para reforzar la interoperabilidad con los aliados y garantizar la autonomía estratégica. Programas europeos como el Fondo Europeo de Defensa (FED) y el proyecto FCAS (Future Combat Air System), junto con iniciativas nacionales impulsadas por el Ministerio de Defensa, reflejan un compromiso creciente con la innovación disruptiva que esta revolución representa.

Además, el grave problema de la falta de crecimiento de la productividad total de los factores en la economía española y, particularmente, en su industria, en comparación con otros países de la Unión Europea, constituye un factor clave para la adopción de nuevas tecnologías. En este contexto, el desafío para España va más allá de la mera participación en consorcios internacionales y exige la consolidación de un ecosistema nacional de innovación en defensa, capaz de generar tecnologías soberanas y sostenibles en el tiempo. Esto implica no sólo el impulso de capacidades críticas en ámbitos como la ciberseguridad, la inteligencia artificial aplicada al entorno militar o la industria naval inteligente, entre otras, sino también el fomento de la colaboración público-privada, el fortalecimiento de la transferencia tecnológica entre universidades, centros de investigación y empresas, y la garantía de que las soluciones desarrolladas respondan a las prioridades estratégicas del país. En última instancia, la construcción de este ecosistema resulta esencial para reducir dependencias externas, reforzar la autonomía estratégica europea y posicionar a España como un actor relevante en el panorama tecnológico global de la defensa.

Por este motivo, analizar la transición de la Industria 4.0 a la Industria 5.0 en el sector de la defensa resulta crucial para identificar tanto las oportunidades estratégicas como los riesgos derivados de este proceso. España, como potencia media con un papel relevante en la seguridad europea y mediterránea, no puede adoptar una posición meramente receptora de tecnologías extranjeras. La innovación en defensa no sólo contribuye a mejorar la eficacia militar, sino que también genera efectos positivos en la economía nacional, fomenta el empleo altamente cualificado, impulsa la competitividad internacional y proporciona a las Fuerzas Armadas los medios adecuados para afrontar el conflicto actual, en el que la tecnología, como ha ocurrido históricamente, constituye un elemento clave para medir la capacidad operativa de los ejércitos.

Por otra parte, la transición hacia la Defensa 5.0 plantea desafíos transversales que van mucho más allá de lo puramente tecnológico, integrando dimensiones éticas, legales y estratégicas. Entre ellos, se encuentra la necesidad de establecer marcos claros para el uso responsable de la inteligencia artificial, garantizar la regulación y supervisión de sistemas autónomos en operaciones militares y promover prácticas de sostenibilidad en toda la cadena de producción y mantenimiento de la industria de defensa. De manera complementaria, resulta fundamental fortalecer la resiliencia frente a ciber amenazas, dado que la interconexión de sistemas y la dependencia de plataformas digitales avanzadas incrementan tanto la exposición a riesgos, como la criticidad de las infraestructuras. Este conjunto de retos subraya que la Industria 5.0 no es solo una cuestión de innovación tecnológica, sino un proceso complejo de transformación institucional y estratégica.

El propósito central de este trabajo es analizar la transición de la Industria 4.0 hacia la denominada Industria 5.0 en el sector de la defensa, prestando especial atención a los retos y oportunidades que esta transformación plantea para España. En este sentido, el artículo busca, en primer lugar, definir con claridad el concepto de Defensa 5.0 y poner de relieve sus diferencias respecto al paradigma anterior. Asimismo, se pretende examinar el papel de España en este proceso de cambio, tanto en su inserción en el marco internacional, a través de la Unión Europea y la OTAN, como en el fortalecimiento de un ecosistema nacional de innovación capaz de generar capacidades propias.

El artículo también se propone explorar de manera detallada la aplicación de las tecnologías 5.0 en distintos subsectores de la defensa, desde el ámbito aeronáutico, terrestre y naval, hasta la consultoría e ingeniería, la ciberseguridad y el ecosistema emergente de startups y empresas deeptech. Con ello, se pretende ofrecer una visión integral de cómo la innovación se materializa en diferentes áreas de las Fuerzas Armadas y de la industria nacional, y de qué manera puede contribuir a reforzar la autonomía estratégica y la competitividad tecnológica de España. Finalmente, se busca identificar los principales retos que la Defensa 5.0 plantea, tales como la soberanía tecnológica, la interoperabilidad con aliados o los dilemas éticos derivados del uso de sistemas autónomos y, a su vez, señalar las oportunidades que ofrece en términos de liderazgo europeo, desarrollo industrial y fortalecimiento de la seguridad nacional.

En este contexto, resulta pertinente preguntarse cómo España puede aprovechar esta transición para fortalecer su autonomía estratégica y desarrollo tecnológico en defensa. Por ello, la pregunta de investigación que guía este estudio puede formularse del siguiente modo: ¿cómo puede España aprovechar la transición hacia la Defensa 5.0 para reforzar su autonomía estratégica, su capacidad de innovación y su papel dentro de los marcos europeos, atlánticos y globales de seguridad?

La estructura del artículo responde a esta lógica de análisis progresivo. El epígrafe 2 se centra en explicar la evolución de la Industria 4.0 hacia la 5.0, con un enfoque en las implicaciones concretas que este cambio supone para el ámbito militar. En el apartado 3 se presenta un panorama general de la situación de España en materia de innovación en defensa, prestando atención tanto a los marcos institucionales como a los principales actores industriales. El punto 4 aborda la aplicación sectorial de las tecnologías 5.0 en las distintas áreas de la defensa. Finalmente, el apartado 5 ofrece las conclusiones del trabajo, sintetizando los hallazgos principales y apuntando las perspectivas de futuro en el horizonte de la Defensa 5.0.

2. De la Industria 4.0 a la 5.0 en el sector de la defensa

2.1 Principales tecnologías de la Industria 4.0: limitaciones y desafíos en el ámbito militar

En el ámbito de la defensa, la industria 4.0 ha permitido transformar la planificación, operación y mantenimiento de sistemas militares mediante la automatización inteligente, la conectividad en tiempo real y el análisis predictivo. Entre las principales tecnologías aplicadas a defensa destacan:

- Internet de las Cosas (IoT) y su derivado militar, el Internet of Battlefield Things (IoBT), que permite la interconexión de sensores, vehículos, armas y sistemas logísticos para mejorar la conciencia situacional y la toma de decisiones en tiempo real (Riola et al., 2020).
- Inteligencia Artificial (IA), utilizada para el análisis de datos operacionales, la detección de amenazas, la optimización logística y el control de sistemas autónomos (Corzo-Ussa et al., 2022).

- Big Data y analítica avanzada, que permiten procesar grandes volúmenes de información provenientes de múltiples fuentes (satélites, radares, redes tácticas) para generar inteligencia operativa y logística.
- Robótica, aplicada en tareas de desminado, vigilancia, mantenimiento y apoyo logístico en entornos hostiles.
- Gemelos digitales, que replican virtualmente sistemas militares para simular escenarios, predecir fallos y optimizar el rendimiento.
- Realidad virtual (VR), empleada en entrenamiento, simulación táctica y apoyo a tripulaciones.

Estas tecnologías no sólo mejoran la eficiencia operativa, sino que también permiten una mayor adaptabilidad en entornos complejos y dinámicos, como los escenarios de combate modernos. Su implementación, sin embargo, plantea desafíos en términos de interoperabilidad, ciberseguridad y dependencia tecnológica. Aunque la Industria 4.0 ha introducido avances significativos en el sector defensa, su implementación enfrenta limitaciones estructurales, estratégicas y éticas. Además, la interoperabilidad entre sistemas heredados y nuevas plataformas digitales representa un desafío técnico considerable. Las Fuerzas Armadas deben integrar tecnologías disruptivas sin comprometer la estabilidad de sus infraestructuras existentes ni la operatividad a corto plazo, lo que requiere inversiones sustanciales en modernización y ciberseguridad. Desde una perspectiva social y laboral, la automatización intensiva puede generar desempleo estructural en sectores vinculados a la defensa, afectando especialmente a tareas rutinarias y operativas. Según Lodeiro Encina (2018), esta transformación puede provocar tensiones sociales si no se acompaña de políticas de formación y reconversión profesional. Además, los empleadores también deben modificar su forma de actuar para poner en valor las capacidades apropiadas, entender el nuevo entorno de riesgo en el que deben desarrollar su actividad y adecuar la empresa en términos de procedimientos y personal para dar cabida a los nuevos paradigmas tanto en su propia producción como en los productos y los servicios accesorios de éstos.

Por su parte, el uso de tecnologías como la inteligencia artificial en sistemas de armas plantea dilemas éticos sobre la autonomía en la toma de decisiones letales, la responsabilidad legal en conflictos armados y la supervisión humana en operaciones críticas. Uno de los principales riesgos es la delegación de decisiones críticas a sistemas

autónomos, lo que puede generar situaciones en las que no exista una clara atribución de responsabilidad en caso de violaciones del Derecho Internacional Humanitario (Barroso y Pérez, 2025). Además, la IA puede reproducir sesgos algorítmicos que afecten a la identificación de objetivos, lo que incrementa el riesgo de daños colaterales o ataques injustificados. Barroso y Pérez (2025) advierten de que, sin marcos regulatorios adecuados, la implementación de IA en defensa puede vulnerar derechos fundamentales y generar escenarios de impunidad tecnológica. Desde el punto de vista de la sostenibilidad, el despliegue masivo de IA en defensa implica un alto consumo energético (Atausinchi Masias et al., 2025), uso intensivo de recursos naturales (como agua y minerales raros), y una huella de carbono significativa. La infraestructura tecnológica necesaria para operar sistemas autónomos, centros de datos, redes de comunicación, sensores, etc. contribuye al impacto ambiental de la industria militar, lo que exige una revisión crítica de su compatibilidad con los objetivos de sostenibilidad global.

Con respecto al resto de tecnologías, el uso de sensores, drones, plataformas autónomas y sistemas de vigilancia intensiva plantea riesgos de violación de la privacidad, deshumanización del combate y delegación de decisiones críticas a sistemas automatizados. Por ejemplo, el uso de visión artificial y algoritmos de clasificación en operaciones de inteligencia puede generar interpretaciones sesgadas o erróneas que afecten derechos fundamentales.

Además, tecnologías como el blockchain militar y el IoT táctico requieren una infraestructura altamente segura y energéticamente intensiva. Esto genera un conflicto con los principios de sostenibilidad, ya que el cifrado, la conectividad constante y el procesamiento distribuido aumentan el consumo energético en entornos donde los recursos son limitados (Atausinchi Masias et al., 2025). Investigaciones recientes han propuesto sensores de bajo consumo y protocolos criptográficos eficientes, pero aún persisten retos en la eficiencia espectral y la gestión de residuos tecnológicos. En cuanto a la sostenibilidad ambiental, el despliegue de tecnologías 4.0 en defensa puede afectar a ecosistemas sensibles (Calderón Leyton, 2024), especialmente en zonas de entrenamiento o despliegue. Por último, la dependencia tecnológica de proveedores extranjeros en componentes críticos (sensores, software, dispositivos de procesado y de

infraestructura, algoritmos...) plantea un dilema estratégico: ¿puede un país garantizar su soberanía tecnológica sin comprometer la ética y la sostenibilidad?

2.2 Concepto y principios de la Industria 5.0: de la defensa digital a la defensa cognitiva y humana

La Industria 5.0 representa una evolución del paradigma tecnológico que dominó la cuarta revolución industrial. Si bien la Industria 4.0 se centró, como hemos indicado anteriormente, en la automatización, la digitalización y la eficiencia operativa mediante tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA), el big data y los sistemas ciberfísicos, la Industria 5.0 introduce un enfoque más holístico. Este nuevo paradigma no busca sustituir la tecnología anterior, sino complementarla, reorientando sus objetivos hacia la creación de valor social, el respeto por los límites planetarios y el bienestar de los trabajadores. En palabras de Carayannis, y Morawska-Jancelewicz (2022), la Industria 5.0 “pone a las personas en el centro del proceso productivo” y redefine el propósito de la innovación industrial como un medio para alcanzar objetivos sociales y medioambientales.

Principios fundamentales de la Industria 5.0

La Comisión Europea ha definido tres pilares esenciales para la Industria 5.0: centrada en el ser humano, la sostenibilidad y la resiliencia. Se subraya la importancia de considerar al factor humano como eje sustantivo en los procesos de innovación y desarrollo sustentable, especialmente en entornos industriales y tecnológicos complejos. Estos principios tienen implicaciones directas en el ámbito de la defensa (Carayannis y Morawska-Jancelewicz, 2022):

1. Centrada en el ser humano: la tecnología debe estar al servicio del operador, facilitando su trabajo, protegiendo su salud física y mental, y respetando su dignidad. Esto incluye el diseño de sistemas ergonómicos, la inclusión de cobots (robots colaborativos), y la participación del personal en el desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas.

2. Sostenibilidad: la industria de defensa debe reducir su huella ecológica, optimizar el uso de recursos naturales y adoptar prácticas de economía circular. Tecnologías como la fabricación aditiva, la IA para la eficiencia energética y los gemelos digitales para el mantenimiento predictivo son claves en este proceso. Ambas tecnologías también ayudan a gestionar y aprovechar los recursos escasos.

3. Resiliencia: los sistemas deben ser robustos frente a interrupciones, adaptables a contextos cambiantes y capaces de operar en entornos de alta incertidumbre. Esto implica el desarrollo de infraestructuras críticas seguras, redes redundantes y capacidades de respuesta rápida ante ciberataques o fallos sistémicos.

Uno de los conceptos clave en esta transición es el del operador resiliente 5.0. Mientras que el operador 4.0 se concebía como un agente asistido por tecnología, capaz de interactuar con sistemas automatizados, el operador 5.0 es un sujeto activo que participa en el diseño, implementación y supervisión de las tecnologías que utiliza (Carros Suárez y Sarmiento Paredes, 2022) Este nuevo rol requiere habilidades cognitivas avanzadas, formación en ética tecnológica, competencias en ciberseguridad y capacidad de adaptación a entornos complejos. La defensa cognitiva se basa en esta figura, que combina intuición humana con capacidades aumentadas por la tecnología.

En línea con este enfoque centrado en el bienestar, el concepto de ‘hospitality 5.0’ se adapta al entorno militar para garantizar entornos operativos seguros, higiénicos y centrados en el bienestar del personal. Esto incluye el uso de sensores ambientales, sistemas de monitoreo de salud y protocolos de interacción humano-máquina que minimicen el estrés y la fatiga (Carros Suárez y Sarmiento Paredes, 2022).

