Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa

ETID - 2026

SECRETARÍA DE ESTADO DE DEFENSA

Dirección General de Estrategia e Innovación de la Industria de Defensa

MINISTERIO DE DEFENSA

Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa

ETID 2026

SECRETARÍA DE ESTADO DE DEFENSA

Dirección General de Estrategia e Innovación de la Industria de Defensa

MINISTERIO DE DEFENSA

GOBIERNO DE ESPAÑA | MINISTERIO DE DEFENSA

Versión autorizada para uso público de la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID 2026)

Fecha de edición: marzo de 2026

Carta de promulgación de la Secretaria de Estado de Defensa

El entorno estratégico en el que operan nuestras Fuerzas Armadas atraviesa una transformación profunda, marcada por la competición estratégica, la evolución acelerada de la tecnología y cambios significativos en el equilibrio geopolítico global. Los conflictos recientes han demostrado que la superioridad tecnológica constituye un factor determinante en el campo de batalla, donde la integración multidominio, la guerra electrónica avanzada, la resiliencia operativa y la capacidad de adaptación rápida marcan la diferencia entre el éxito y el fracaso de las operaciones militares.

En este contexto, la tecnología y la innovación se revelan como elementos estratégicos de primer orden para garantizar la seguridad nacional. No se trata únicamente de disponer de sistemas avanzados, sino de contar con una base industrial y tecnológica nacional capaz de desarrollarlos, producirlos y sostenerlos de forma autónoma, fomentando la capilaridad del sector y reduciendo dependencias críticas que puedan comprometer nuestra libertad de acción en momentos decisivos.

La Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa que hoy presentamos responde a esta realidad estratégica y constituye el instrumento director que orientará todas las actuaciones en I+D+i del Departamento durante los próximos años, estableciendo prioridades claras y movilizando recursos de forma eficiente para alcanzar nuestros objetivos.

Esta Estrategia se alinea con la Directiva de Defensa Nacional, la Directiva de Política de Defensa y la Estrategia de Seguridad Nacional, que subrayan la necesidad de mantener a nuestras Fuerzas Armadas y a la Base Industrial y Tecnológica de la Defensa en la vanguardia tecnológica, reforzando la cooperación europea e impulsando una I+D+i coordinada y de carácter dual. Asimismo, se integra de manera coherente con la Estrategia Industrial de Defensa, que fija las líneas de acción necesarias para fortalecer la autonomía tecnológica y robustecer la competitividad y resiliencia de la industria de defensa. Por tanto, se da continuidad a este marco estratégico, orientando el esfuerzo inversor en I+D+i hacia el desarrollo de capacidades críticas para la defensa y la seguridad de España.

Dos principios fundamentales guían la nueva Estrategia. El primero es la cooperación como factor multiplicador de nuestras capacidades. En el ámbito nacional, donde debemos aunar el esfuerzo en I+D+i de uso dual, coordinando las actuaciones del Ministerio de Defensa con otros departamentos ministeriales y con las agencias de financiación de la I+D+i. Cooperación en el ámbito europeo, aprovechando plenamente las oportunidades que brinda el Fondo Europeo de Defensa (EDF) y el conjunto de iniciativas europeas de apoyo a la I+D+i en defensa,

posicionándonos como socio activo en la construcción de la autonomía estratégica europea. Y cooperación en el marco transatlántico, participando en las iniciativas de innovación de la OTAN, como DIANA, que refuerzan nuestra seguridad colectiva.

El segundo principio es el equilibrio entre estabilidad y agilidad. Reconocemos que el desarrollo de las capacidades militares requiere programas estables a largo plazo, especialmente para los futuros sistemas de sistemas. Pero también comprendemos que el ritmo actual de la innovación tecnológica exige mecanismos más flexibles que permitan explorar tecnologías emergentes, incorporar soluciones innovadoras de actores no tradicionales (como *startups* y PYMES) y adaptar nuestras capacidades con rapidez ante amenazas cambiantes. Este doble enfoque asegura tanto la excelencia en los grandes programas como la flexibilidad en la asimilación tecnológica.

El incremento de las inversiones en defensa que España, junto con nuestros socios europeos y aliados, está acometiendo representa una oportunidad histórica que debemos gestionar con responsabilidad estratégica. El Plan Industrial y Tecnológico para la Seguridad y la Defensa materializa este compromiso inversor mediante un esfuerzo coordinado de distintos ministerios y organismos públicos, destinando recursos sin precedentes al fortalecimiento de nuestra base industrial y tecnológica. Esta Estrategia establece el marco para que en los próximos años estas inversiones en I+D+i se traduzcan en capacidades militares efectivas y en el desarrollo de competencias tecnológicas críticas, generando un retorno significativo en empleo de alta cualificación tanto para nuestra seguridad como para nuestra economía y sociedad.

La implementación de esta Estrategia requerirá el compromiso de toda la organización. Corresponde a la Dirección General de Estrategia e Innovación de la Industria de Defensa liderar su despliegue, coordinando las actuaciones de todos los organismos implicados, estableciendo los planes de ejecución específicos y asegurando los mecanismos de seguimiento que nos permitan evaluar periódicamente los avances alcanzados y adoptar las decisiones necesarias para garantizar el cumplimiento de nuestros objetivos estratégicos.

Con la aprobación de esta Estrategia, España da un paso firme hacia una defensa tecnológicamente avanzada, industrialmente resiliente y estratégicamente autónoma, capaz de garantizar nuestra seguridad y de contribuir de forma significativa a la seguridad colectiva europea y transatlántica.

La Secretaria de Estado de Defensa

Introducción del Director General de Estrategia e Innovación de la Industria de Defensa

El entorno de seguridad que afrontan hoy nuestras Fuerzas Armadas se caracteriza por una complejidad creciente y una velocidad de cambio sin precedentes. Los conflictos recientes han reconfigurado el panorama estratégico y han confirmado que la superioridad tecnológica es determinante para el éxito operacional. Esta realidad exige integración multidominio de sistemas avanzados, adaptación táctica continua y, sobre todo, resiliencia industrial para sostener operaciones prolongadas. El desafío consiste en incorporar con rapidez tecnologías de vanguardia, en especial las de potencial disruptivo, aplicando criterios rigurosos de madurez y de aplicabilidad a los sistemas de defensa, con una visión integral que abarque el ciclo completo: desde la identificación de la necesidad operativa hasta el despliegue, la certificación y el sostenimiento.

En este contexto, la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID 2026) cobra pleno sentido como marco operativo y de gestión que orienta la I+D+i del Departamento y sincroniza la política tecnológica con la industrial. Su propósito es garantizar que la innovación no sea un fin en sí mismo, sino el medio que conecta la investigación aplicada con la industria y con las necesidades de las Fuerzas Armadas, asegurando que las soluciones puedan producirse, escalarse y sostenerse con eficacia y seguridad. La ETID refuerza, además, nuestra soberanía tecnológica y la libertad de acción, alineando prioridades, instrumentos y capacidades en un itinerario claro que acelere la transición desde el laboratorio a la capacidad operativa. Además, este marco se complementa con la Estrategia Industrial de Defensa (EID 2023), con la que mantiene una coordinación directa y coherente. Mientras la EID fija las líneas maestras para fortalecer y expandir la Base Industrial y Tecnológica de la Defensa, la ETID asegura que la I+D+i avance en sintonía con esas prioridades, logrando que el desarrollo tecnológico y la capacidad industrial evolucionen de forma armónica y mutuamente reforzada.