La transición hacia la defensa 5.0 se apoya en un conjunto de tecnologías habilitadoras que permiten la implementación de los principios mencionados:

- Gemelos digitales: modelos virtuales de sistemas militares que permiten simular, predecir y optimizar operaciones. Son clave para el mantenimiento predictivo, la planificación estratégica y la formación avanzada.
- Cobots y robótica colaborativa: robots diseñados para interactuar de forma segura con humanos en tareas complejas o penosas, como la carga de pesos elevados, sesiones de actividad o vigilancia prolongada, desde logística hasta operaciones tácticas.

- IA explicable: algoritmos que no solo son eficientes, sino también transparentes, auditables y alineados con principios legales y morales.
- Realidad aumentada: herramientas para entrenamiento inmersivo, apoyo a la toma de decisiones en campo y visualización de datos operativos.
- Tecnologías bioinspiradas: sistemas que imitan procesos naturales para mejorar la eficiencia energética, la adaptabilidad y la sostenibilidad.
- Plataformas cognitivas: sistemas que integran procesamiento de lenguaje natural, reconocimiento de patrones y aprendizaje automático para apoyar la inteligencia operativa.

Estas tecnologías no solo transforman la forma en que se combate, sino también cómo se planifica, se entrena y se protege a los operadores. En el proceso de transición desde la Industria 4.0 hacia la Industria 5.0 en el ámbito de la defensa, se observa una evolución significativa en las tecnologías empleadas, no solo en términos funcionales, sino también en su orientación estratégica. La siguiente tabla presenta una comparativa entre las principales tecnologías utilizadas en cada paradigma, destacando cómo el enfoque 5.0 introduce elementos centrados en el ser humano, la sostenibilidad y la resiliencia. Esta transformación no implica un reemplazo total de las capacidades anteriores, sino una reconfiguración que busca integrar la dimensión cognitiva, emocional y ética en el diseño y aplicación de soluciones tecnológicas para la defensa.

Tabla 1. Factores determinantes: de la industria 4.0 a la defensa 5.0.

Tecnologías en Defensa 4.0	Tecnologías en Defensa 5.0	Diferencias clave
Internet de las Cosas (IoT) <i>Sistema de vigilancia perimetral inteligente en bases militares:</i>	Internet de las Cosas táctico centrado en el operador <i>Nube táctica de combate con inteligencia cognitiva, resiliencia adaptativa y priorización humana.</i>	Industria 4.0: Conecta dispositivos y sistemas para intercambio de datos y control remoto. Industria 5.0: Se adapta al operador humano y prioriza la seguridad y bienestar humano en entornos críticos.
Inteligencia Artificial (IA) <i>Sistema de análisis de imágenes satelitales para detección de objetivos</i>	IA explicable <i>Sistemas de armas letales autónomos (SALA)</i>	Industria 4.0: Optimiza procesos y toma decisiones automatizadas. Industria 5.0: Debe ser transparente, auditada y alineada con principios éticos, garantizando confianza y responsabilidad. La 5.0 incluye la 4.0 y la complementa.

Big Data analítica <i>Perfilado y desinformación</i>	Analítica cognitiva y contextual <i>Guerra cognitiva</i>	Industria 4.0: Analiza grandes volúmenes de datos para mejorar la eficacia. Industria 5.0: Se contextualiza con la percepción humana, integrando factores sociales y cognitivos en la interpretación.
Robótica autónoma <i>Nanorobots</i>	Robótica colaborativa (cobots) <i>Nanocobots</i>	Industria 4.0: Robots autónomos que ejecutan tareas con intervención humana. Industria 5.0: Robots colaborativos que trabajan junto a humanos en entornos compartidos, potenciando la interacción.
Gemelos digitales <i>Modelo virtual de fragata F110 para mantenimiento predictivo.</i>	Gemelos digitales cognitivos <i>Gemelo digital de una fragata F110 con integración cognitiva</i>	Industria 4.0: Simulan sistemas físicos para optimización y predicción. Industria 5.0: Incorporan variables cognitivas y emocionales, reflejando el impacto humano en los procesos.
Realidad virtual (VR) <i>Entrenamiento táctico inmersivo para tripulaciones.</i>	Realidad aumentada inmersiva <i>Sistema RA para apoyo táctico y resiliencia del operador.</i>	Industria 4.0: Entrena habilidades técnicas y operativas. Industria 5.0: Se orienta al bienestar y resiliencia psicológica, mejorando la experiencia humana.
Sistemas ciberfísicos <i>Integración de sensores y actuadores en vehículos blindados.</i>	Sistemas sociotécnicos resilientes <i>Arquitectura de mando y control adaptativa centrada en el operador</i>	Industria 4.0: Integran hardware y software para automatización. Industria 5.0: Se diseñan para adaptabilidad social, considerando diversidad y necesidades humanas.
Automatización inteligente <i>Enjambres de drones</i>	Automatización centrada en el ser humano <i>Enjambres de drones en interacción humana directa</i>	Industria 4.0: Busca eficiencia y reducción de costos. Industria 5.0: Respeta la autonomía y dignidad del operador, evitando deshumanización.
Blockchain <i>Registro seguro de la cadena logística militar.</i>	Blockchain sostenible y auditable <i>Plataforma blockchain para trazabilidad ética en suministros militares.</i>	Industria 4.0: Garantiza trazabilidad y seguridad en transacciones. Industria 5.0: Se optimiza para sostenibilidad y gobernanza ética, reduciendo impacto ambiental.
Simulación táctica digital <i>Centro de simulación para entrenamiento de combate terrestre.</i>	Simulación cognitiva centrada en el bienestar <i>Plataforma inmersiva para entrenamiento resiliente de tripulaciones navales.</i>	Industria 4.0: Reproduce escenarios técnicos para pruebas. Industria 5.0: Incorpora variables humanas y éticas en la toma de decisiones estratégicas.
Procesamiento avanzado.	Computación cuántica avanzada	Industria 4.0: Se centra en computación avanzada para análisis.

<i>Centro de datos para análisis de inteligencia operativa.</i>	<i>Guerra cuántica</i>	Industria 5.0: Incluye criptografía cuántica y decisiones aceleradas, con enfoque estratégico.
Sensores bioinspirados y biomiméticos <i>Sensores térmicos para monitoreo ambiental en bases</i>	Sensores bioinspirados y biomiméticos avanzados <i>Sensores biomiméticos para detección adaptativa en entornos hostiles.</i>	Industria 4.0: Realiza seguimiento de condiciones ambientales. Industria 5.0: Implementa detección adaptativa y resiliente basada en modelos biológicos, imitando la naturaleza.
Ciberseguridad <i>Sistema reactivo de protección de redes tácticas</i>	Ciberseguridad proactiva <i>Plataforma de ciberdefensa con IA predictiva y respuesta autónoma.</i>	Industria 4.0: Protección reactiva, centrada en responder a incidentes y vulnerabilidades. Industria 5.0: Implementa inteligencia cibernética predictiva y autoadaptativa, anticipando amenazas y ajustándose dinámicamente.
Redes de comunicación <i>Radio SDR táctica</i>	Redes de comunicación 6G o ultra seguras <i>Arquitectura 6G táctica para operaciones multidominio.</i>	Industria 4.0: Conectividad rápida y estable para intercambio de datos. Industria 5.0: Comunicaciones resilientes, seguras y con priorización humana, garantizando continuidad y protección en entornos críticos.

Fuente: elaboración propia.

Para España, la transición hacia la Defensa 5.0 representa una oportunidad estratégica para consolidar un ecosistema nacional de innovación centrado en el ser humano. Este proceso requiere reforzar la colaboración entre el Ministerio de Defensa, las universidades, los centros tecnológicos y las empresas. Asimismo, resulta fundamental desarrollar capacidades soberanas en tecnologías críticas como la inteligencia artificial, la ciberseguridad y los gemelos digitales, al tiempo que se fomenta una participación activa en los marcos europeos de innovación, como Horizon Europe y el Fondo Europeo de Defensa. Todo ello debe ir acompañado de un compromiso firme para que la innovación tecnológica esté alineada con los valores democráticos, los derechos humanos y los objetivos de sostenibilidad. En este sentido, la Defensa 5.0 no constituye únicamente una evolución técnica, sino una transformación institucional profunda que exige una nueva cultura organizativa, una gobernanza de la tecnología y una visión estratégica de largo plazo.

2.3 El componente humano en la transformación tecnológica de la defensa

La transición hacia la Industria 5.0 implica un cambio de enfoque: de la defensa digital a una defensa cognitiva y humana. En el contexto militar, esto significa pasar de sistemas automatizados y conectados, propios de la defensa 4.0, a sistemas que integran capacidades cognitivas humanas, ética operativa y colaboración entre operadores y máquinas inteligentes que, más allá de la naturaleza automatizada de sus decisiones, demuestren actitud activa en la evaluación de riesgos, aplicación de normas y criterios de decisión.

La defensa digital, basada en los principios de la Industria 4.0, ha permitido avances significativos, sin embargo, estos avances han generado también, como se menciona en párrafos anteriores, desafíos éticos, estratégicos y operativos, como la delegación de decisiones letales a algoritmos, la vulnerabilidad cibernética y la necesidad de garantizar una supervisión humana efectiva en entornos altamente automatizados. Este último aspecto es especialmente relevante, ya que la interacción entre operadores y sistemas inteligentes debe diseñarse para preservar la supervisión humana, la responsabilidad legal y el control operacional en todo momento (Barroso y Pérez, 2025; IEEE, 2020).

La defensa cognitiva y humana propone un modelo en el que la tecnología se adapta al operador, no al contrario. Este enfoque parte del reconocimiento de que los sistemas militares no deben ser únicamente eficientes, sino también intuitivos, seguros y responsables. En este paradigma, el operador no es un mero ejecutor de comandos automatizados, sino un agente activo en la toma de decisiones, cuya percepción, motivación y resiliencia son elementos estratégicos. Esto implica el desarrollo de interfaces centradas en el usuario, diseñadas bajo principios de ergonomía cognitiva y accesibilidad, que faciliten la interacción fluida entre humanos y sistemas inteligentes. Según Chaca-Espinoza et al. (2025), la integración de IA en entornos de diseño centrado en el usuario permite crear sistemas que actúan como colaboradores cognitivos, capaces de adaptarse a las necesidades del operador en tiempo real.

Asimismo, se promueve el uso de sistemas de apoyo a la toma de decisiones, que combinan procesamiento de lenguaje natural, análisis predictivo y visualización avanzada para asistir al operador en contextos de alta complejidad. Estos sistemas no sustituyen el juicio humano, sino que lo amplifican, reduciendo la carga cognitiva y

mejorando la precisión operativa. Los entornos de simulación inmersivos, basados en realidad aumentada (RA) permiten entrenar habilidades tácticas, cognitivas y emocionales en escenarios realistas pero controlados. Maraggi (2021) destaca que estos entornos no solo mejoran el rendimiento técnico, sino que también fortalecen la resiliencia psicológica del personal militar ante situaciones críticas. Finalmente, este modelo tecnológico debe respetar los derechos fundamentales de los operadores, como la privacidad, la autonomía y la seguridad psicológica. En el ámbito militar, esto implica garantizar que los sistemas no vulneren la intimidad del personal, que las decisiones automatizadas sean auditables, y que se evite la exposición prolongada a entornos de estrés digital.

En este nuevo escenario, los profesionales del sector defensa se enfrentan a retos formativos sin precedentes. La diversidad y complejidad de los sistemas tecnológicos requieren perfiles multidisciplinares, capaces de operar en entornos altamente digitalizados, con competencias en inteligencia artificial, ciberseguridad, análisis de datos y simulación avanzada. Esta exigencia transforma los criterios tradicionales de selección, evaluación y promoción del personal militar, obligando a las instituciones a revisar sus modelos de formación y desarrollo profesional (Centro Universitario de la Defensa. Academia General Militar, 2022; European Defence Agency, 2021).

Esta creciente dependencia de soluciones tecnológicas en defensa está provocando una transformación profunda en los vectores de carrera del personal militar y civil. La especialización técnica, la capacidad de operar sistemas complejos y la familiaridad con entornos digitales están desplazando los criterios tradicionales de valoración, como la antigüedad o la experiencia operativa convencional. Esta evolución puede generar dinámicas de conformidad, en las que los decisores tienden a alinearse con las opciones más respaldadas por los sistemas inteligentes, en detrimento de propuestas singulares o disruptivas. Los algoritmos, al asignar mayor fiabilidad a soluciones que coinciden con sus modelos de referencia, pueden reforzar esta tendencia, relegando aquellas que, aunque innovadoras, no encajan en sus patrones de predicción (Helbing, 2019; Bryson, 2018). En este contexto, el valor de la singularidad humana, la intuición, la experiencia contextual y la capacidad de pensar fuera de los márgenes establecidos, corre el riesgo de quedar eclipsado por la lógica estadística de los sistemas, lo que exige una revisión crítica de los modelos de desarrollo profesional y toma de decisiones en defensa.

Por último, el componente humano introduce variables impredecibles como la evaluación subjetiva del riesgo, la comprensión contextual de las operaciones y, en última instancia, el azar. Estos factores pueden cuestionar la fiabilidad de los sistemas tecnológicos y generar tensiones entre la confianza en la máquina y la autonomía del operador humano. En este sentido, la defensa 5.0 no debe concebirse como una sustitución del ser humano, sino como una co-evolución donde la tecnología potencia, pero no reemplaza, la capacidad crítica y estratégica de las personas (Floridi et al., 2018; Defence AI Strategy UK, 2022).

3. Panorama general de la Defensa 5.0 en España

3.1 Estrategia de innovación del Ministerio de Defensa

La transformación hacia una Defensa 5.0 en España requiere una estrategia de innovación sólida, coherente y alineada con los desafíos tecnológicos, operativos y éticos del nuevo modelo. En este contexto, el Ministerio de Defensa ha articulado su política de I+D+i a través de la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID), que constituye el principal instrumento de planificación y ejecución de las actuaciones en innovación tecnológica en el ámbito militar. La ETID 2020, vigente en la actualidad, se integra dentro de la Estrategia Española de Ciencia, Tecnología e Innovación (EECTI 2021–2027) y los Planes Estatales de Investigación Científica y Técnica y de Innovación, lo que permite una articulación efectiva entre las prioridades sectoriales del Ministerio de Defensa y los objetivos generales del sistema nacional de innovación. Sus objetivos estratégicos se articulan en tres pilares complementarios:

- **Objetivos tecnológicos:** dirigir las inversiones en I+D+i hacia tecnologías de alto impacto en la mejora de las capacidades militares, como la inteligencia artificial, los sistemas autónomos, los gemelos digitales, la ciberseguridad avanzada y la robótica colaborativa.
- **Cooperación nacional e internacional:** promover sinergias entre el Ministerio de Defensa, el Ministerio de Ciencia e Innovación, universidades, centros tecnológicos, empresas y organismos europeos como el Fondo Europeo de Defensa (FED) y el programa Horizonte Europa.

- Mejora continua: posicionar al Ministerio como un catalizador de innovación, capaz de integrar talento, recursos y capacidades para fortalecer el tejido científico-tecnológico nacional y garantizar la autonomía estratégica del país.

La ETID establece que toda actuación en innovación debe estar guiada por los principios rectores de eficiencia, sostenibilidad, resiliencia y ética tecnológica. En el marco de la Defensa 5.0, esto implica que las soluciones desarrolladas no solo deben ser técnicamente avanzadas, sino también respetuosas con los derechos fundamentales, el bienestar del personal militar y los compromisos medioambientales. Además, se subraya la importancia de la cooperación multinivel, tanto en el ámbito nacional como internacional. En el plano nacional, se destaca el protocolo de actuación entre el Ministerio de Defensa y el Ministerio de Ciencia e Innovación, que permite coordinar esfuerzos y optimizar recursos. En el plano internacional, se promueve la participación activa en consorcios europeos, proyectos duales y plataformas de innovación compartida. A continuación, se presenta una tabla con algunos de los consorcios, plataformas y proyectos colaborativos relevantes en 2025 en el ámbito de la innovación en defensa, tanto a nivel nacional como internacional, alineados con los principios de la ETID y el enfoque de Defensa 5.0:

Tabla 2. Consorcios, plataformas y proyectos colaborativos ETID 2025.

Nombre	Agentes Implicados	Concepto
EDF (European Defence Fund)	Comisión Europea, Estados miembros, empresas y centros de I+D	Financia proyectos colaborativos de defensa en Europa, incluyendo tecnologías duales, inteligencia artificial, ciberseguridad y sistemas autónomos.
DIANA (Defence Innovation Accelerator for the North Atlantic)	OTAN, empresas tecnológicas, universidades	Aceleradora de innovación en defensa con sedes en Madrid y León. Promueve soluciones disruptivas en IA, sensores, biotecnología y ciberseguridad.
FEINDEF Innovation Hub	Ministerio de Defensa, Industria, universidades	Plataforma nacional de innovación que conecta agentes públicos y privados. En 2025 ha sido clave para mostrar tecnologías duales y fomentar la cooperación internacional.
Plan ReArmar Europa / Preparación 2030	Comisión Europea, Estados miembros	Iniciativa estratégica para reforzar la base industrial y tecnológica de defensa europea. Incluye financiación conjunta y medidas para impulsar la innovación sostenible y ética.
Programa COINCIDENTE	Ministerio de Defensa, empresas tecnológicas	Financia proyectos de I+D con aplicación dual (civil y militar). En 2025 se han lanzado nuevas convocatorias centradas en IA, ciberseguridad y sostenibilidad.

Alhambra Venture – Vertical de Defensa	Startups españolas, inversores, Tecdual	Evento de innovación donde se presentaron soluciones duales como drones híbridos, robots tácticos y plataformas de ciberseguridad.
EDA (European Defence Agency) Proyectos Cooperativos	Estados miembros de la UE, industria, centros de investigación	Promueve proyectos multinacionales en defensa, incluyendo interoperabilidad, sostenibilidad y resiliencia tecnológica.

Fuente: elaboración propia.

La estrategia, a su vez, identifica un conjunto de líneas de I+D+i prioritarias para el periodo 2021–2027, que incluyen:

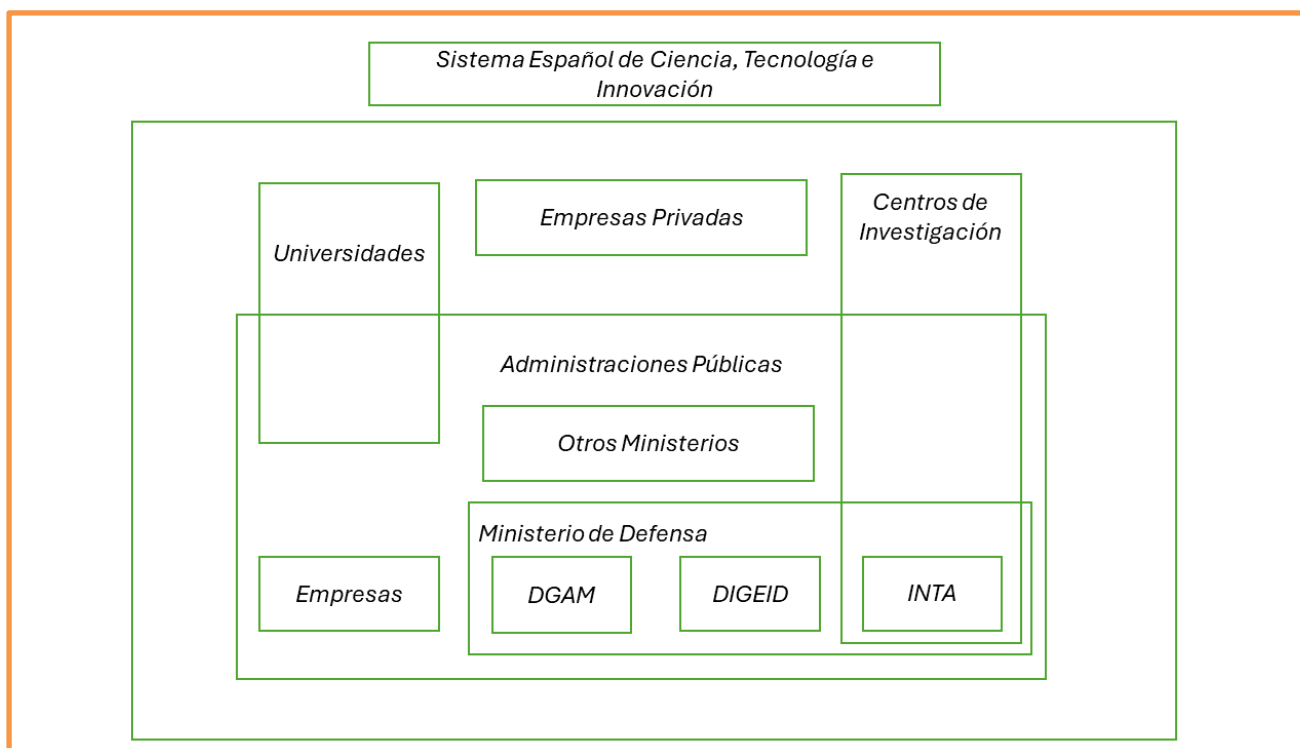
- Sistemas autónomos y colaborativos para operaciones multidominio.
- Inteligencia artificial explicable aplicada a mando y control, logística y ciberdefensa.
- Gemelos digitales cognitivos para simulación, mantenimiento predictivo y planificación estratégica.
- Tecnologías cuánticas y fotónicas para comunicaciones seguras y sensores avanzados.
- Robótica colaborativa para apoyo logístico, desminado y tareas de riesgo.
- Plataformas resilientes para entornos hostiles y de alta incertidumbre.

Estas capacidades están alineadas con los objetivos de la Directiva de Defensa Nacional (DDN 2020) y la Directiva de Política de Defensa (DPD 2020), que establecen la necesidad de dotar a las Fuerzas Armadas de herramientas tecnológicas que garanticen su libertad de acción, interoperabilidad con aliados y capacidad de respuesta ante amenazas emergentes.

Por otra parte, el Ministerio de Defensa ha impulsado la creación de un ecosistema de innovación en defensa, que incluye a la Dirección General de Estrategia e Innovación de la Industria de Defensa (DIGEID) como órgano coordinador de la I+D+i, el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) como agente ejecutor de proyectos tecnológicos, la Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación, encargada de diseñar y supervisar los planes estratégicos y las empresas públicas como ISDEFE, que actúan como puente entre el sector público y privado. Este ecosistema se articula con el Sistema Español de Ciencia, Tecnología e Innovación, lo que permite aprovechar instrumentos como los Planes Estatales de Investigación y los fondos

europeos para financiar proyectos de alto impacto. En la figura 1 se representa el esquema del ecosistema.

Figura. 1. Ecosistema de innovación en defensa y su articulación con el sistema español de ciencia, tecnología e innovación.



Fuente: elaboración propia.

La Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID) reconoce que la transición hacia la Defensa 5.0 no se limita a una mera actualización tecnológica, sino que constituye una transformación institucional profunda, que exige una nueva cultura organizativa en el seno del Ministerio de Defensa. En este contexto, se promueve la formación continua del personal militar en competencias digitales y cognitivas, con el fin de garantizar su adaptación a entornos operativos cada vez más automatizados y complejos. Asimismo, se impulsa el diseño centrado en el operador, que prioriza la usabilidad, la seguridad y el bienestar físico y psicológico del personal, en línea con los principios de la Industria 5.0.

La gobernanza de la tecnología se convierte en un pilar fundamental, contemplando mecanismos de supervisión humana, transparencia algorítmica y protección de datos, especialmente en el uso de inteligencia artificial y sistemas autónomos. Además, se establece la necesidad de realizar evaluaciones de impacto social y ambiental de las soluciones tecnológicas, asegurando que su implementación no comprometa los derechos fundamentales ni los compromisos medioambientales asumidos por España. En este sentido, la ETID se configura como una herramienta estratégica para anticipar el futuro, construir capacidades soberanas y posicionar a España como un actor relevante en el ecosistema europeo de defensa e innovación, en consonancia con los objetivos de la Estrategia Española de Ciencia, Tecnología e Innovación 2021–2027 y los principios de la Industria 5.0 (Ministerio de Defensa, 2020)

3.2 Principales actores institucionales

Para implementar esta estrategia, diversos actores institucionales desempeñan funciones clave en el ecosistema de innovación en defensa. La transición hacia una Defensa 5.0 en España no puede entenderse sin el papel articulador de los principales actores institucionales. Estos organismos no solo ejecutan políticas tecnológicas, sino que también actúan como catalizadores de la transformación institucional y estratégica que exige el nuevo paradigma.

En este contexto, destacan especialmente la Dirección General de Estrategia e Innovación (DIGEID), la Dirección General de Armamento y Material (DGAM), el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), la empresa pública ISDEFE, y otras entidades como el CESEDEN o el CDTI. Cada uno de ellos cumple funciones específicas que, en conjunto, permiten la implementación efectiva de la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID) y la consolidación de un nuevo modelo de defensa. A continuación, se explicarán brevemente las funciones de cada una de estas instituciones.

La DIGEID, dependiente de la Secretaría de Estado de Defensa, tiene encomendada la planificación y desarrollo de la política industrial de la Defensa, así como la cooperación industrial en esta materia, a nivel nacional e internacional. Además, lidera la implementación de la ETID, supervisa los programas de I+D+i y articula la colaboración

entre los distintos actores del sistema nacional de ciencia y tecnología. Entre sus funciones clave destacan:

- Identificación de capacidades críticas en tecnologías emergentes como la inteligencia artificial explicable, los sistemas autónomos colaborativos, los gemelos digitales cognitivos y la robótica avanzada.
- Participación en consorcios europeos como el Fondo Europeo de Defensa (EDF) y la Agencia Europea de Defensa (EDA), promoviendo la interoperabilidad y la autonomía estratégica.

La DIGEID trabaja además para impulsar la creación de plataformas colaborativas como el FEINDEF Innovation Hub, que conecta empresas, startups, universidades y centros tecnológicos para acelerar la transferencia de conocimiento y fomentar la innovación disruptiva.

Hay que destacar la Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación de la DIGEID, que es responsable de diseñar y supervisar los planes estratégicos de I+D+i en el ámbito militar. Su labor consiste en traducir los objetivos de la ETID en líneas de actuación concretas, coordinando los esfuerzos entre la DGAM, el INTA, ISDEFE y otros agentes del ecosistema. Entre sus funciones destacan:

- Definición de prioridades tecnológicas para el periodo 2021–2027, incluyendo IA explicativa, robótica colaborativa, tecnologías cuánticas y plataformas resilientes.
- Evaluación de proyectos de innovación, asegurando su alineación con los principios de sostenibilidad, resiliencia y respeto a los derechos fundamentales.
- Articulación con el Sistema Español de Ciencia, Tecnología e Innovación, aprovechando instrumentos como los Planes Estatales de Investigación y los fondos europeos.

Esta subdirección además promueve la formación continua del personal militar en competencias digitales, éticas y cognitivas, en línea con el modelo de operador resiliente 5.0.

La DGAM, por su parte, dependiente también de la Secretaría de Estado, es el órgano del Ministerio de Defensa encargado de la planificación y desarrollo de la política de armamento y material del Departamento, así como la supervisión y dirección de su ejecución. A través de la Subdirección General de Adquisiciones de Armamento y

Material, realiza la administración y gestión económica y contractual de los programas de investigación y desarrollo, así como de programas de obtención, de modernización y de sostenimiento común, no incluidos en la contratación centralizada, de sistemas de armas y equipos de defensa, incluyendo los programas de cooperación internacional. También se ocupa de la gestión, negociación y administración de los contratos que pudieran derivarse del apoyo a la internacionalización de la industria española de defensa y la exportación asociada de material de defensa.

Por otro lado, el INTA es el organismo público de investigación especializado en aeronáutica, espacio, defensa y seguridad. Su papel en la Defensa 5.0 es fundamental, ya que actúa como ejecutor técnico de proyectos de alta complejidad, desarrollando soluciones que integran tecnologías avanzadas con principios éticos y sostenibles. También participa activamente en proyectos europeos y en iniciativas como DIANA (Defence Innovation Accelerator for the North Atlantic), donde se promueven soluciones disruptivas en biotecnología, ciberseguridad y sistemas autónomos.

También hay que mencionar a la empresa pública ISDEFE, propiedad del Ministerio de Defensa, que actúa como consultora estratégica y tecnológica en proyectos de defensa, seguridad, espacio y transporte. En el contexto de la Defensa 5.0, ISDEFE cumple una función de puente entre los sectores público y privado, facilitando la integración de soluciones innovadoras en los sistemas operativos de las Fuerzas Armadas. Sus principales aportaciones incluyen:

- Diseño y modelado de sistemas sociotécnicos resilientes, que incorporan variables humanas, éticas y medioambientales.
- Consultoría en gobernanza tecnológica, especialmente en la supervisión de algoritmos, protección de datos y evaluación de impacto social.
- Apoyo a la transformación digital del Ministerio de Defensa, mediante la implementación de plataformas cognitivas, automatización centrada en el ser humano y simulación inmersiva.