A partir de este enfoque integrado, la Estrategia se estructura en torno a tres pilares que permiten orientar de manera coherente las actuaciones y consolidar un modelo de innovación robusto y sostenido en el tiempo.

El primero de los pilares que sustentan esta estrategia es la priorización de recursos. Se trata de concentrar la inversión en objetivos tecnológicos con mayor impacto operativo e industrial, combinando ámbitos tecnológicos consolidados con líneas de alto potencial disruptivo, a través de proyectos de investigación y desarrollo tecnológico que favorezcan su traslado al conjunto de sistemas empleados por las Fuerzas Armadas en sus misiones.

El segundo pilar es la cooperación, concebida como un multiplicador de capacidades. En el ámbito nacional, la ETID articula la colaboración con otros departamentos y agencias de financiación para alinear instrumentos, compartir información y coordinar prioridades. En el plano internacional, impulsa la participación en iniciativas europeas y transatlánticas, con el objetivo de asegurar retorno tecnológico, acceso a capacidades que exceden nuestras posibilidades y un posicionamiento competitivo de nuestra industria en cadenas de valor estratégicas. Este enfoque integra a las Fuerzas Armadas, a la Base Industrial y Tecnológica de la Defensa y al conjunto de organismos con responsabilidades en las políticas de desarrollo tecnológico e industrial y su financiación, favoreciendo la innovación dual como vía para lograr ventajas competitivas y soberanía.

El tercer pilar es la mejora continua, que impulsa la transformación de procesos, instrumentos y modelos de trabajo para hacerlos más ágiles, transparentes y eficientes. Supone también reforzar la gobernanza, el seguimiento de programas y la planificación plurianual, proporcionando estabilidad a la inversión, coherencia a las decisiones y visibilidad a largo plazo para la industria y el ecosistema científico-tecnológico.

Los próximos años serán decisivos para el desarrollo tecnológico e industrial nacional. Con el Plan Industrial y Tecnológico para la Seguridad y la Defensa como palanca financiera, nuestra responsabilidad es transformar inversión en capacidades efectivas. La ETID orienta ese esfuerzo hacia prioridades tecnológicas concretas y dinamiza la base industrial con proyectos de alto impacto.

Para finalizar, quiero reconocer el trabajo del personal del Ministerio de Defensa que ha contribuido a esta Estrategia, en particular de la Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación (SDG PLATIN). Su éxito dependerá del rigor en la implementación y de la colaboración leal de todo el ecosistema. Con esa base, la ETID 2026 será el instrumento que transforme la ambición tecnológica en capacidad militar efectiva y en una industria nacional más fuerte, innovadora y sostenible.

El Director General de Estrategia e Innovación de la Industria de Defensa

Índice

1. Política de I+D+i del Ministerio de Defensa 10
Misión, visión y valores 10
Características de la I+D+i de defensa 12
Sinergias con otras políticas 13
2. Situación actual y tendencias en la I+D+i de defensa 16
Capacidades militares 16
Avance tecnológico 21
Agentes del ecosistema de la I+D+i de defensa 25
La Base Industrial y Tecnológica nacional 25
El Sistema Español de Ciencia, Tecnología e Innovación 27
La Unión Europea y la OTAN 29
El Ministerio de Defensa 35
Resumen 38
3. Directrices y Actuaciones 40
Pilar de objetivos tecnológicos 42
Actuaciones del pilar de objetivos tecnológicos 47
Pilar de Cooperación 48
Cooperación nacional 48
Cooperación internacional 50
Actuaciones del pilar de cooperación 51
Pilar de Mejora continua 52
Procesos e instrumentos 52
Financiación 55
Seguimiento 55
Actuaciones en el pilar de mejora continua 57
Síntesis de las actuaciones previstas 58
Anexo A. Líneas de I+D+i de interés para defensa 60
Listado de líneas de I+D+i 126

Relación entre las Áreas de la ETID 2026 y las Capacidades Esenciales para la Defensa de la EID 2023 137

Anexo B. Objetivos tecnológicos 138

Anexo C. Niveles de madurez tecnológica 170

Anexo D. Glosario de términos 172

1. Política de I+D+i del Ministerio de Defensa

La Política de I+D+i del Ministerio de Defensa, bajo la responsabilidad de la Secretaria de Estado de Defensa coadyuva al logro de los objetivos establecidos por la Política de Defensa y contribuye, por tanto, a la consecución de las capacidades necesarias resultantes del Proceso de Planeamiento de la Defensa, regulado por la Orden Ministerial 60/2015, de 3 de diciembre.

Esta política pública se rige por la Ley 14/2011, de 1 de junio, de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, modificada por la Ley 17/2022, de 5 de septiembre. En consecuencia, cualquier actuación debe realizarse al amparo de la Estrategia Española de Ciencia, Tecnología e Innovación (EECTI 2021-2027)[1] y coordinarse con los departamentos competentes, como marco común para el fomento de la investigación científica y técnica, y de la innovación.

Sobre la base de este marco normativo, la Política de I+D+i del Ministerio de Defensa, se articula para impulsar el desarrollo de las capacidades tecnológicas en los agentes del sector, los cuales serán englobados a lo largo de este documento bajo el acrónimo de Base Industrial y Tecnológica nacional de la Defensa (BITD), con el fin último de garantizar que puedan mantener de forma sostenida la capacidad de suministrar al Ministerio de Defensa y a las Fuerzas Armadas (FAS) los sistemas y equipos más avanzados tecnológicamente, que potencien las capacidades militares y contribuyan al éxito de las operaciones.

Misión, visión y valores

La Política de I+D+i de Defensa persigue dos objetivos básicos:

- Contribuir al **desarrollo de las capacidades militares**, aportando soluciones tecnológicas avanzadas que coadyuven al logro del principio de **ventaja operativa** en su empleo.
- Contribuir a **conformar la base industrial y tecnológica nacional** de cara a que disponga de las capacidades necesarias y esenciales para la defensa, para alcanzar el principio de **libertad de acción** en el empleo de las capacidades militares.

Estos objetivos configuran la **Misión** principal de la I+D+i de defensa con la que deben alinearse los objetivos específicos que se establezcan en esta Estrategia, así como los planes y programas que se elaboren para su desarrollo.

La **Visión** se centra en disponer de un sistema de I+D+i de defensa capaz de aprovechar tanto sus capacidades y recursos propios del Departamento como las oportunidades externas a las que pueda acceder a través de la cooperación nacional e internacional, actuando en el conjunto de ámbitos tecnológicos que son relevantes para las misiones de las FAS y a diferentes niveles de madurez de las tecnologías, de forma que los resultados se integren en los procesos de

[1] https://www.ciencia.gob.es/InfoGeneralPortal/documento/e8183a4d-3164-4f30-ac5f-d75f1ad55059

obtención de los futuros sistemas de armas y que la BITD nacional pueda dar respuesta sostenida tanto a las necesidades tecnológicas actuales como a los retos tecnológicos que depare el futuro.