Hay que añadir que ISDEFE contribuye al diseño de entornos operativos seguros, aplicando principios de ergonomía cognitiva y hospitalidad 5.0 para mejorar el bienestar del personal militar.

También es necesario un órgano docente e investigador, el CESEDEN. Como órgano de pensamiento estratégico del Ministerio de Defensa, desempeña un papel clave en la reflexión legal y doctrinal sobre la aplicación de tecnologías emergentes en el ámbito militar. En el marco de la Defensa 5.0, su contribución se centra en:

- Análisis de las implicaciones cognitivas de las operaciones militares, promoviendo una aproximación centrada en el ser humano.
- Desarrollo de marcos éticos para el uso de IA y sistemas autónomos, garantizando la supervisión humana y la transparencia algorítmica.
- Formación en liderazgo tecnológico y gobernanza, dirigida a oficiales y responsables de innovación.

El CESEDEN tiene entre sus funciones fomentar la cultura de defensa en la sociedad y colaborar con universidades y centros de investigación en la elaboración de trabajos y proyectos de investigación adaptados al nuevo paradigma tecnológico.

Por último, aunque no forma parte directamente del Ministerio de Defensa, el CDTI es un actor relevante en la financiación de proyectos de innovación con aplicación dual. Su colaboración con la DGAM, la DIGEID y el programa COINCIDENTE permite canalizar recursos hacia empresas tecnológicas que desarrollan soluciones aplicables tanto en el ámbito civil como militar. En el contexto de la Defensa 5.0, el CDTI:

- Financia startups y pymes deeptech, que trabajan en drones híbridos, plataformas de ciberseguridad y robótica táctica.
- Promueve la transferencia tecnológica, facilitando la conexión entre investigación académica y necesidades operativas.
- Impulsa la internacionalización de la innovación española, mediante su participación en programas europeos como Horizon Europe y el EDF.

3.3 Grandes contratistas nacionales

Las empresas del FEINDEF Innovation Hub, como Indra, Navantia, Airbus Defence and Space España, GMV o Santa Bárbara Sistemas desempeñan un papel clave en la configuración de un ecosistema nacional de innovación en defensa.

Indra se posiciona como líder en sistemas inteligentes y defensa digital, articulando su estrategia en torno a la digitalización de sistemas operativos, la inteligencia artificial explicativa y la ciberdefensa avanzada. Como coordinador industrial del programa FCAS (Future Combat Air System), lidera el desarrollo de sensores inteligentes, sistemas de mando y control, y plataformas de simulación cognitiva. Su apuesta por la IA explicable permite decisiones operativas transparentes y auditables, alineadas con principios éticos, mientras que sus soluciones de ciberseguridad militar integran análisis predictivo, detección de amenazas en tiempo real y protección de infraestructuras críticas. En el ámbito de la sostenibilidad, Indra ha incorporado tecnologías de eficiencia energética y mantenimiento predictivo, reduciendo la huella ecológica de las operaciones militares, y participa activamente en el FEINDEF Innovation Hub, promoviendo la colaboración con startups y universidades.

Navantia, única empresa española incluida en el ranking de las 100 principales compañías de defensa a nivel mundial (León et al., 2025), ha iniciado una profunda transformación hacia el modelo de astillero inteligente, alineado con los principios de la Industria 5.0. Su participación en el desarrollo de las fragatas F110, consideradas un ejemplo paradigmático de defensa cognitiva, refleja esta evolución. Estas embarcaciones incorporan gemelos digitales, sensores avanzados, sistemas de mando y control colaborativos y plataformas de mantenimiento predictivo, optimizando el rendimiento operativo y garantizando la seguridad del personal y la sostenibilidad del ciclo de vida del buque. Además, Navantia ha impulsado el desarrollo de plataformas navales no tripuladas, como drones de superficie y submarinos autónomos, que operan en entornos hostiles con supervisión humana. Estas soluciones integran IA explicativa, robótica colaborativa y diseño centrado en el operador. En el plano organizativo, ha promovido la formación en competencias digitales y cognitivas, y participa en consorcios europeos como el EDF y en iniciativas nacionales como el programa COINCIDENTE.

Airbus Defence and Space España es un actor estratégico en el ámbito aeroespacial y de defensa, con fuerte presencia en programas multinacionales y una apuesta decidida por la innovación disruptiva. Su participación en el FCAS, junto a Indra y otros socios europeos, representa uno de los pilares de la autonomía tecnológica en defensa. Trabaja en el desarrollo de cazas de sexta generación que incorporan enjambres inteligentes de UAVs, sensores cognitivos, IA explicable y simulación inmersiva. Además, ha

desarrollado soluciones en comunicaciones seguras, satélites militares y plataformas de mando y control, integrando tecnologías cuánticas, fotónicas y de procesamiento contextual. Su colaboración con el INTA, ISDEFE y universidades, así como su participación en el DIANA y el EDF, refuerzan su compromiso con la innovación sostenible, complementado por prácticas de economía circular en sus procesos industriales.

GMV, especializada en ingeniería de sistemas, ciberseguridad, espacio y defensa, centra su contribución en el desarrollo de plataformas cognitivas, simulación avanzada y ciberdefensa adaptativa. Ha trabajado en proyectos de modelado y simulación de escenarios tácticos mediante realidad aumentada, gemelos digitales y algoritmos de aprendizaje automático, entrenando habilidades cognitivas, emocionales y operativas en entornos controlados. Sus sistemas de ciberdefensa basados en IA detectan patrones de ataque, responden de forma autónoma y garantizan supervisión humana, alineándose con principios de transparencia algorítmica y resiliencia tecnológica. En el sector espacial, colabora con el INTA y la Agencia Espacial Española en satélites de observación, navegación y comunicaciones seguras, y participa en el programa COINCIDENTE.

Santa Bárbara Sistemas, referente en sistemas de armamento terrestre, ha iniciado su transformación hacia la Industria 5.0 mediante la automatización de procesos, robótica colaborativa y mantenimiento predictivo. Su participación en programas de modernización del Ejército de Tierra y en iniciativas de innovación dual refuerza su papel estratégico. La empresa ha incorporado herramientas digitales para la trazabilidad y gestión eficiente de sistemas complejos y promueve la formación especializada en entornos tecnológicos, contribuyendo a la resiliencia operativa y a la soberanía tecnológica nacional.

Por último, pero no menos relevante, Escribano Mechanical & Engineering se ha consolidado como un referente nacional en sistemas electroópticos, estaciones de armas remotamente controladas y soluciones avanzadas para defensa terrestre y aérea. Su estrategia de innovación se orienta hacia la Industria 5.0, integrando tecnologías disruptivas como gemelos digitales, robótica colaborativa y ciberseguridad predictiva en sus plataformas. La compañía desarrolla sistemas de observación y puntería que incorporan IA explicable, garantizando transparencia en la toma de decisiones críticas y

priorizando la seguridad del operador. Además, ha impulsado la conectividad resiliente y segura en entornos tácticos mediante redes adaptativas, reforzando la interoperabilidad con sistemas aliados. En el ámbito de sostenibilidad, Escribano aplica mantenimiento predictivo y procesos de fabricación eficientes, reduciendo el impacto ambiental y optimizando el ciclo de vida de sus productos. Su participación activa en el FEINDEF Innovation Hub y en programas colaborativos con universidades y startups evidencia su compromiso con la soberanía tecnológica y la creación de un ecosistema nacional de innovación en defensa.

3.4 El papel de las pymes y de la colaboración internacional

La transición hacia una Defensa 5.0 en España no puede entenderse sin considerar el papel estratégico que desempeñan las pequeñas y medianas empresas (pyme) y la colaboración internacional en el marco de organizaciones como la OTAN, la Unión Europea y el Fondo Europeo de Defensa (EDF). Estos dos elementos, tejido empresarial y cooperación supranacional, constituyen pilares fundamentales para la innovación tecnológica, la autonomía estratégica y la resiliencia operativa del sistema de defensa español.

En el ecosistema industrial de defensa español, las pymes representan aproximadamente el 85 % del total de empresas del sector, según datos de Aesmide (2025). Este predominio no solo refleja su peso cuantitativo, sino también cualitativo, dado que muchas de estas empresas lideran desarrollos tecnológicos en áreas clave como la inteligencia artificial, la ciberseguridad, la robótica, los sistemas de simulación y las tecnologías de doble uso (Infodefensa, 2025a). La flexibilidad, agilidad y capacidad de adaptación de las pymes les permite responder con rapidez a los retos tecnológicos emergentes. Por ejemplo, empresas especializadas en software para comunicaciones satelitales y de defensa anti-jamming (contra interferencias intencionadas) han demostrado que es posible competir en mercados internacionales y participar en proyectos estratégicos de defensa desde una estructura empresarial reducida. Muchas de estas compañías, surgidas como spin-offs universitarias o deeptech, están contribuyendo activamente a la transformación digital del sector militar, desarrollando

soluciones que combinan eficiencia operativa con sostenibilidad y ética tecnológica (Zamora Torralba, 2025).

Además, el auge de las tecnologías duales ha abierto nuevas oportunidades para las pymes. En sectores como el aeroespacial, la simulación cognitiva o la protección de infraestructuras críticas, las pequeñas empresas están desarrollando productos que, además de reforzar la seguridad nacional, también tienen impacto positivo en la economía civil (Infodefensa, 2025a).

La participación de las pymes en el ámbito de la defensa ha sido históricamente limitada por barreras como la complejidad normativa, la falta de acceso a financiación y la dificultad para integrarse en consorcios internacionales. Sin embargo, en los últimos años, la Unión Europea ha implementado mecanismos específicos para revertir esta situación. El Fondo Europeo de Defensa (EDF), lanzado en 2021, con un presupuesto de 7.953 millones de euros para el periodo 2021–2027, se ha convertido en el principal instrumento para fomentar la investigación y el desarrollo colaborativo en defensa (Zabala Innovation, 2025). El EDF no solo financia proyectos liderados por grandes contratistas, sino que promueve activamente la participación de pyme y centros de investigación mediante convocatorias específicas. En 2025, por ejemplo, se han lanzado dos convocatorias no temáticas dirigidas exclusivamente a pymes innovadoras, con financiación que puede cubrir hasta el 100% de los costes elegibles. Estas iniciativas buscan acelerar el desarrollo de tecnologías de vanguardia, facilitar la validación de prototipos y promover la cooperación transnacional (Zabala Innovation, 2025).

España ha sabido posicionarse como uno de los países más activos en el EDF, liderando 28 de los 91 proyectos en los que participa y obteniendo un retorno económico significativo. Este protagonismo se ha traducido en oportunidades concretas para las pymes nacionales, que han accedido a consorcios europeos, han escalado sus soluciones tecnológicas y han fortalecido su presencia en el mercado internacional (Infodefensa, 2025a).

No obstante, las pymes enfrentan desafíos significativos, especialmente en el acceso a financiación. Un estudio reciente de la Dirección General de Industria de Defensa y Espacio (DG DEFIS) reveló que el 40 % de las pymes del sector defensa consideran difícil o muy difícil acceder a financiación, lo que restringe su capacidad de crecimiento y

de participación en proyectos estratégicos (Comisión Europea, 2024). Para abordar esta brecha, la Comisión ha propuesto instrumentos financieros específicos, como fondos de capital riesgo y mecanismos de garantía, que buscan incentivar la inversión privada en tecnologías de defensa (Comisión Europea, 2025).

En términos de internacionalización, la UE ha promovido la participación de las pymes en programas de cooperación con terceros países, como Corea del Sur, Japón, Canadá y el Reino Unido, mediante Acuerdos de Asociación en Seguridad y Defensa. Estos acuerdos permiten a las pymes poder acceder a licitaciones conjuntas, compartir conocimientos técnicos y participar en misiones de la Política Común de Seguridad y Defensa (PCSD) (Servicio Europeo de Acción Exterior, 2020; 2018).

3.5 Universidades y OPIs: generadores de conocimiento y socios estratégicos en innovación

La consolidación de un ecosistema nacional de innovación en defensa requiere no solo la participación activa del sector industrial, sino también la implicación estratégica de las universidades y los Organismos Públicos de Investigación (OPIs). Estas instituciones desempeñan un papel fundamental en la generación de conocimiento científico, el desarrollo de tecnologías emergentes y la formación de capital humano especializado, elementos clave para avanzar hacia un modelo de Defensa 5.0. En este contexto, la colaboración entre el ámbito académico y las empresas tecnológicas permite acelerar la transferencia de resultados de investigación hacia aplicaciones operativas, fortaleciendo la soberanía tecnológica y la autonomía estratégica del país.

Las universidades españolas han intensificado su participación en proyectos de I+D+i vinculados a defensa, contribuyendo al desarrollo de capacidades críticas como la inteligencia artificial explicativa, la robótica colaborativa, la simulación cognitiva, la fotónica avanzada y los sistemas cuánticos aplicados a entornos multidominio. Esta contribución no se limita a la investigación básica, sino que se extiende a la innovación aplicada, mediante la creación de prototipos, pruebas de concepto y validación tecnológica en colaboración con empresas, entre otras, con las mencionadas en apartados anteriores. A través de convenios, cátedras universitarias y centros mixtos de

investigación, se han establecido canales estables de cooperación que permiten alinear los objetivos científicos con las necesidades estratégicas del sector defensa.

Por su parte, los OPIs como el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y el Centro para el Desarrollo Tecnológico y la Innovación (CDTI) actúan como catalizadores de innovación, aportando infraestructuras científicas de alto nivel, capacidades de experimentación avanzada y experiencia en programas internacionales. El INTA, por ejemplo, participa en el desarrollo de tecnologías aeroespaciales, satélites de observación y sistemas de navegación seguros, en estrecha colaboración con empresas y universidades. El CSIC, con su red de institutos especializados, contribuye al avance en materiales inteligentes, sensores cognitivos y algoritmos de procesamiento contextual, mientras que el CDTI facilita la financiación de proyectos duales con aplicación civil y militar.

Estas sinergias se materializan en iniciativas como los programas mencionados en la tabla 2. Además de su papel en la investigación, las universidades son responsables de formar a la próxima generación de profesionales en competencias digitales, cognitivas y estratégicas, esenciales para operar en entornos de defensa cada vez más complejos y tecnológicamente exigentes. La creación de programas de máster y doctorado especializados en tecnologías de defensa, inteligencia artificial, ciberseguridad y sistemas autónomos, junto con la incorporación de contenidos duales en titulaciones técnicas, contribuye a preparar perfiles altamente cualificados y adaptados a las necesidades del sector.