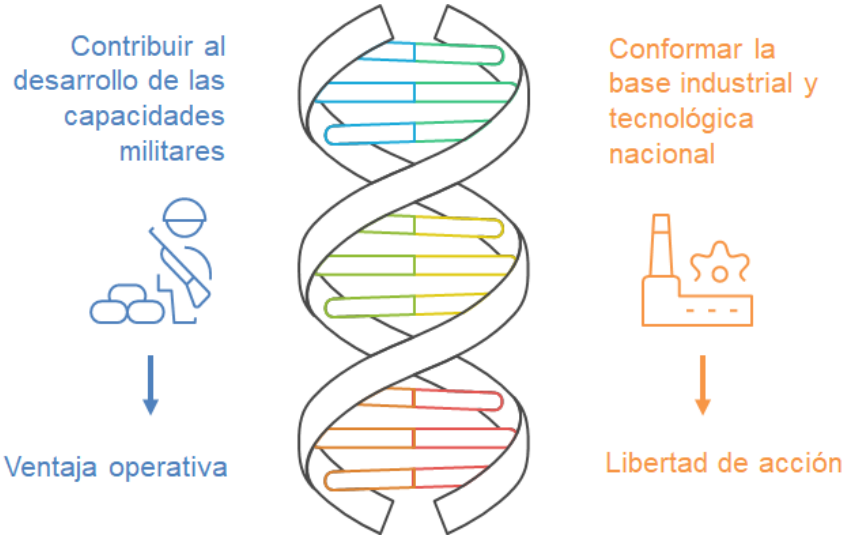


Figura 1. Objetivos de la Política de I+D+i de Defensa

La I+D+i de defensa cuenta con unos **Valores** que impregnan todas sus actuaciones, contribuyendo a alcanzar muchos de los retos a los que se enfrenta nuestra sociedad.

Responsabilidad:	**Valores:**
Frente a las FAS	- Vocación de servicio a las FAS.
Frente a otros agentes públicos financiadores de la investigación científica y tecnológica a escala nacional.	- Compromiso común para apoyar el desarrollo del tejido tecnológico nacional y el crecimiento económico.
Frente a la BITD española	- Igualdad de oportunidades para todo tipo de entidades. - Receptividad ante ideas y propuestas innovadoras que promuevan el avance tecnológico en las FAS.
Frente a la sociedad	- Contribución a los grandes retos de seguridad y sostenibilidad a los que se enfrenta la sociedad. - Transparencia en las actuaciones. - Uso de los recursos públicos según los principios de economía, eficacia y eficiencia. - Principios éticos como parte integral de todas las actuaciones.

Tabla 1. Valores de la I+D+i de Defensa

Características de la I+D+i de defensa

La I+D+i de defensa se caracteriza por tener un marcado carácter aplicado y finalista, de acuerdo al cual en todo momento se busca trasladar los últimos avances tecnológicos a los sistemas actuales y futuros que contribuyen al desarrollo de las capacidades militares. Esta vinculación entre I+D+i de aplicación a defensa y sistemas finales condiciona la manera de concebir y desarrollar todas las actuaciones, con independencia de los niveles de madurez tecnológica (TRL[2]) de los que se parta y a los que se quiera llegar.

En ese contexto, con carácter general las actuaciones del Ministerio de Defensa se dirigen a abordar necesidades de defensa que impliquen retos tecnológicos importantes a través de la adaptación de soluciones tecnológicas ya existentes, así como al desarrollo de nichos tecnológicos donde la actividad privada no satisfaga las necesidades específicas de defensa, fomentando el desarrollo de tecnologías de doble uso y evitando que se produzcan duplicidades con la I+D+i dirigida a fines civiles.

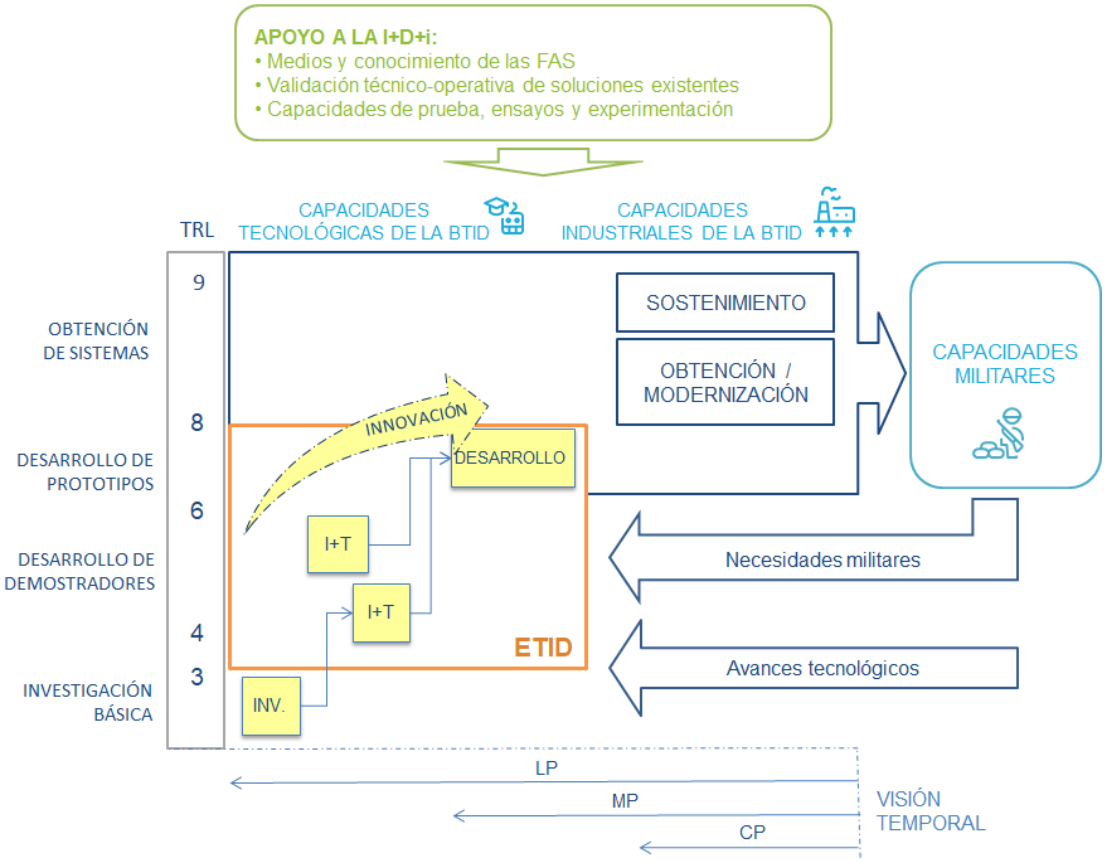


Figura 2. I+D+i de defensa

Tradicionalmente los principales esfuerzos de la I+D+i de defensa se han dirigido a las etapas de investigación aplicada y desarrollo experimental, con vistas a trasladar sus resultados a los

[2]*Technology Readiness Levels*. Este concepto, así como otros utilizados a lo largo de este documento se abordan en el Anexo C.

procesos de obtención del Departamento. Para ello, se contemplan dos tipos de actividades (ver Figura 2):

- **Investigación y Tecnología (I+T).** Actividades de investigación aplicada cuyo objetivo es la capacitación en nuevas tecnologías que puedan ser utilizadas en los futuros sistemas de armas y equipos, así como la verificación de dichas tecnologías por medio de demostradores tecnológicos.
- **Desarrollo (D).** Aplicación de los conocimientos y resultados obtenidos en las fases de investigación al diseño, desarrollo y validación de nuevos productos o a la mejora sustancial de los existentes, mediante la obtención de prototipos con funcionalidades próximas a los sistemas finales. Este tipo de actividad puede estar vinculada a un proyecto de investigación y desarrollo o a la Etapa de Diseño de la Fase de Ejecución de un programa de armamento y material.