En conjunto, la participación de universidades y OPIs en el ecosistema de innovación en defensa no solo fortalece la base científica y tecnológica del país, sino que también garantiza que los desarrollos estén alineados con principios éticos, criterios de sostenibilidad y prioridades estratégicas nacionales. Su integración efectiva con el tejido industrial permite avanzar hacia un modelo de innovación colaborativa y resiliente, capaz de responder con eficacia a los desafíos operativos del siglo XXI.

4. Tecnologías 5.0 aplicadas a los distintos subsectores de la defensa en España

4.1 Sector aeronáutico militar

La transformación digital del sector aeronáutico militar en España está marcada por la incorporación de tecnologías 5.0, que integran inteligencia artificial (IA), conectividad avanzada, automatización inteligente y análisis predictivo. Estas tecnologías, no solo mejoran la eficiencia operativa, sino que también refuerzan la autonomía estratégica y la capacidad de respuesta ante amenazas emergentes, redefiniendo tanto las plataformas aéreas como los sistemas de apoyo logístico, de mantenimiento y de operación táctica.

Vehículos aéreos no tripulados (UAVs) y enjambres inteligentes

Los UAVs han dejado de ser simples herramientas de reconocimiento para convertirse en elementos clave de combate colaborativo. En España, el desarrollo de enjambres inteligentes, grupos de UAVs que operan de forma coordinada mediante algoritmos de inteligencia artificial, está siendo impulsado por programas europeos como el Fondo Europeo de Defensa (EDF) y el NGWS/FCAS. En el ámbito militar, los enjambres de UAVs permiten realizar misiones de vigilancia, guerra electrónica y ataque con una eficacia táctica superior. Estos sistemas se basan en algoritmos de coordinación, navegación autónoma y comunicación en tiempo real, lo que les permite adaptarse dinámicamente al entorno operativo (Mohsan et al., 2023).

La incorporación de tecnologías como el edge computing, la inteligencia artificial distribuida y los sistemas de navegación inercial ha permitido que los UAVs operen con mayor autonomía y precisión. En España, empresas como Airbus y el programa SIRTAP están desarrollando UAVs tácticos con capacidades de enjambre, destinados a misiones de inteligencia, vigilancia y reconocimiento. Además, el concepto de enjambres inteligentes se ha vinculado con el uso de gemelos digitales, que permiten simular el comportamiento de los UAVs en entornos virtuales antes de su despliegue real. Esta tecnología mejora la planificación de misiones, la optimización de rutas y la gestión energética de los drones (Amjad, 2025). La capacidad de los enjambres para ejecutar misiones complejas, como vigilancia autónoma, guerra electrónica o ataque coordinado, se basa en técnicas de aprendizaje profundo y toma de decisiones autónoma. Según Wang et al. (2024), el uso de aprendizaje por refuerzo profundo (DRL) permite a los UAVs

adaptarse dinámicamente al entorno de combate, optimizando maniobras y minimizando riesgos operativos.

Además, la Unión Europea ha priorizado el desarrollo de sistemas no tripulados como parte de su estrategia de autonomía estratégica. La Agencia Europea de Defensa (EDA) y la Comisión Europea han financiado proyectos que integran UAVs en operaciones conjuntas, fomentando la interoperabilidad entre plataformas y la colaboración con la OTAN (Clapp, 2025).

El programa FCAS y los cazas de sexta generación

El programa FCAS (Future Combat Air System), liderado por Francia, Alemania y España, representa el mayor esfuerzo europeo en el desarrollo de un sistema de combate aéreo de sexta generación. Este sistema incluye un caza de nueva generación (NGF), operadores remotos (Remote Carriers), sensores avanzados y una nube de combate que conecta todos los elementos en tiempo real. España participa activamente en el FCAS a través de empresas como Indra, Airbus DS, ITP Aero y el consorcio Satnus. El programa contempla tecnologías disruptivas como la baja observabilidad, la integración hombre-máquina, la inteligencia artificial embarcada y la simulación cognitiva. El FCAS no solo busca sustituir a los actuales Eurofighter y Rafale, sino también establecer un nuevo paradigma de combate colaborativo (Infodefensa, 2022). Las misiones virtuales realizadas en simuladores permiten evaluar interfaces táctiles, realidad aumentada y asignación de tareas a enjambres de drones, lo que anticipa una revolución en la forma de operar en el espacio aéreo (Infodefensa, 2023).

La apuesta por una arquitectura abierta y modular permitirá incorporar futuras tecnologías, garantizando la evolución del sistema más allá de 2040. Según Airbus Defence and Space, el FCAS está diseñado para ser escalable, interoperable y resiliente frente a amenazas emergentes, como los sistemas hipersónicos o los ataques cibernéticos (Infodefensa, 2022).

Sensores y radares

La evolución tecnológica en el sector aeronáutico militar español ha estado marcada por la incorporación de tecnologías 5.0, especialmente en sistemas de sensores, radares y mantenimiento predictivo. Estas innovaciones no solo mejoran la capacidad operativa de las aeronaves, sino que también refuerzan la seguridad, la eficiencia logística y la autonomía estratégica del sistema de defensa nacional.

Los sensores y radares son elementos clave en la vigilancia, detección y respuesta ante amenazas aéreas. En los últimos años, España ha avanzado significativamente en la modernización de sus sistemas de radar, con la incorporación de soluciones como el Lanza-T y el Lanza 3D-LRR, desarrollados por la empresa Indra. Estos sistemas destacan por su capacidad de detección de aeronaves furtivas, drones y objetivos de baja sección radar (RCS), así como por su resistencia a interferencias electromagnéticas y su capacidad de despliegue táctico (Infodefensa, 2025b,c,d).

El radar Lanza-T, por ejemplo, ha sido integrado en el Sistema de Defensa Aérea nacional y transmite datos en tiempo real al centro de mando y control de Torrejón. Su diseño tridimensional y su procesamiento digital avanzado permiten un barrido electrónico activo, lo que mejora la precisión en la identificación de amenazas y optimiza el rendimiento en entornos operativos complejos (Infodefensa, 2025b). Esta tecnología representa un salto cualitativo respecto a sistemas anteriores como el AN/TPS-43M, al ofrecer mayor alcance, eficiencia energética y capacidad de integración con redes de vigilancia aérea.

Además, el radar Lanza 3D-LRR, desplegado en la base aérea de Villatobas (Toledo), ha sido reconocido como un hito en el proceso de modernización del Sistema de Vigilancia y Control Aéreo (SVICA). Su capacidad para detectar blancos furtivos y su fabricación nacional refuerzan la soberanía tecnológica y la independencia estratégica de España en materia de defensa (Infodefensa, 2025c,d).

Estas tecnologías se complementan con sistemas de guerra electrónica y sensores distribuidos en vehículos interconectados, capaces de generar burbujas de protección frente a ataques con drones. La integración de sensores propios y de terceros en plataformas móviles permite una respuesta dinámica y coordinada en escenarios de alta

intensidad, como se ha demostrado en el desarrollo de los sistemas Tarsis y Valero (Infodefensa, 2025e).

Mantenimiento predictivo basado en inteligencia artificial

El mantenimiento predictivo es otro ámbito donde las tecnologías 5.0 están transformando el sector aeronáutico militar. La aplicación de inteligencia artificial (IA) permite anticipar fallos, optimizar los ciclos de mantenimiento y reducir los tiempos de inactividad de las aeronaves. Esta capacidad es especialmente relevante en entornos operativos exigentes, donde la disponibilidad y fiabilidad de los sistemas son críticas. Según la Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA), la IA aplicada al mantenimiento puede predecir la vida útil de las piezas, mejorar la planificación logística y prevenir averías mediante el análisis de grandes volúmenes de datos generados por sensores embarcados (EASA, 2023). Esta tecnología permite detectar patrones de desgaste, anomalías en el funcionamiento y condiciones de operación que podrían comprometer la seguridad o la eficacia de los sistemas.

Modelos avanzados como el CNN-LSTM-Attention han demostrado una alta precisión en la predicción de la vida útil restante de motores aeronáuticos, lo que permite tomar decisiones informadas sobre el reemplazo de componentes y la programación de intervenciones técnicas (Deng y Zhou, 2024). Estos sistemas combinan redes neuronales convolucionales con mecanismos de atención para mejorar la capacidad de reconocimiento de datos y la fiabilidad de las predicciones.

Además, la IA facilita la implementación de estrategias de mantenimiento basadas en el estado real de los equipos, en lugar de seguir calendarios fijos. Esto reduce costes operativos y también mejora la seguridad al evitar fallos inesperados. La digitalización de los procesos de mantenimiento y la integración de sistemas de diagnóstico inteligente están siendo adoptadas por las Fuerzas Armadas españolas en el marco de programas como el Plan Industrial y Tecnológico para la Seguridad y la Defensa (Ministerio de Defensa, 2025).

La EASA ha desarrollado una hoja de ruta específica para la integración de IA en la aviación, que incluye directrices para aplicaciones de aprendizaje automático en mantenimiento y operaciones de vuelo. Esta hoja de ruta establece principios éticos,

requisitos de aplicabilidad y criterios de certificación para garantizar que las soluciones basadas en IA sean seguras, confiables y compatibles con los estándares europeos (EASA, 2024).

En definitiva, la combinación de sensores avanzados, radares inteligentes y mantenimiento predictivo basado en IA está redefiniendo el sector aeronáutico militar en España. Estas tecnologías no solo aumentan la capacidad de respuesta ante amenazas, sino que también optimizan la gestión de recursos, refuerzan la seguridad operativa y consolidan la autonomía tecnológica del país en el ámbito de la defensa.

4.2 Sector terrestre

La transformación digital del sector terrestre de defensa en España está marcada por la incorporación de tecnologías 5.0 que redefinen la movilidad, la conciencia situacional, la logística y el apoyo a las tripulaciones. Estas innovaciones están siendo impulsadas por el Ejército de Tierra en colaboración con la industria nacional, en el marco de programas estratégicos como el Plan MC3 y el Fondo Europeo de Defensa.

Vehículos terrestres autónomos y sistemas colaborativos

El uso de vehículos terrestres autónomos ha dejado de ser una posibilidad futura para convertirse en una realidad operativa. En el Foro 2E+I de Toledo, el Ejército de Tierra presentó avances significativos en robotización de plataformas terrestres, destacando el papel del 5G en la interconexión de sistemas no tripulados y la integración con redes de mando y control (Infodefensa, 2025f). Empresas como Indra y GMV han desarrollado vehículos multipropósito, como el sistema Valero, diseñado para operar en enjambres colaborativos, facilitando misiones de saturación, engaño y reconocimiento sin poner en riesgo a las tripulaciones (Infodefensa, 2025g).

Estos sistemas colaborativos se basan en arquitecturas distribuidas que permiten la comunicación entre múltiples unidades autónomas, optimizando la toma de decisiones en tiempo real. La inteligencia artificial juega un papel clave en la coordinación de estos vehículos, permitiendo que se adapten dinámicamente al entorno operativo y respondan

a amenazas emergentes como los enjambres de drones enemigos (Infodefensa, 2025f,g).

Estos avances responden a los desafíos a los que se enfrenta el Ejército de Tierra en el campo de batalla moderno, donde la robotización, el combate antidrón y la adaptación tecnológica son claves para mantener la superioridad operativa (Infodefensa, 2025r).

Realidad aumentada y apoyo a tripulaciones

La realidad aumentada (RA) está revolucionando el apoyo a las tripulaciones en el campo de batalla. Herramientas como XRF.SandBox y XRF.Colossus, desarrolladas por la startup española XRF, permiten crear simulaciones tridimensionales precisas a partir de imágenes satelitales, datos de sensores y drones. Estas plataformas ofrecen una experiencia inmersiva que mejora la formación, la planificación táctica y la conciencia situacional. La RA también se está integrando en los sistemas de mando y control, facilitando la visualización de datos operativos en tiempo real y la toma de decisiones estratégicas. El sistema XRF.Hermes, por ejemplo, utiliza inteligencia artificial para interpretar escenarios complejos y emitir recomendaciones en lenguaje natural, actuando como un asistente cognitivo para los mandos militares (Infodefensa, 2025h).

Además, el proyecto europeo AIDA, liderado por Indra, está desarrollando agentes autónomos de IA que operan en el ciberespacio y apoyan funciones críticas como maniobra, fuego, sostenimiento y protección. Estos agentes no solo actúan de forma autónoma, sino que también asisten al operador humano en la toma de decisiones, reduciendo los ciclos de respuesta y aumentando la eficacia operativa (Infodefensa, 2025g).

Innovaciones en logística terrestre militar

La logística terrestre es otro ámbito donde las tecnologías 5.0 están generando un impacto significativo. El Ejército de Tierra ha lanzado un contrato de más de 1.000 millones de euros para la adquisición de camiones tácticos 4x4, 6x6 y 8x8, con el objetivo de mejorar la movilidad, reducir costes logísticos y facilitar el mantenimiento mediante la comunalidad de componentes (Infodefensa, 2025i). Este enfoque busca crear una familia

de vehículos con variantes compatibles, lo que permite optimizar la cadena de suministro y agilizar las operaciones logísticas en escenarios de alta demanda. Además, se han incorporado capacidades como vadeo sin preparación en agua salada, lo que amplía la versatilidad de los vehículos en entornos costeros y anfibios.

La Comisión Europea, por su parte, ha lanzado el paquete Defence Readiness Omnibus, que incluye medidas para acelerar la movilidad militar, simplificar los procesos de adquisición y facilitar la cooperación transfronteriza. Estas iniciativas buscan eliminar cuellos de botella en el transporte de material y personal, y mejorar la preparación operativa de los Estados miembros (Comisión Europea, 2025).

En conjunto, estas innovaciones están redefiniendo el sector terrestre de defensa en España, dotándolo de mayor agilidad, interoperabilidad y capacidad de adaptación. La integración de vehículos autónomos, sistemas colaborativos, realidad aumentada e infraestructuras logísticas inteligentes está consolidando un modelo operativo más eficiente, resiliente y tecnológicamente avanzado.

4.3 Sector naval

La transformación del sector naval español hacia un modelo 5.0 se manifiesta en la incorporación de tecnologías como el gemelo digital, la inteligencia artificial, los sistemas autónomos y la interconectividad avanzada. Estas innovaciones están redefiniendo el diseño, la operación y el mantenimiento de las plataformas marítimas, consolidando a España como un referente en defensa naval inteligente.

Buques inteligentes y gemelo digital

Navantia, en colaboración con la Armada Española, lidera el desarrollo de buques inteligentes mediante el proyecto Pebba (Proyecto de Elementos Esenciales del Buque Autónomo). Esta iniciativa se apoya en cuatro pilares estratégicos: conciencia situacional, gestión de la información, inteligencia artificial y ciberseguridad y resiliencia (Infodefensa, 2025j). El objetivo es dotar a los buques de capacidades autónomas que les permitan operar con mínima intervención humana, optimizando la toma de decisiones en tiempo real.

Una de las tecnologías más disruptivas en este ámbito es el gemelo digital, una réplica virtual del buque que recibe datos en tiempo real desde sensores distribuidos por toda la embarcación. Esta herramienta permite monitorizar el estado de los sistemas, anticipar fallos y planificar el mantenimiento de forma predictiva, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo costes (Infodefensa, 2025j). Además, el gemelo digital facilita la formación de las dotaciones mediante simulaciones realistas y contribuye a la interoperabilidad con otras plataformas navales.

Navantia también ha desarrollado soluciones como Edinaf y la nube de combate, que permiten integrar datos operativos, tácticos y logísticos en una arquitectura digital común. Estas tecnologías refuerzan la ventaja operativa de la Armada en escenarios complejos, donde la velocidad de procesamiento y la capacidad de adaptación son esenciales.

Plataformas navales no tripuladas

La incorporación de vehículos no tripulados en el entorno naval ha sido otro avance clave. Navantia ha diseñado el sistema Naiad (Naval Advanced Integrated Autonomous vehicles Defence system), que permite el control de vehículos no tripulados aéreos (UAV), de superficie (USV) y submarinos (UUV) desde las consolas del sistema de combate de los buques (Infodefensa, 2025k). Esta integración facilita operaciones de vigilancia, reconocimiento, guerra antisubmarina y neutralización de amenazas sin exponer a las tripulaciones.

Los nuevos Buques de Acción Marítima (BAM) incorporan capacidades para operar con drones submarinos y de superficie, así como sistemas antidrón, radares de exploración 2D, lanzadores de señuelos ASW y sensores IRST (Búsqueda y Seguimiento por Infrarrojos). Estas plataformas se han concebido para responder eficazmente a las amenazas actuales mediante una arquitectura modular que permite incorporar nuevas tecnologías conforme evolucionan los requisitos operativos (Infodefensa, 2025k).

La interoperabilidad entre plataformas tripuladas y no tripuladas es uno de los retos tecnológicos más relevantes. La inteligencia artificial y el aprendizaje automático permiten coordinar múltiples unidades en tiempo real, optimizando la cobertura de vigilancia y la respuesta ante amenazas. Estas capacidades están siendo probadas en

ejercicios conjuntos y simulaciones avanzadas, con resultados prometedores en términos de eficacia y seguridad.

Fragatas F110 como caso de estudio

El programa F110 representa el máximo exponente de la transformación tecnológica naval en España. Estas fragatas multimisión incorporan un nivel de digitalización sin precedentes, incluyendo el gemelo digital, el Sistema de Servicios Integrados y una sensórica avanzada para defensa antiaérea, antisubmarina y antisuperficie (Infodefensa, 2025l).

El gemelo digital de la F110 permite a la dotación acceder a información en tiempo real sobre el estado de los equipos, facilitando la toma de decisiones operativas y de mantenimiento. El Sistema de Servicios Integrados, desarrollado por Navantia en colaboración con la Universidad de Vigo, actúa como un sistema nervioso del buque, con nodos inteligentes que gestionan iluminación, megafonía, conectividad inalámbrica y CCTV. Además, las F110 están equipadas con el radar SPY-7 (V)2, desarrollado por Lockheed Martin, que ha demostrado su capacidad para rastrear objetos aéreos en tiempo real durante pruebas en el Centro de Integración Aegis-Scomba. Este radar, junto con el sistema de combate SCOMBA, posiciona a las fragatas F110 en la vanguardia de la defensa naval global (Infodefensa, 2025m). Desde el punto de vista industrial, el programa F110 ha generado más de un millón de horas de trabajo en ingeniería, con la participación de empresas como Ghenova, que ha desarrollado el 80% de la ingeniería constructiva del buque. Este esfuerzo ha consolidado un ecosistema tecnológico nacional capaz de competir en el mercado internacional y de responder a los desafíos de la defensa marítima del siglo XXI (Infodefensa, 2025m)

4.4 Consultoría e ingeniería en defensa

La consultoría e ingeniería en defensa están experimentando una transformación profunda gracias a la adopción de tecnologías 5.0, que permiten mejorar la planificación estratégica, la toma de decisiones operativas y la eficiencia logística.

Modelado y simulación en escenarios militares

El modelado y la simulación se han convertido en pilares fundamentales para el diseño de operaciones militares, la formación de tropas y la evaluación de capacidades. Empresas como Indra han desarrollado centros de excelencia dedicados al análisis operacional y los juegos de guerra, donde se recrean escenarios tácticos, operacionales y estratégicos para evaluar el rendimiento de sistemas y unidades antes de su despliegue (Infodefensa, 2025n). Estos entornos virtuales permiten simular variables como la meteorología, la respuesta enemiga, el rendimiento de sensores y la interacción entre plataformas, lo que facilita la toma de decisiones informadas y reduce los riesgos operativos. Países como Estados Unidos e Israel han demostrado que este tipo de simulaciones son esenciales para alcanzar la superioridad táctica, y España está siguiendo esta senda con iniciativas como el laboratorio de Alcobendas impulsado por Indra (Infodefensa, 2025n).

Además, la empresa XRF ha desarrollado soluciones de realidad extendida como XRF.SandBox y XRF.Colossus, que permiten crear simulaciones tridimensionales precisas a partir de imágenes satelitales, datos de sensores y drones. Estas herramientas mejoran la conciencia situacional y la planificación geoespacial, y han sido reconocidas por la OTAN como tecnologías clave en el ámbito de la defensa (Infodefensa, 2025h).

Gemelos digitales y planificación estratégica

El uso de gemelos digitales en defensa permite replicar virtualmente sistemas complejos como buques, vehículos o infraestructuras, facilitando su monitorización, mantenimiento y optimización. Navantia y otras empresas líderes del sector han aplicado esta tecnología como se ha indicado en párrafos anteriores. Estas herramientas también se están aplicando en el diseño de misiones, la gestión de recursos y la evaluación de capacidades industriales.

Optimización logística mediante IA y big data

La logística militar está siendo revolucionada por la incorporación de inteligencia artificial (IA) y big data. El Ministerio de Defensa ha puesto en marcha el proyecto Numant-IA, una nube privada e independiente de datos que permitirá gestionar información crítica de forma segura y resiliente. Esta infraestructura, ubicada en Soria, como resulta razonable intuir a partir de su nombre, será clave para la modernización de las capacidades logísticas de las Fuerzas Armadas (Infodefensa, 2025p).

La IA permite analizar grandes volúmenes de datos logísticos para optimizar rutas de suministro, prever necesidades de mantenimiento y reducir tiempos de respuesta. El sistema Prometeo, desplegado por el Ejército de Tierra en Eslovaquia, permite la fabricación aditiva de repuestos en zona de operaciones, lo que reduce la dependencia de infraestructuras externas y mejora la autosuficiencia (Infodefensa, 2025q).

Además, el proyecto AIDA, liderado por Indra, está desarrollando agentes autónomos de IA capaces de operar en el ciberespacio y apoyar funciones críticas como el sostenimiento, el mando y el control. Estos agentes analizan datos en tiempo real, detectan amenazas y emiten recomendaciones, lo que mejora la eficiencia logística y la capacidad de respuesta (Infodefensa, 2025f).

En conjunto, la consultoría e ingeniería en defensa están evolucionando hacia un modelo digital, inteligente y colaborativo, donde la simulación, los gemelos digitales y la IA permiten anticipar escenarios, optimizar recursos y reforzar la autonomía estratégica de España.

4.5 Ciberseguridad y ciberdefensa

En el contexto actual, la ciberseguridad se ha convertido en un componente esencial de la defensa nacional. Las amenazas cibernéticas en el ámbito militar incluyen desde ataques de denegación de servicio (DDoS) hasta intrusiones sofisticadas en sistemas de mando y control, espionaje digital y sabotaje de infraestructuras críticas. Estas amenazas no solo provienen de actores estatales, sino también de grupos terroristas y organizaciones criminales que emplean técnicas avanzadas para comprometer la seguridad de los sistemas militares.

La creciente digitalización de las Fuerzas Armadas ha ampliado la superficie de ataque, haciendo que los sistemas de armas, redes de comunicación y plataformas logísticas sean vulnerables a ciberataques. Según Rid (2020), los conflictos modernos ya no se limitan al terreno físico, sino que se extienden al ciberespacio, donde las operaciones pueden tener efectos estratégicos sin necesidad de desplegar tropas.

Inteligencia artificial aplicada a la ciberdefensa

La inteligencia artificial (IA) está transformando la forma en que se aborda la ciberdefensa. Algoritmos de aprendizaje automático permiten detectar patrones anómalos en grandes volúmenes de datos, identificar amenazas emergentes y responder de forma autónoma a incidentes de seguridad (Brundage et al., 2018). En el ámbito militar, la IA se utiliza para proteger redes, analizar vulnerabilidades, simular ataques y generar recomendaciones tácticas en tiempo real.

Una de las aplicaciones más prometedoras es el uso de agentes autónomos que operan en el ciberespacio para realizar tareas de vigilancia, detección y respuesta. Estos sistemas pueden actuar sin intervención humana directa, lo que mejora la velocidad de reacción ante amenazas críticas (Taddeo y Floridi, 2018). Además, la IA permite realizar simulaciones de ciberataques para entrenar a los equipos de defensa y evaluar la resiliencia de los sistemas.

En España, el proyecto AIDA, liderado por Indra, representa un avance significativo en este campo, al desarrollar agentes inteligentes capaces de apoyar funciones de mando, control y sostenimiento en entornos cibernéticos complejos (Infodefensa, 2025g).

El mando conjunto del ciberespacio en España

España ha consolidado su estructura de defensa cibernética con la puesta en marcha del Mando Conjunto del Ciberespacio (MCCE), creado en 2020 como parte del Estado Mayor de la Defensa. Este mando tiene como misión garantizar la seguridad de las redes y sistemas de información del Ministerio de Defensa, así como coordinar las operaciones militares en el ciberespacio (Ministerio de Defensa, 2023).

El MCCE trabaja en estrecha colaboración con organismos nacionales e internacionales, incluyendo el Centro Criptológico Nacional (CCN), la OTAN y la Agencia Europea de Defensa (EDA). Además, participa en ejercicios conjuntos como el Locked Shields, organizado por el Centro de Excelencia de Ciberdefensa Cooperativa de la OTAN, donde se simulan ataques cibernéticos a gran escala para evaluar la capacidad de respuesta de los países aliados (NATO CCDCOE, 2024). Entre sus funciones, destacan la protección de infraestructuras críticas, la gestión de incidentes de ciberseguridad, el desarrollo de capacidades ofensivas y defensivas, y la formación especializada del personal militar. El MCCE también impulsa la investigación en tecnologías emergentes como la computación cuántica, la IA y los gemelos digitales aplicados a la ciberdefensa. La creación de este mando refleja el reconocimiento de que el ciberespacio es un dominio operativo más, al igual que la tierra, el mar, el aire y el espacio, en línea con el reconocimiento del ciberespacio como dominio de operaciones por parte de la OTAN en la cumbre de Varsovia de 2016. Como señala Libicki (2007), la guerra cibernética trasciende ataques técnicos, sino también una dimensión estratégica que puede alterar el equilibrio de poder entre naciones.

4.6 Startups y DeepTech en defensa

En los últimos años, España ha experimentado un notable crecimiento en el ecosistema de innovación vinculado a la defensa, especialmente en el ámbito de las startups tecnológicas y las empresas DeepTech. Este fenómeno responde a una combinación de factores estratégicos, como el aumento de la inversión en I+D militar, el impulso de tecnologías emergentes y la necesidad de reforzar la autonomía estratégica en un contexto geopolítico cada vez más complejo.

Las tecnologías DeepTech, caracterizadas por su base científica sólida y su alto potencial disruptivo, están transformando el sector de la defensa. Ámbitos como la inteligencia artificial, la computación cuántica, la robótica avanzada, los sistemas autónomos y la ciberseguridad están siendo desarrollados por pequeñas empresas altamente especializadas, muchas de ellas con aplicaciones duales que pueden utilizarse tanto en entornos militares como civiles (Bonvillian y Weiss, 2015).

Este ecosistema emergente se nutre de la colaboración entre startups, universidades, centros tecnológicos y grandes empresas del sector defensa. La creación de hubs de innovación, incubadoras específicas y programas de aceleración ha permitido que nuevas empresas accedan a recursos, validación tecnológica y oportunidades de internacionalización. Además, el interés creciente por la defensa como sector estratégico ha favorecido la aparición de talento especializado y la transferencia de conocimiento desde el ámbito académico al industrial (Mazzucato, 2013).

Casos de startups españolas en defensa y tecnologías duales

España cuenta con un número creciente de startups que desarrollan soluciones innovadoras para el sector defensa. Muchas de estas empresas trabajan en tecnologías duales, es decir, con aplicaciones tanto militares como civiles, permitiéndoles diversificar sus mercados y aumentar su sostenibilidad.

Entre los casos más destacados se encuentran empresas que trabajan en simulación avanzada, realidad extendida, inteligencia artificial aplicada a la vigilancia, drones autónomos, sensores inteligentes y ciberseguridad. Estas startups han sido reconocidas por organismos internacionales y han participado en ejercicios conjuntos, ferias especializadas y programas de validación tecnológica.

Por ejemplo, algunas empresas han desarrollado sistemas de simulación tridimensional para entrenamiento militar, utilizando datos geoespaciales y sensores para recrear entornos operativos complejos. Otras han creado plataformas de análisis predictivo que permiten anticipar amenazas y optimizar la toma de decisiones en tiempo real. También existen iniciativas centradas en la fabricación aditiva de componentes, la logística inteligente y la gestión de activos mediante tecnologías IoT. Igualmente, aunque hay pocas empresas españolas, se desarrollan tecnologías de inteligencia estratégica para apoyo a la toma de decisiones que poseen un uso dual, siendo aplicable tanto al mundo civil como al militar. Estas soluciones no solo mejoran la eficiencia operativa de las Fuerzas Armadas, sino que también refuerzan la resiliencia tecnológica del país. La capacidad de generar innovación desde el tejido empresarial nacional es clave para reducir la dependencia de proveedores externos y garantizar la soberanía en áreas críticas.