En los últimos años, en los que la aceleración tecnológica y la creciente complejidad del entorno geopolítico ha adquirido un peso creciente, la **innovación tecnológica** en defensa se ha consolidado como un complemento esencial a los enfoques tradicionales de I+D basados en el desarrollo estructurado de capacidades a medio y largo plazo, de manera que se introduce una lógica más ágil y adaptativa, centrada en la incorporación temprana de tecnologías habilitantes, emergentes y disruptivas. Este enfoque permite responder con mayor rapidez a desafíos operativos inmediatos, aprovechando el potencial de las tecnologías de uso dual desarrolladas en el ámbito civil.

En lo relativo a las actividades de **investigación básica** que puedan tener naturaleza dual, si bien no constituyen el foco de la I+D+i de defensa, adquieren un creciente interés dado su potencial para conformar la base científica sobre la que se desarrollarán las tecnologías críticas del futuro. Estas actividades permiten explorar conceptos disruptivos en fases tempranas de madurez tecnológica, abriendo nuevas posibilidades para la defensa a medio y largo plazo. Además, fortalecen las capacidades tecnológicas de la BITD al potenciar a los agentes-incubadores, como universidades, centros de investigación y startups de base tecnológica, que actúan como semillero de conocimiento y talento científico esencial para la soberanía tecnológica.

Sinergias con otras políticas

Desde una perspectiva estratégica más amplia, la Política de I+D+i, establecida en la ETID, y la **Política Industrial de Defensa**, establecida en la Estrategia Industrial de Defensa (EID)[3], constituyen dos pilares complementarios y coordinados de la Política de Defensa. Mientras que la primera orienta los esfuerzos tecnológicos hacia el desarrollo de capacidades futuras mediante la inversión en tecnologías avanzadas e innovadoras, la segunda define el concepto de Capacidades Industriales Estratégicas de la Defensa (CIED) y enumera y describe las Capacidades Esenciales para la Defensa al tiempo que busca la consolidación de una BITD nacional competitiva y sostenible. Esta complementariedad asegura que las prioridades tecnológicas se alineen con las necesidades industriales estratégicas, generando sinergias que

[3] La versión vigente en el momento de publicación de esta estrategia es la EID 2023.

fortalecen tanto la autonomía operativa de las FAS como la soberanía tecnológica e industrial del país.

Esta relación se refuerza al considerar que ambas políticas se apoyan en las dos dimensiones fundamentales de la BITD: su dimensión tecnológica y su dimensión industrial. Desde la perspectiva de la ETID, el foco se sitúa en las **capacidades tecnológicas** de la BITD, entendidas como la aptitud de universidades, centros de I+D+i, pymes y grandes empresas con vocación innovadora para abordar proyectos con un alto componente de investigación y desarrollo. Estas capacidades son esenciales para anticipar y desarrollar las tecnologías críticas que sustentan la autonomía estratégica. Por su parte, la EID pone el acento en las **capacidades industriales** de la BITD, es decir, su capacidad para producir, poner en servicio, mantener y evolucionar sistemas finales, así como para prestar servicios estratégicos. La coordinación entre ambas estrategias garantiza que los avances tecnológicos impulsados por la ETID se traduzcan en capacidades industriales sostenibles, alineadas con las necesidades operativas de las FAS y con los objetivos de soberanía y competitividad del sector defensa.

Figura 3. Sinergias entre Políticas

Asimismo, la I+D+i de defensa se integra en la **EECTI**, así como en los Planes Estatales de Investigación Científica, Técnica y de Innovación (PEICTI), instrumentos marco en los que quedan establecidos los objetivos generales ligados al fomento y desarrollo de las actividades de I+D+i en España, de los cuales asume sus principios y objetivos y los desarrolla para el ámbito sectorial de la defensa.

2. Situación actual y tendencias en la I+D+i de defensa

Este capítulo ofrece una visión global sobre la situación actual de la I+D+i en defensa, analizando tanto los condicionantes internos y externos como las principales barreras y retos que deben afrontarse para avanzar hacia la visión estratégica deseada. El objetivo es identificar los factores que influyen en el desarrollo del sector y los desafíos que será necesario superar para alcanzar la visión futura de la política de I+D+i en defensa.

El análisis se estructura en torno a tres grandes ejes: la evolución de las capacidades militares como referencia para orientar la innovación, el impacto del acelerado avance tecnológico y su potencial disruptivo en defensa, y el papel de los distintos agentes del ecosistema de ciencia, tecnología e innovación, desde la base industrial y tecnológica nacional hasta los organismos nacionales e internacionales y el propio Ministerio de Defensa como coordinador sectorial.

Figura 4. Análisis de las dimensiones que afectan a la Política de I+D+i

Capacidades militares

En los últimos años, el contexto estratégico internacional ha experimentado una evolución sustancial, caracterizada por la creciente multipolaridad, el incremento de las tensiones geopolíticas y la emergencia de nuevas amenazas híbridas y tecnológicas. Esta transformación del entorno ha tenido un impacto directo en la concepción y desarrollo de las capacidades militares, exigiendo una revisión profunda de los enfoques tradicionales y una adaptación a los requerimientos de seguridad y defensa del siglo XXI. La intensificación de la competencia entre grandes potencias, el resurgir de la disuasión convencional, la militarización del espacio y del ciberespacio, y la proliferación de tecnologías disruptivas configuran un escenario en el que la capacidad de anticipación tecnológica y de respuesta operativa adquiere una centralidad

estratégica sin precedentes[4].En este nuevo contexto, el desarrollo de capacidades militares se dirige cada vez más a la orquestación de un sistema de sistemas complejo, interdependiente y dinámico, articulado en torno a tres ejes fundamentales: la integración multidominio, la superioridad tecnológica y la resiliencia operativa.

Así, la **integración multidominio** implica la capacidad de operar de forma coordinada y simultánea en los entornos terrestre, marítimo, aéreo, ciberespacial y electromagnético, espacial y cognitivo, superando la compartimentación clásica entre dominios y promoviendo una arquitectura de mando, control y decisión más ágil, distribuida y digitalizada, que permita la integración en tiempo real de sensores, datos, decisiones y efectos. Esta integración requiere el desarrollo de capacidades interoperables, escalables y reconfigurables, capaces de adaptarse a entornos operativos altamente dinámicos, en los que existe un elevado grado de degradación del espectro electromagnético. El desafío no solo es técnico, sino también doctrinal y organizativo, ya que sitúa al combatiente en el centro de esta transformación. Demanda un cambio profundo en la concepción del empleo conjunto de la fuerza y una evolución en los marcos de planificación y adiestramiento para dar respuesta a necesidades de formación radicalmente nuevas, como la operación de sistemas complejos o la sinergia y los posibles efectos cascada entre dominios[5]. Especialmente en dominios emergentes como el espacial y el cognitivo, la sinergia entre efectos no puede ignorar la gestión de la carga cognitiva del personal o la importancia de la interfaz humano-máquina para generar confianza en la autonomía. Por tanto, la I+D+i no solo debe enfocarse en el hardware y el software, sino también en cómo optimizar el rendimiento y la resiliencia del personal que los utiliza.

Por su parte, la **superioridad tecnológica** se erige como un requisito indispensable para garantizar la eficacia operativa en conflictos caracterizados por la asimetría, la aceleración del ritmo de combate y la fusión entre lo físico y lo digital. La incorporación de tecnologías con potencial disruptivo, tales como la inteligencia artificial, los sistemas autónomos o las nuevas capacidades espaciales basadas en el paradigma *new space*[6], constituye una prioridad estratégica para el diseño y despliegue de capacidades militares de nueva generación. Estas tecnologías no solo incrementan la letalidad, precisión y velocidad de respuesta de los sistemas, sino que habilitan nuevos conceptos operativos, como el combate colaborativo, la guerra cognitiva o las operaciones distribuidas en enjambre. La aceleración de los ciclos tecnológicos plantea, adicionalmente, un desafío en términos de planificación, obsolescencia y actualización continua de las capacidades, lo que requiere modelos de adquisición más flexibles y adaptativos, así como estructuras de I+D+i ágiles, capaces de interactuar con el ecosistema de innovación civil, sin obviar las implicaciones éticas y legales de su desarrollo y empleo.

---

[4] *NATO Strategic Foresight Analysis* (2023)

[5] *Enhancing EU Military Capabilities beyond 2040*. EDA, 2023.

[6] El movimiento *New Space* es una industria emergente que promueve la participación de empresas privadas, *startups* y venture capital en el desarrollo de tecnologías espaciales. Su objetivo principal es crear negocios rentables en actividades como lanzamientos, satélites, exploración y servicios espaciales, priorizando la innovación sobre la financiación pública exclusiva.

Figura 5. Integración multidominio (imagen generada con IA)

Finalmente, la **resiliencia operativa** se consolida como una dimensión crítica en un contexto marcado por la proliferación de amenazas persistentes avanzadas y el uso intensivo de medios de denegación, interferencia o saturación. La resiliencia implica la capacidad de mantener la continuidad operativa, adaptarse a la disrupción y recuperarse rápidamente ante ataques cinéticos, cibernéticos o electromagnéticos. Esto requiere infraestructuras críticas seguras, sistemas redundantes de mando y control, y una preparación integral para operar en escenarios A2/AD (*anti-access/area denial*) o en entornos degradados en cuanto a capacidades de telecomunicaciones y navegación. Resulta asimismo esencial contar con cadenas logísticas ágiles, robustas, flexibles y redundantes, capaces de sostener operaciones de alta intensidad en entornos disputados, garantizar el abastecimiento autónomo, asegurar la movilidad estratégica y operativa, y facilitar el mantenimiento continuo de plataformas en condiciones adversas. Junto a ello, deben integrarse capacidades de ciberdefensa activa, defensa electrónica y protección del espectro electromagnético, combinadas con estrategias de dispersión, ocultación y engaño que dificulten la acción enemiga sobre los nodos críticos. Del mismo modo, deben reforzarse las capacidades médicas militares, tanto en su dimensión preventiva como de respuesta ante bajas, incluyendo evacuación médica en combate (MEDEVAC), despliegue de hospitales de campaña, telemedicina y gestión de crisis sanitarias, ya que estas capacidades son esenciales para sostener operaciones prolongadas, garantizar la salud física y psicológica del personal, y asegurar la resiliencia del sistema de fuerzas en su conjunto.

La guerra en Ucrania ha actuado como una aceleradora de estas tendencias, ofreciendo lecciones relevantes en materia de empleo de sistemas no tripulados, munición merodeadora, defensa antiaérea multicapa, comunicaciones resilientes, guerra electrónica y dominio de la información. Asimismo, ha puesto de manifiesto la importancia de disponer de capacidades de

producción industrial adaptables, escalables y eficientes, capaces de responder a escenarios de alta intensidad y duración prolongada. En este sentido, el refuerzo de la BITD, tanto a nivel nacional como europeo, se convierte en un elemento clave para garantizar la disponibilidad y sostenibilidad de las capacidades militares. La autonomía estratégica, como principio orientador de estas políticas, requiere una reducción progresiva de dependencias críticas en sectores tecnológicos clave, junto con el desarrollo de ecosistemas de innovación propios que refuercen la soberanía tecnológica[7][8].

Este conflicto también ha subrayado la urgencia de operar eficazmente en entornos altamente disputados y tecnológicamente complejos, expandiendo el campo de batalla tradicional hacia dominios como el ciberespacial, incluido el entorno electromagnético, el espacial, y cognitivo. Además de la importancia de lograr la integración multidominio descrita anteriormente, cada uno de estos dominios presenta particularidades propias que van a condicionar notablemente el desarrollo tecnológico en defensa en los próximos años, las cuales se resumen en la Tabla 2.

A esta transformación tecnológica y doctrinal se suma un factor determinante de carácter político-económico: el aumento generalizado de las inversiones en defensa a partir del año 2025. Impulsadas por el deterioro de la seguridad europea, el rearme de actores globales y regionales y la necesidad de reforzar la disuasión creíble frente a amenazas híbridas y convencionales, la mayoría de los países europeos y de la OTAN están incrementando sustancialmente sus presupuestos de defensa. Esta dinámica representa una oportunidad sin precedentes para modernizar capacidades, acelerar la innovación y reconfigurar arquitecturas operativas que respondan a los desafíos del entorno. Al mismo tiempo, exige una planificación rigurosa y estratégica que oriente dichas inversiones hacia la generación de capacidades efectivas, interoperables, sostenibles y alineadas con los intereses nacionales y colectivos. La eficiencia en la inversión dependerá en gran medida de la capacidad para integrar la innovación tecnológica con la transformación doctrinal, asegurar la continuidad de los programas a largo plazo y fomentar un tejido industrial y científico que pueda sostener el esfuerzo de defensa, con atención específica a la dualidad civil-militar y al retorno estratégico para la economía nacional.

[7]La soberanía tecnológica en el entorno de la defensa se define como la capacidad de un Estado o coalición para desarrollar, proveer y proteger las tecnologías críticas necesarias para su seguridad sin dependencias estructurales unilaterales de terceros países. Mientras que la Unión Europea la integra bajo el concepto de Autonomía Estratégica Abierta, enfocándose en reducir la vulnerabilidad en cadenas de suministro y fortalecer la base industrial de defensa europea para decidir y actuar de forma independiente, la OTAN la interpreta como la preservación de una ventaja tecnológica competitiva y la resiliencia operativa frente a adversarios. En términos prácticos para la fuerza, esta soberanía se manifiesta en tres niveles de autonomía: libertad de uso (operar sistemas sin restricciones externas), libertad de modificación (capacidad de adaptar software y hardware a necesidades específicas) y seguridad de suministro (garantía de acceso ininterrumpido a componentes y soporte técnico, especialmente en tiempos de crisis o conflicto).

[8] La EID establece como uno de sus principios el aumento del nivel de autonomía estratégica en materia de industria de defensa que permita reducir la dependencia de terceros, principalmente en lo relacionado con las Capacidades Industriales Estratégicas de la Defensa (CIED).