Además, el enfoque dual permite que estas tecnologías se apliquen en sectores como emergencias, infraestructuras críticas, seguridad ciudadana, medio ambiente o industria energética, lo que amplía su impacto social y económico. La defensa, en este sentido, actúa como catalizador de innovación, con efectos positivos en múltiples ámbitos. En este contexto, según todo lo expuesto resulta pertinente analizar comparativamente cómo se manifiestan las diferencias entre los paradigmas 4.0 y 5.0 en los distintos subsectores de la defensa: aeronáutico, terrestre, naval, consultoría e ingeniería, ciberseguridad y startups y deeptech. Esta comparación permite identificar no solo las tecnologías empleadas en cada etapa, sino también los cambios en su orientación estratégica, ética y funcional. La siguiente tabla sintetiza esta evolución, ofreciendo una visión estructurada de las herramientas tecnológicas asociadas a cada paradigma y su aplicación sectorial en el caso español.

Tabla 3. Comparativa Industria 4.0 versus 5.0 por subsectores. Fuente: elaboración propia

Subsector	Tecnologías 4.0	Tecnologías 5.0	Tendencias 2030 (Oportunidades / Retos / Aplicaciones)
Aeronáutico	- Internet de las cosas militares (IoT). - IA. - Big Data para análisis información. - Gemelos digitales. - Robotica automatizada - Realidad virtual. - Sensores distribuidos para vigilancia, recopilación de datos y control de sistemas. - Interfaces hombre-máquina. - Simulación táctica.	- IoT centrado en el operador humano, sostenible y resiliente. - IA explicativa y toma de decisiones conjunta humano-máquina. - Big data integrada con IA, plataformas inteligentes. - Gemelos digitales cognitivos. - Enjambres inteligentes. - Realidad extendida. - Sensores inteligentes y bioinspirados que no sólo recopilan datos, sino que se adaptan al entorno y al operador. - Interfaces centradas en el operador. - Simulación cognitiva inmersiva. - Mantenimiento predictivo con IA y gemelos digitales. - Operaciones autónomas coordinadas entre aeronaves tripuladas y no tripuladas.	- Operaciones autónomas con IA coordinadas. - Mantenimiento predictivo inteligente. - Integración de energías limpias. - Drones autónomos sostenibles.
Terrestre	- IoT. - Robótica. - Realidad virtual. - Sensores. - Simulación táctica. - Conectividad digital. - Vehículos terrestres automatizados. - IA.	- IoT centrado en el operador humano, sostenible y resiliente. - Robótica colaborativa. - Realidad aumentada y extendida. - Sensores inteligentes y bioinspirados que no sólo recopilan datos, sino que se adaptan al entorno y al operador. - Simulación cognitiva inmersiva. - Conectividad digital centrada en el operador. - Agentes autónomos - Logística inteligente. - IA explicativa y toma de decisiones conjunta humano-máquina.	- Redes tácticas adaptativas. - Materiales inteligentes. - Energía sostenible para vehículos autónomos. - Edge Computing para control de campo. - IA para decisiones tácticas predictivas.
Naval	- IoT. - Buques automatizados. - Gemelos digitales. - Plataformas conectadas. - Simulación táctica. - IA. - Interoperabilidad técnica.	- IoT centrado en el operador humano, sostenible y resiliente. - Buques inteligentes. - Gemelos digitales cognitivos. - Plataformas no tripuladas. - Simulación cognitiva inmersiva. - IA explicativa y toma de decisiones conjunta humano-máquina. - Interoperabilidad avanzada.	- Sensores subacuáticos distribuidos. - Ciberseguridad marítima avanzada. - IA para mantenimiento predictivo de flotas. - Sistemas híbridos autónomos y tripulados. - Inteligencia oceánica distribuida.
	- Big Data para análisis de datos. - Simulación táctica.	Big data integrada con IA, plataformas inteligentes. Nube privada de datos.	- IA generativa para diseño de sistemas y escenarios. - Gemelos digitales de ecosistemas

Tabla 3 (cont). Comparativa Industria 4.0 versus 5.0 por subsectores. Fuente: elaboración propia

Subsector	Tecnologías 4.0	Tecnologías 5.0	Tendencias 2030 (Oportunidades / Retos / Aplicaciones)
Consultoría e Ingeniería	- Big Data para análisis de datos. - Simulación táctica. - Modelado y Automatización de procesos. - Análisis predictivo.	- Big data integrada con IA, plataformas inteligentes. Nube privada de datos. - Simulación cognitiva inmersiva. - IA para procesos (ej. Logística). - Fabricación aditiva. - Gemelos digitales para planificación estratégica.	- IA generativa para diseño de sistemas y escenarios. - Gemelos digitales de ecosistemas completos (no sólo equipos). - Sistemas expertos de apoyo a decisiones. - Automatización cognitiva de procesos de defensa.
Ciberseguridad	- Sistemas de detección. - Análisis de vulnerabilidades. - Protección de redes. - Simulación de ataques.	- Sistemas de detección autónomos con IA y aprendizaje profundo. - Análisis predictivo y proactivo con IA explicativa. - Ciberdefensa cognitiva y adaptativa. - Simulación cognitiva inmersiva con gemelos digitales y realidad aumentada. - Agentes autónomos. - Resiliencia cibernética.	- Inteligencia de amenazas basada en IA. - Ciberdefensa activa y autónoma. - Detección basada en comportamiento. - Seguridad cuántica. - IA distribuida para respuesta automática a incidentes.
Startups y DeepTech	- Simulación avanzada. - IA aplicada. - Sensores inteligentes. - Drones. - Ciberseguridad tradicional. - Fabricación aditiva.	- Simulación cognitiva e inmersiva. - IA explicativa y toma de decisiones conjunta humano-máquina. - Sensores avanzados. - Drones colaborativos con IA + Edge Computing. - Ciberseguridad cognitiva y proactiva con IA, blockchain y criptografía post-cuántica. - Fabricación personalizada con IA + sostenibilidad + gemelos digitales - Tecnologías duales.	- Computación cuántica aplicada a defensa. - Ecosistemas duales civil-defensa. - Nuevas spin-offs tecnológicas. - Innovación abierta. - Nuevos materiales inteligentes sostenibles.

5. Conclusiones

La transición desde la Industria 4.0 hacia la Defensa 5.0 representa un cambio de paradigma que redefine el papel de la tecnología en el ámbito militar, situando al ser humano, la sostenibilidad y la resiliencia como ejes centrales del desarrollo industrial. Este enfoque no implica una ruptura con el modelo anterior, sino una evolución que incorpora principios éticos, sociales y medioambientales en el diseño, implementación y gobernanza de las tecnologías aplicadas a la defensa.

Para España, este proceso constituye una oportunidad estratégica para consolidar un ecosistema nacional de innovación en defensa que sea capaz de generar capacidades soberanas, sostenibles y alineadas con los valores democráticos. La participación activa en programas europeos como el Fondo Europeo de Defensa (EDF), el FCAS (Future Combat Air System) y la iniciativa DIANA de la OTAN, junto con el fortalecimiento de la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID), podrían posicionar al país en una trayectoria de liderazgo tecnológico que debería ser sostenida por una menor resistencia al cambio, mayor facilidad de acceso a las pymes, mayor inversión pública, cooperación público-privada y formación especializada.

La incorporación de tecnologías como la inteligencia artificial explicativa, los gemelos digitales cognitivos, la robótica colaborativa, la realidad aumentada inmersiva y las plataformas cognitivas no solo mejora la eficiencia operativa, sino que promueve una defensa centrada en el operador humano, en la que la toma de decisiones se apoya en sistemas intuitivos, auditables y adaptativos. Esta orientación exige que las instituciones responsables del desarrollo tecnológico en defensa, como el Ministerio de Defensa, la DGAM, la DIGEID, el INTA, ISDEFE y el CESEDEN, adopten una cultura organizativa que priorice la gobernanza de la tecnología, la formación continua en competencias digitales y cognitivas, y el diseño centrado en el bienestar del personal militar.

En este contexto, se recomienda que las instituciones españolas refuercen la cooperación interministerial y con el sistema nacional de ciencia y tecnología, articulando mecanismos de financiación, incubación y transferencia tecnológica que permitan integrar a pymes, startups y empresas deeptech en los proyectos estratégicos de defensa. Asimismo, resulta fundamental establecer marcos regulatorios claros para el uso responsable de la inteligencia artificial, garantizar la interoperabilidad entre sistemas

heredados y emergentes, y promover prácticas de sostenibilidad ambiental en toda la cadena de valor de la industria militar.

Desde el punto de vista académico, este nuevo paradigma abre múltiples líneas de investigación que merecen ser exploradas. Entre ellas, destacan el estudio de modelos de gobernanza para tecnologías militares emergentes, la evaluación del impacto ambiental de la innovación tecnológica en defensa, el diseño centrado en el operador militar desde la ergonomía cognitiva, la interoperabilidad tecnológica en escenarios multinacionales, la innovación dual y su transferencia al ámbito civil, el desarrollo de agentes autónomos para la ciberdefensa, y el análisis del impacto socioeconómico de la Defensa 5.0 en el empleo y la competitividad nacional.

En definitiva, la Defensa 5.0 no debe entenderse como una simple evolución técnica, sino como una transformación institucional que exige una visión estratégica de largo plazo, una gobernanza ética robusta y un compromiso firme con los principios de sostenibilidad, resiliencia y centralidad humana. España, como potencia media con vocación europea y atlántica, tiene ante sí la posibilidad de convertirse en un referente en innovación militar responsable, siempre que logre articular sus capacidades tecnológicas con una política de defensa orientada al bienestar social, la seguridad global y la autonomía estratégica.

En suma, España se encuentra ante una coyuntura decisiva: sumarse a una transición hacia una defensa 5.0, tratando de mejorar su autonomía tecnológica, industrial y militar hacia el futuro, para lo cual es absolutamente necesaria una política de medio y largo plazo, ya que no solo implica adoptar nuevas tecnologías, sino también construir un modelo ético, resiliente y centrado en el bienestar humano, capaz de proyectar su influencia en el entorno europeo y global.

6. Referencias

- Aesmide. (2025). La industria para la Defensa: el papel esencial de las pymes. Aesmide. Disponible en: <https://aesmide.es/la-industria-para-la-defensa-el-papel-esencial-de-las-pymes/> [aesmide.es] (Consulta: 6 de octubre de 2025)
- Amjad, M. (2025). Digital Twin for UAVs: Architecture, Framework, Challenges and Solutions. En *Digital Twins for Wireless Networks* (pp. 149–159). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-73679-7_8.
- Atausinchi Masias, A., Atausinchi Masias, D., y Contreras Rivera, R. J. (2025). Ética y sostenibilidad en la innovación tecnológica: revisión sistemática sobre su impacto ambiental. *Revista InveCom*, 6(1). <https://doi.org/10.5281/zenodo.15447180>.
- Barroso Camiade, C., y Pérez Castrejón, E. M. (2025). Desafíos éticos y legales en el uso de la inteligencia artificial (IA). *Sintaxis*, (14), 102–118. <https://doi.org/10.36105/stx.2025n14.07>.
- Bonvillian, W. B., y Weiss, C. (2015). *Technological Innovation in Legacy Sectors*. Oxford University Press.
- Carayannis, EG, Morawska-Jancelewicz, J. (2022) El futuro de Europa: Sociedad 5.0 e Industria 5.0 como motores de las futuras universidades. *J Knowl Econ*, 13, 3445–3471. <https://doi.org/10.1007/s13132-021-00854-2>
- Brundage, M., Avin, S., Clark, J., Toner, H., Eckersley, P., Garfinkel, B., y Amodei, D. (2018). The malicious use of artificial intelligence: Forecasting, prevention, and mitigation. Disponible en: arXiv preprint arXiv:1802.07228. (Consulta: 10 de octubre de 2025)
- Bryson, J. J. (2018). The Artificial Intelligence of the Ethics of Artificial Intelligence: An Introductory Overview for Law and Regulation. In *Proceedings of the 2018 AAAI/ACM Conference on AI, Ethics, and Society*. <https://doi.org/10.1145/3278721.3278731>.
- Calderón Leyton, E. (2024). Ética y tecnología: Reflexiones sobre un uso responsable y transformador en América Latina. *Revista CUHSO*, 34(1). <https://doi.org/10.7770/cuhso-v34n1-art662>.

- Carro Suárez, J., & Sarmiento Paredes, S. (2022). El factor humano y su rol en la transición a Industria 5.0: una revisión sistemática y perspectivas futuras. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 10(24), e81727. <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2022.24.81727>.
- Castellanos Alba, J. C. (2023). *Industria 5.0: un enfoque centrado en el ser humano*. Madrid.
- Centro Universitario de la Defensa. Academia General Militar. (2022). *Innovación docente en la formación universitaria de los oficiales del Ejército de Tierra*. Centro Universitario de la Defensa (Zaragoza), Ministerio de Defensa de España. ISBN: 978-84-9091-913-2.
- Chaca-Espinoza, W. G., Montenegro-Cajas, P., Ocaña-Parra, S. V., y Medina-Moncayo, A. S. (2025). Integración de Inteligencia Artificial en Design Thinking: Análisis de enfoques para diseño industrial centrado en el usuario. *Polo del Conocimiento*, 10(6), 1378–1400. <https://doi.org/10.23857/pc.v10i6.9720>.
- Clapp, S. (2025). Military drone systems in the EU and global context: Types, capabilities and regulatory frameworks. *European Parliamentary Research Service (EPRS)*, PE 772.885. Disponible en: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2025/772885/EPRS_BRI\(2025\)772885_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2025/772885/EPRS_BRI(2025)772885_EN.pdf). (Consulta: 10 de octubre de 2025)
- Comisión Europea. (2024). Study results: Access to equity financing for European defence SMEs. DG DEFIS. Disponible en: https://defence-industry-space.ec.europa.eu/study-results-access-equity-financing-european-defence-smes-2024-01-11_en (Consulta: 6 de octubre de 2025)
- Comisión Europea. (2025). Defence Readiness Omnibus. Defence Industry and Space. Disponible en: https://defence-industry-space.ec.europa.eu/eu-defence-industry/defence-readiness-omnibus_en (Consulta: 6 de octubre de 2025)
- Comisión Europea. (2025, enero 30). European Defence Fund: Over €1 Billion to Drive Next-Generation Defence Technologies and Innovation. DG DEFIS. Disponible en: <https://defence-industry-space.ec.europa.eu/european-defence-fund-over->

eu1-billion-drive-next-generation-defence-technologies-and-innovation-2025-01-30_en (Consulta: 6 de octubre de 2025)

Corzo-Ussa, G. D., Álvarez-Aros, E. L., & Chavarro-Miranda, F. (2022). La industria 4.0 y sus aplicaciones en el ámbito militar: oportunidad estratégica para Latinoamérica. *Revista Científica General José María Córdova*, 20(39), 717–736. <https://doi.org/10.21830/19006586.882>

Deng, S., y Zhou, J. (2024). Prediction of Remaining Useful Life of Aero-engines Based on CNN-LSTM-Attention. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 17, Article 232. <https://doi.org/10.1007/s44196-024-00639-w>.