Dominio	Características clave y líneas de evolución tecnológica-operativa
Terrestre	- Movilidad incrementada y letalidad distribuida. - Plataformas ligeras, protegidas y conectadas. - Integración de sistemas tripulados y no tripulados (UGV). - Digitalización del mando y control táctico. - Persistencia operativa en escenarios urbanos y de alta intensidad. - Resiliencia GNSS-denegada y defensa frente a drones.
Marítimo	- Capacidades antisubmarinas y guerra de superficie avanzada. - Vehículos submarinos y de superficie autónomos interoperables con buques tripulados. - Vigilancia persistente y guerra electrónica colaborativa. - Arquitecturas modulares y mando distribuido para entornos A2/AD. - Protección de rutas e infraestructuras marítimas críticas. - Enfrentamiento a amenazas hipersónicas o enjambres.
Aéreo	- Superioridad aérea compartida: plataformas tripuladas y no tripuladas. - Sistemas de combate de sexta generación con IA embarcada. - Redes distribuidas y resistentes en el espectro. - Capacidades SEAD, guerra electrónica aérea y reabastecimiento operativo adaptado. - Integración con plataformas espaciales, navales y terrestres.
Ciberespacio	- Entorno operativo autónomo con defensa pasiva y activa. - Ciberinteligencia e intervención ofensiva conforme al marco legal. - Protección de mando y control, infraestructuras y logística digitalizada. - Ciberresiliencia embebida en sistemas y plataformas. - Conectividad persistente y segura en entornos multidominio. - Resiliencia en entornos electromagnéticos degradados. - Necesidad de entrenamiento realista - Colaboración civil-militar. - Control y gestión dinámica del espectro electromagnético como eje central de la ventaja operativa, incluyendo guerra electrónica ofensiva y defensiva integrada, así como técnicas de ocultación. - Incorporación de tecnologías cuánticas y cognitivas.
Espacial	- Militarización acelerada con capacidades duales y específicas. - Amenazas ASAT, denegación GNSS y vehículos orbitales de maniobra. - Funciones críticas: C2, navegación, ISR y comunicaciones. - Integración de constelaciones LEO y VLEO y doctrinas espaciales. - Soberanía en los sistemas ISR para incrementar las fuentes de información estratégica - Necesidad de normas internacionales para uso responsable del espacio.
Cognitivo	- Confrontación en el ámbito de la narrativa y la percepción pública. - Desinformación, manipulación mediática y redes sociales como armas. - Capacidades de detección de campañas hostiles y análisis semántico. - Gestión ética de narrativas y protección del capital cognitivo. - Aplicación de IA, neurociencia, biotecnología y otras tecnologías emergentes, así como análisis conductual.

Tabla 2. Características clave de cada dominio de operación

Avance tecnológico

Los avances tecnológicos en áreas como la inteligencia artificial, la robótica, el internet de las cosas, la biotecnología, la impresión 3D, el almacenamiento de energía, los nuevos materiales, las capacidades de computación o las telecomunicaciones han provocado una transformación significativa en diversos sectores, incluida la defensa. Este progreso ha sido impulsado en gran medida por la fuerte inversión en innovación dentro de la sociedad de consumo, con especial énfasis en la electrónica y las tecnologías de la información y las comunicaciones.

En este escenario de constante transformación, cobra especial relevancia el interés de los países de las llamadas **tecnologías o innovaciones disruptivas**. Estas se caracterizan por generar cambios drásticos en los procesos establecidos y por ser difíciles de anticipar tanto en su aparición como en sus consecuencias. En el caso de la OTAN, este interés se articula en torno a las Tecnologías Emergentes y Disruptivas (EDT) [9], poniendo el foco en su identificación y apoyo en etapas tempranas de desarrollo para acelerar su maduración, orientar su uso responsable y mantener la ventaja tecnológica y estratégica de la Alianza. Para las empresas, la irrupción de una innovación disruptiva puede representar una oportunidad de crecimiento exponencial o, por el contrario, el riesgo de quedar fuera del mercado. En el ámbito militar, su implementación redefine la forma en que las FAS ejecutan sus operaciones, permitiendo capacidades inalcanzables mediante mejoras progresivas y, en algunos casos, generando desafíos estratégicos impredecibles si no se han tomado medidas para anticiparlos.

Algunos ejemplos actuales de estas tecnologías incluyen los Sistema de Aeronaves No Tripulada (UAS), que han revolucionado tanto las misiones militares como diversas actividades civiles; la fabricación aditiva, que está transformando los procesos de producción y logística; y la inteligencia artificial, que en pocos años ofrecerá avances significativos en el análisis automatizado de datos de sensores, el mantenimiento de equipos y los sistemas de apoyo a la toma de decisiones. Mirando hacia el futuro, el desarrollo de tecnologías cuánticas, armas de energía dirigida, biología sintética y vehículos hipersónicos tiene el potencial de redefinir por completo el panorama de amenazas en materia de seguridad y defensa.

No obstante, el empleo de estas nuevas tecnologías también conlleva incertidumbres y vulnerabilidades, tanto en el ámbito técnico (p. ej. falta de transparencia en la toma de decisiones de los sistemas basados en inteligencia artificial), como en cuestiones éticas y legales (p. ej., las restricciones en el uso de la biotecnología o el desarrollo de sistemas autónomos con capacidades ofensivas). A esto se suma la posibilidad de que adversarios o grupos terroristas aprovechen estos avances, ya que el acceso a la tecnología y al conocimiento es cada vez más sencillo, y les permite emplear herramientas de bajo coste para generar caos y destrucción. Esta situación reduce su aparente desventaja tecnológica y obliga a diseñar nuevas soluciones para contrarrestar estas amenazas emergentes.

---

[9] *Emerging and Disruptive Technologies (*https://www.nato.int/en/what-we-do/deterrence-and-defence/emerging-and-disruptive-technologies*)*. La OTAN identifica como EDT las siguientes áreas tecnológicas prioritarias: inteligencia artificial (IA), sistemas autónomos, tecnologías cuánticas, biotecnología y tecnologías de potenciación humana, espacio, sistemas hipersónicos, materiales y tecnologías de fabricación novedosas, energía y propulsión y redes de comunicaciones de próxima generación.

Figura 6. Representación de las EDT (imagen generada con IA)

A pesar de estos riesgos, el potencial de estas innovaciones para dotar a los sistemas de capacidades más avanzadas e inteligentes es innegable, lo que obliga a capacitarse en ellas. Por ello, esta Estrategia pone el foco en explotar estos avances para fortalecer las capacidades militares, especialmente cuando pueden proporcionar ventajas disruptivas en el ámbito operativo. Esto implica anticiparse a los posibles usos que adversarios y organizaciones terroristas puedan hacer de estas tecnologías, garantizando en todo momento el cumplimiento del marco legal y el firme compromiso ético del Ministerio de Defensa con la sociedad.

Otra dimensión sobre la tecnología que está adquiriendo una creciente importancia es el de la **soberanía tecnológica**, mencionada en el apartado anterior. Más allá de la libertad operativa, esta soberanía se basa en la capacidad de controlar la cadena de valor y el ciclo de vida de las capacidades críticas. En términos tecnológicos, implica gestionar dependencias que pueden ser muy específicas, a nivel de componentes o materias primas, o de mayor dimensión, afectando a subsistemas o sistemas completos. Los retos para ejercer este control son estructurales: desde disponer de infraestructuras de fabricación avanzada hasta contar con la capacidad de sostener inversiones masivas en sistemas de alta complejidad. Además, esta soberanía tecnológica es dinámica, pues la falta de apoyo en la actualidad al desarrollo de tecnologías emergentes puede derivar en nuevas dependencias estratégicas en el futuro.

En este contexto, aprovechar las **sinergias con los avances tecnológicos de uso dual** resulta clave para mantener la superioridad operativa y optimizar los recursos disponibles. Muchas de las innovaciones que están redefiniendo el panorama militar, tienen su origen en la inversión

civil y comercial, incluyendo al sector de espacio[10]. Integrar estos desarrollos en el sector de la defensa no solo acelera la adopción de tecnologías de vanguardia, sino que también permite reducir costes, beneficiarse de economías de escala y fomentar la colaboración público-privada. Además, la interacción entre el sector civil y el militar genera un ecosistema de innovación más dinámico, donde las tecnologías emergentes pueden adaptarse rápidamente a los desafíos operativos. Ámbitos como la autonomía en sistemas no tripulados, la ciberseguridad, nuevas soluciones espaciales o la computación avanzada se benefician de esta convergencia, permitiendo que las FAS accedan a soluciones tecnológicas con ciclos de desarrollo más cortos y mayor resiliencia. De este modo, la sinergia entre las inversiones civiles y las aplicaciones de defensa no solo fortalece la capacidad militar, sino que también impulsa la competitividad industrial y la soberanía tecnológica de los países.

No obstante, la dependencia de tecnologías procedentes del mercado civil también plantea desafíos. Integrar soluciones diseñadas fuera del control nacional o aliado puede introducir vulnerabilidades estratégicas, ya sea por restricciones comerciales inesperadas, interrupciones en las cadenas de suministro globales o riesgos de seguridad asociados a componentes o software no concebidos para entornos militares. El reto consiste en equilibrar los beneficios de una innovación ágil con la necesidad de garantizar soberanía, resiliencia y control sobre los elementos críticos.

Muy relacionado con el uso dual de la tecnología, desde hace años se vienen planteando vías alternativas a los modelos tradicionales de maduración progresiva de los niveles tecnológicos que se sigue en la I+D+i tradicional, a menudo involucrando décadas de desarrollo tecnológico. En particular, asociado a la idea de **innovación disruptiva de base tecnológica**, cada vez más a menudo se están potenciando aproximaciones más ágiles, colaborativas y adaptables, permitiendo una respuesta rápida a alguna de las nuevas amenazas a través de la incorporación de EDT. Tecnologías cuyo desarrollo está siendo claramente impulsado por las iniciativas civiles, como la inteligencia artificial, la robótica, los nuevos materiales o los pequeños satélites, son claras candidatas a ser consideradas en estas iniciativas de innovación.

Otros aspectos a destacar en este tipo de iniciativas, es el mayor protagonismo de un ecosistema más amplio al de la I+D+i tradicional, incluyendo *startups* y emprendedores, pymes y el ámbito académico. También destacan por el uso de enfoques de gestión que pueden considerarse innovadores en sí mismos, los cuales permiten una mayor participación de los usuarios finales y una adaptación más rápida a las necesidades cambiantes. Ejemplos de estos planteamientos son los denominados *challenges*, en los que se definen retos tecnológicos y escenarios de validación cercanos a los de su uso operativo; los *hackatones*, es decir, encuentros de programadores para obtener desarrollos software rápidos aprovechando la tecnología existente, preparados para ser desplegados y probados; la puesta en marcha de *sandboxes*, proporcionando entornos controlados, tanto físicos o software, para probar y desarrollar nuevas tecnologías y soluciones. Se trata de versiones más evolucionadas de la experimentación en nuevas tecnologías que desde hace años se ha venido desarrollando en el ámbito de defensa, si bien no solamente dirigidas a probar las prestaciones de desarrollos tecnológicos existentes para validar su utilidad en

[10] Plan de acción sobre las sinergias entre las industrias civil, de la defensa y espacial. Bruselas, 22.2.2021 COM(2021) 70 final

defensa, sino también para dar cabida a nuevas aproximaciones tecnológicas para abordar esos problemas hasta ahora no contemplados. Asimismo, se están también popularizando los denominados *premios a la innovación*, que buscan aflorar nuevas ideas en usuarios finales o en entidades menos tradicionales en defensa, como *startups*, a menudo apoyando una primera fase que las ayude a arrancar el desarrollo.

Figura 7. Recreación de la idea de innovación disruptiva en el sector de la defensa (imagen generada con IA)

En este nuevo ecosistema de innovación, las *startups* y pymes tecnológicas asumen un papel protagonista como fuentes de innovación ágil y, en ocasiones, "divergente", capaces de ofrecer soluciones disruptivas que las empresas tradicionales podrían no explorar. Su flexibilidad y rapidez les permiten reaccionar de forma muy eficiente a los cambios del entorno geoestratégico y a la aparición de nuevas tecnologías. Sin embargo, para que estas innovaciones no se queden en fases de prototipo, es crucial asegurar su transición hacia productos y servicios robustos y viables en condiciones operativas. Este proceso de maduración requiere una atención especial y puede impulsarse mediante dos vías complementarias: por un lado, a través de la acción ejercida por grandes empresas tractoras que integran estas soluciones en sus sistemas; y por otro, mediante instrumentos de apoyo público que financien el desarrollo tecnológico y acompañen la maduración del modelo de negocio y del producto. Este conjunto de ventajas explica por qué en la actualidad los países más avanzados y las principales organizaciones internacionales vinculadas al desarrollo tecnológico en defensa están poniendo en marcha nuevas iniciativas, como se explicará más adelante en este documento.

Otro ámbito en el que poner el foco, apuntado anteriormente al hablar de dependencias tecnológicas futuras, es el de las **tecnologías emergentes**. Estas innovaciones, basadas en conceptos altamente complejos y en herramientas aún en desarrollo, generan un elevado grado de incertidumbre, pero también ofrecen un potencial disruptivo capaz de transformar sectores completos. Su avance requiere una inversión intensiva en I+D+i, lo que implica que en algunos

casos solo un número limitado de países y grandes corporaciones pueden asumir el desafío. Además, sus beneficios suelen materializarse a largo plazo, lo que permite a quienes las impulsan mantener una ventaja competitiva. Aun así, prever con exactitud cuándo alcanzarán su madurez o cuál será su impacto definitivo sigue siendo un reto. Para potenciar su desarrollo, es fundamental involucrar a organismos financiadores de la I+D+i y a los grupos de investigación nacionales y promover iniciativas que les permitan adquirir el nivel tecnológico necesario para integrarse en proyectos internacionales. En el ámbito de la defensa, estas iniciativas son cruciales para abordar soluciones de alta complejidad y elevado coste, garantizando que los países puedan posicionarse en la vanguardia de la innovación tecnológica.

En resumen, sin olvidar la importancia de seguir participando en grandes programas de desarrollo de plataformas y sistemas de nueva generación que incorporan avances tecnológicos de muy elevada complejidad, con enormes inversiones y plazos de desarrollo muy extensos, el ritmo actual de avance tecnológico y la creciente necesidad de adaptabilidad exigen un cambio. En los próximos años, será crucial adaptar los procesos e instrumentos de la I+D+i nacional, especialmente los del Departamento, para promover el aprovechamiento de los esfuerzos en I+D+i dual y con especial énfasis en las EDT y la mitigación de las dependencias tecnológicas.