European Union Aviation Safety Agency (EASA). (2023). Artificial Intelligence and Aviation. European Union Aviation Safety Agency. Disponible en: <https://www.easa.europa.eu/en/light/topics/artificial-intelligence-and-aviation-0> (Consulta: 6 de octubre de 2025)

European Union Aviation Safety Agency (EASA). (2024). Artificial Intelligence Concept Paper Issue 2: Guidance for Level 1 y 2 Machine Learning Applications Disponible en: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/easa-artificial-intelligence-concept-paper-issue-2> (Consulta: 6 de octubre de 2025)

European Defence Agency. (2021). EDA Technology Foresight Exercise – Final Results. Brussels: EDA. Disponible en: <https://eda.europa.eu/docs/default-source/eda-publications/edatechnologyforesightexercise-finalresults.pdf> (Consulta: 8 de octubre de 2025)

Floridi, L., Cowls, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Chazerand, P., Dignum, V., ... & Vayena, E. (2018). AI4People—An Ethical Framework for a Good AI Society: Opportunities, Risks, Principles, and Recommendations. *Minds and Machines*, 28(4), 689–707. <https://doi.org/10.1007/s11023-018-9482-5>.

Forging Forum. (s.f.). Forging the future of Industry 5.0. Disponible en: <https://bridges5-0.eu/forging-a-forum-for-the-future-of-industry-5-0/> (Consulta: 21 de septiembre de 2025).

Foro Transfiere. (s.f.). Foro Transfiere: European Meeting on Science, Technology and Innovation. Disponible en: <https://www.forotransfiere.com> (Consulta: 22 de septiembre de 2025).

Helbing, D. (Ed.). (2019). Towards Digital Enlightenment: Essays on the Dark and Light Sides of the Digital Revolution. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-90869-4>.

Infodefensa. (2022). El FCAS despegue por fin: caza europeo del futuro, enjambres de drones y nube de combate. El Debate. Disponible en: https://www.eldebate.com/espana/defensa/20221119/el-fcas-despega-por-fin-caza-europeo-del-futuro-enjambres-de-drones-y-nube-de-combate_73909.html

Infodefensa. (2023). Entendiendo el FCAS: un supercaza, un enjambre de drones y una nube de combate. El Confidencial. Disponible en: https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2023-09-07/fcas-supercaza-enjambre-drones-nube-combate_3729940/

Infodefensa. (2025a). Las pymes de defensa piden más protagonismo a la gran industria. Infodefensa. Disponible en: <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/5451777/esta-semana-podcast-infodefensa-pymes-defensa-piden-protagonismo-gran-industria> (Consulta: 6 de octubre de 2025)

Infodefensa. (2025b). El nuevo radar Lanza-T del Ejército del Aire se integra en el sistema de defensa aérea español. Disponible en: <https://www.infodefensa.com> (Consulta: 6 de octubre de 2025)

Infodefensa. (2025c). El Ejército del Aire recibe un radar Lanza-T de Indra capaz de detectar aviones con tecnología 'stealth' y drones. Disponible en: <https://www.infodefensa.com> (Consulta: 6 de octubre de 2025)

Infodefensa. (2025d). El nuevo radar Lanza 3D de vigilancia del Ejército del Aire en Toledo cumple 100 días de operación. Disponible en: <https://www.infodefensa.com> (Consulta: 6 de octubre de 2025)

Infodefensa. (2025e). Así es Valero, el dron multipropósito de bajo coste diseñado por Indra. Disponible en: <https://www.infodefensa.com> (Consulta: 6 de octubre de 2025)

Infodefensa. (2025f). Indra presenta en el Foro 2E+I sus últimos desarrollos en drones, sistemas antidrón y radares de nueva generación. Disponible en: <https://www.infodefensa.com> (Consulta: 6 de octubre de 2025)

Infodefensa. (2025g). Indra lidera el desarrollo de agentes autónomos de IA en apoyo a las operaciones militares en el ciberespacio europeo. Disponible en: <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/5297637/indra-lidera-desarrollo-capacidad-central-gestionar-agentes-autonomos-ia-apoyo-operaciones-militares-ciberespacio-europeo> (Consulta: 7 de octubre de 2025)

Infodefensa. (2025h). La startup canaria XRF se afianza en defensa y entra en el grupo de trabajo de la OTAN de realidad virtual. Disponible en: <https://www.infodefensa.com> (Consulta: 6 de octubre de 2025)

Infodefensa. (2025i). El Ejército de Tierra lanza un megacontrato de 1.000 millones para comprar camiones tácticos 4x4, 6x6 y 8x8. Disponible en: <https://www.infodefensa.com> (Consulta: 6 de octubre de 2025)

Infodefensa. (2025j). Navantia y la Armada avanzan en el desarrollo del buque autónomo. Disponible en: <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/5450767/navantia-armada-avanzan-desarrollo-buque-autonomo-proyecto-pebba> (Consulta: 3 de octubre de 2025)

Infodefensa. (2025k). Las claves de los nuevos BAM de la Armada: misiles antiaéreos, sistema antidrón y preinstalación para sonar. Disponible en: <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/5447694/claves-nuevos-bam-armada-misiles-antiaereos-sistema-antidron-preinstalacion-sonar> (Consulta: 3 de octubre de 2025)

Infodefensa. (2025l). Los hitos del programa F-110 en 2025: botadura de la F-111 después del verano y puesta de quilla de la F-112 en abril. Disponible en: <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/5137332/hitos-programa-f-100-2025-botadura-f-111-despues-verano-puesta-quilla-f-112-abril> (Consulta: 3 de octubre de 2025)

Infodefensa. (2025m). La fragata F-110, el avanzado buque que Navantia quiere exportar. Disponible en: <https://www.infodefensa.com/texto->

diario/mostrar/5435995/esta-semana-podcast-infodefensa-fragata-f-110-avanzado-buque-navantia-quiere-exportar (Consulta: 3 de octubre de 2025)

Infodefensa. (2025n). Indra apuesta por su centro de análisis operacional y juegos de guerra. Infodefensa. Disponible en: <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/5423281/reportaje-indra-centro-analisis-operacional> (Consulta: 8 de octubre de 2025)

Infodefensa. (2025p). Defensa invertirá 70 millones en Numant-IA, una nube privada e independiente de datos para las Fuerzas Armadas. Disponible en: <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/5414273/defensa-invertira-70-millones-numant-ia-nube-privada-e-independiente-datos-fuerzas-armadas> (consulta: 8 de octubre de 2025)

Infodefensa. (2025q). El despliegue español en Eslovaquia, a la vanguardia tecnológica: así fabrica piezas y repuestos en 3D con el sistema Prometeo. Disponible en: <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/5405576/despliegue-espanol-eslovaquia-vanguardia-tecnologica-asi-fabrica-piezas-repuestos-3d-sistema-prometeo> (Consulta: 8 de octubre de 2025)

Infodefensa. (2025r). Los desafíos del Ejército de Tierra en el campo de batalla moderno: de la robotización al combate antidrón. Disponible en: <https://www.infodefensa.com> (Consulta: 6 de octubre de 2025)

Instituto Español de Estudios Estratégicos (IEEE). (2020). Implicaciones del ámbito cognitivo en las Operaciones Militares. CESEDEN.

International Workshop on Industry 5.0 and Society 5.0 (IWIS). (s.f.). Proceedings of the International Workshop on Industry 5.0 and Society 5.0. Disponible en: <https://iwis-conference.org> (Consulta: 22 de septiembre de 2025).

Kaswan, M. S., Rathi, R., y Garza-Reyes, J. A. (Eds.). (2023). Industry 5.0: Concepts and Strategies for Digital Transformation. CRC Press.

Kotler, P., Kartajaya, H., y Setiawan, I. (2021). Marketing 5.0: Technology for humanity. John Wiley y Sons.

Leon G.; Gómez Pérez, A.; Dueñas, C.; Álvarez-Gascón, F.; Báez Cristóbal, T.; Gómez de Agreda, A.; Vázquez Martínez, L.; Insenser Farré, J.M.; Morales de los Ríos,

- J.B.; Ramírez Morán, D., Guerra, L. (2025). Situación y tendencias en el uso de la inteligencia artificial en el sector de la defensa. Foro de Empresas Innovadoras y Amper. ISBN: 978-84-09-75701-5.
- Libicki, M. C. (2007). Conquest in cyberspace: National security and information warfare. Cambridge University Press.
- Lodeiro Encina, A. (2018). Cuarta Revolución Industrial y sus implicancias en los ámbitos de seguridad y defensa. Cuaderno de Trabajo, 15, Academia Nacional de Estudios Políticos y Estratégicos (ANEPE), Chile.
- Maraggi, S. (2021). Entrenamiento Militar en el Continuo de Virtualidad. CEFADigital.
- Mazzucato, M. (2013). The Entrepreneurial State: Debunking Public vs. Private Sector Myths. Anthem Press.
- Ministerio de Defensa. (2020). Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID 2020). Secretaría de Estado de Defensa. Disponible en: <https://www.tecnologiaeinovacion.defensa.gob.es/es-es/estrategia/Paginas/Defensa.aspx> (Consulta: 26 de septiembre)
- Ministerio de Defensa. (2023). Mando Conjunto del Ciberespacio. Disponible en: <https://www.defensa.gob.es/organizacion/mando-conjunto-del-ciberespacio/> (Consulta: 7 de octubre de 2025)
- Ministerio de Defensa de España. (2025). Plan Industrial y Tecnológico para la Seguridad y la Defensa. La Moncloa. Disponible en: <https://www.lamoncloa.gob.es/consejodeministros/resumenes/Documents/2025/230425-plan-industrial-y-tecnologico-para-la-seguridad-y-la-defensa.pdf> (Consulta: 8 de octubre de 2025)
- Ministry of Defence. (2022). Defence Artificial Intelligence Strategy. London: UK Government. Disponible en: <https://www.gov.uk/government/publications/defence-artificial-intelligence-strategy>. (Consulta: 8 de octubre de 2025)
- Mohsan, S. A., Javaid, N., Saeed, N., Qadir, Z., Fahim, H., He, B., & Song, H. (2023). Communication and control in collaborative UAVs: Recent advances and future

trends. arXiv preprint arXiv:2302.12175.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.12175>.

NATO CCDCOE. (2024). Locked Shields 2024: World's largest cyber defence exercise. Disponible en: <https://ccdcoe.org/exercises/locked-shields/> (Consulta: 7 de octubre de 2025)

Pérez-Domínguez, L. A., Ávila-López, J. R., y Luviano-Cruz, D. (2023). Tendencia de la Industria 4.0 comparado con Industria 5.0. Mundo FESC, 13(25), 7–19. <https://doi.org/10.61799/2216-0388.1248>.

PwC y Siemens. (2025, octubre 7). Claves e inversiones estratégicas para una España 5.0. Expansión. Disponible en: <https://www.expansion.com/economia-sostenible/2025/10/07/68e51cf2468aeb0a458b457b.html>. (Consulta: 8 de octubre de 2025)

Rid, T. (2020). Active measures: The secret history of disinformation and political warfare. Farrar, Straus and Giroux.

Riola, J. M., Fajardo-Toro, C. H., Díaz Reina, J., Mayorga Torres, O., y Garnica López, M. A. (2020). Defensa 4.0: Internet de las Cosas en Sistemas de Batalla (IoBT) en Defensa Naval. RISTI-Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Información (Edición Especial), 507–519.

Saniuk, S., Grabowska, S., & Adamik, A. (2024). Smart Organizations in Industry 5.0: A Human-centric Approach. Taylor & Francis.

Servicio Europeo de Acción Exterior (EEAS). (2018, marzo 6). Plan de aplicación en el ámbito de la seguridad y la defensa - Factsheet. Disponible en: https://www.eeas.europa.eu/eeas/plan-de-aplicaci%C3%B3n-en-el-%C3%A1mbito-de-la-seguridad-y-la-defensa-factsheet_es (Consulta: 6 de octubre de 2025)

Servicio Europeo de Acción Exterior (EEAS). (2020, junio 21). Seguridad y defensa de Europa: el camino a seguir. Disponible en: https://www.eeas.europa.eu/eeas/seguridad-y-defensa-de-europa-el-camino-seguir_es (Consulta: 6 de octubre de 2025)

Schwab, K. (2016). The Fourth Industrial Revolution. World Economic Forum

- Taddeo, M., y Floridi, L. (2018). How AI can be a force for good. *Science*, 361(6404), 751-752.
- Travez Tipan, A. V., y Villafuerte Garzón, C. M. (2023). Industria 5.0: revisión del pasado y futuro de la producción y la industria. *Revista Científica Mundo*, 7(1). DOI: 10.37811/cl_rcm.v7i1.4457.
- Universidad de los Andes, Colombia (2025). Foro “Personas e industria en la era de la Sociedad 5.0”. Disponible en: <https://industrial.uniandes.edu.co/es/Foro-Personas-e-Industria-en-la-Era-de-la-Sociedad-5.0> (Consulta: 22 de septiembre de 2025)
- Wang, X., Wang, Y., Su, X., Wang, L., Lu, C., Peng, H., & Liu, J. (2024). Deep reinforcement learning-based air combat maneuver decision-making: Literature review, implementation tutorial and future direction. *Artificial Intelligence Review*, 57, artículo 1. <https://doi.org/10.1007/s10462-023-10620-2>.
- World Industry 5.0 Forum. (s.f.). World Industry 5.0 Forum. Disponible en: <https://www.worldindustry5forum.org> (Consulta: 22 de septiembre de 2025)
- Zabala Innovation. (2025, febrero 13). Fondo Europeo de Defensa 2025. Financia tu proyecto. Zabala. Disponible en: <https://www.zabala.es/noticias/fondo-europeo-de-defensa-2025/> (Consulta: 6 de octubre de 2025)
- Zabala Innovation. (2025, marzo 17). Defensa y pymes. Dos convocatorias no temáticas de EDF 2025. Zabala. Disponible en: <https://www.zabala.es/noticias/edf-2025/> (Consulta: 6 de octubre de 2025)
- Zamora Torralba, E. (2025, junio 10). Los pequeños negocios encuentran su hueco en la industria de Defensa. *El Economista*. Disponible en: <https://www.eleconomista.es/economia/noticias/13398992/06/25/los-pequenos-negocios-encuentran-su-hueco-en-la-industria-de-defensa.html> (Consulta: 6 de octubre de 2025)