Agentes del ecosistema de la I+D+i de defensa

La Base Industrial y Tecnológica nacional

El avance tecnológico acelerado ha dado lugar a una nueva revolución industrial, impulsada por la digitalización, la automatización y la inteligencia artificial. Esta transformación está modificando los modelos de producción, las cadenas de suministro y la resiliencia industrial, con efectos directos tanto en la economía como en la seguridad. Para España, adaptar el tejido tecnológico nacional a esta realidad es fundamental para mantener la competitividad y seguir siendo un actor relevante en el sector de la defensa, especialmente en un contexto de incertidumbre sobre la evolución tecnológica, donde resulta evidente que el sector debe responder con agilidad a la disrupción y a la creciente conexión con el ámbito civil.

La BITD desempeña un papel esencial, no solo como proveedora de soluciones para el Ministerio de Defensa, sino también como puente para trasladar al ámbito militar los avances tecnológicos del sector civil. En los últimos años, el ecosistema de innovación en defensa ha evolucionado, fortaleciendo la colaboración entre universidades, centros de investigación y tecnológicos, pymes y grandes empresas. Mientras que las universidades y centros de investigación son fundamentales en la generación de conocimiento disruptivo, los centros tecnológicos actúan como el puente necesario para transformar esa ciencia en aplicaciones prácticas. Por su parte, las pymes aportan especialización tecnológica y agilidad en el desarrollo de soluciones nicho, mientras que las grandes empresas lideran la ejecución de programas estratégicos y consolidan capacidades industriales avanzadas. Finalmente, asociaciones y clústeres actúan como catalizadores de sinergias e interlocutores clave con la Administración.

En este contexto, la creciente conciencia sobre la importancia de la I+D+i como motor de desarrollo económico, estratégico y tecnológico está impulsando mayores niveles de inversión pública y privada, tanto a escala nacional como europea. El refuerzo de programas de cooperación en defensa, la autonomía estratégica y la digitalización de los procesos industriales

están marcando la agenda de los próximos años, lo que permitirá consolidar un ecosistema de innovación más robusto, resiliente y preparado para afrontar los retos de seguridad del futuro.

Para maximizar el impacto de la BITD en la I+D+i de defensa, es esencial identificar y reducir las barreras que limitan su participación, e impulsar mecanismos que faciliten la integración de nuevas entidades en el sector de defensa. En la Tabla 3, se presentan las principales barreras que condicionan la entrada y consolidación de nuevas empresas en el sector de la defensa.

Categoría	Barrera	Explicación
Financiación	Falta de financiación en etapas de madurez intermedias	Dificultad para captar inversión cuando la comercialización está lejana, existiendo necesidad de apoyo público sostenido a nivel nacional y europeo.
	Fragmentación de instrumentos	Existencia de múltiples instrumentos nacionales y europeos desconectados, lo que dificulta el apalancamiento y la continuidad a niveles de madurez superiores.
	Acceso limitado a capital paciente y fondos estratégicos	Aunque creciendo, todavía son limitados los vehículos de inversión específicos para que pymes y *startups* crezcan en defensa.
Acceso a información y datos	Restricciones en acceso a requisitos y datos operativos	Limitaciones para anticipar necesidades de las FAS, para acceder a requisitos y datos operativos clave que condicionan el diseño y desarrollo de soluciones.
Validación y pruebas	Escasez de medios físicos de prueba	Dificultad para validar prototipos en entornos reales, en particular en ámbitos de creciente complejidad tecnológica (p. ej. IA, autonomía, multidominio).
	Métodos de Test, Evaluación, Verificación y Validación (TEVV) insuficientes	Necesidad de entornos sintéticos, gemelos digitales y simulación avanzada para llevar a cabo pruebas más flexibles y asequibles.
Burocracia y Regulación	Contratación lenta y aversa al riesgo	Procesos de contratación pública excesivamente largos y buscan condiciones de riesgo cero, lo que contrasta con la naturaleza de la innovación. Se hace además limitado uso de instrumentos como las compras públicas innovadoras.
	Incertidumbre sobre la Propiedad Intelectual	La incertidumbre sobre la propiedad intelectual y las restricciones regulatorias de exportación dificultan la transferencia de tecnología civil al sector de defensa.
	Barreras de seguridad	El limitado conocimiento sobre las habilitaciones de seguridad para el personal de empresas retrasa la entrada de actores ágiles y la incorporación de soluciones innovadoras.
Cultura y talento	Déficit de perfiles críticos	Escasez de personal preparado en áreas clave, lo que dificulta abordar proyectos que impliquen tecnologías avanzadas.
	Diferencias culturales	Contrastes en modelos ágiles e iterativos rápidos de entidades innovadoras frente a enfoques tradicionales de reducción de riesgos

Tabla 3. Barreras para el acceso a la BITD al sector de la defensa

Todo ello hace necesario reforzar la cooperación entre la Administración, la industria y el ecosistema de innovación, de cara a acelerar el desarrollo de capacidades estratégicas y fortalecer la soberanía tecnológica. Es fundamental reforzar la cooperación público-privada mediante políticas que faciliten el acceso de pymes y *startups* del sector defensa a ecosistemas de financiación especializados, incluyendo capital paciente y fondos de inversión de impacto estratégico. La creación de mecanismos transparentes y accesibles debe superar las barreras actuales que dificultan este acceso, especialmente para nuevas empresas sin redes previas en defensa. Esto garantizará una convergencia ágil de la innovación hacia la defensa, promoviendo una base industrial tecnológica para defensa más competitiva, diversa y resiliente.

El Sistema Español de Ciencia, Tecnología e Innovación

El Sistema Español de Ciencia, Tecnología e Innovación (SECTI) constituye el conjunto de agentes públicos y privados, así como las políticas e instrumentos de gestión, que impulsan y coordinan las actividades de investigación, desarrollo e innovación en España. Fue establecido por la Ley 14/2011 de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, con el objetivo de fomentar la generación de conocimiento, su aplicación en el ámbito productivo y su contribución al desarrollo social, económico y ambiental del país

El marco temporal de la ETID coincide con el de vigencia de la EECTI 2021-2027 y su sucesora, así como con los Planes Estatales de Investigación Científica y Técnica y de Innovación (PEICTI) para los periodos 2024-2027 y posteriores, que materializarán los objetivos de la Estrategia en actuaciones e inversiones concretas. La ETID se alinea con la EECTI, aplicando sus mecanismos de coordinación y garantizando la coherencia con el marco común que regula la investigación y la innovación en España.

Existen adicionalmente otras iniciativas estratégicas a nivel nacional que, desde un enfoque más sectorial, ponen también el foco en el desarrollo de tecnologías disruptivas y en el efecto orientador e incentivador de las herramientas de financiación de la I+D+i. Posiblemente las más relevantes y con más sinergias para defensa sean la Estrategia de Inteligencia Artificial de 2024[11], la Estrategia de Tecnologías Cuánticas de España[12], la Estrategia de Seguridad Aeroespacial Nacional[13] o la Estrategia Nacional Deep Tech (2026-2030).

Cabe señalar que en el marco de la EECTI y de las otras estrategias nacionales que se han venido aprobando, existen diferentes instrumentos de financiación de la I+D+i gestionados por organismos estatales o autonómicos en los que cada vez más se está poniendo el foco en el aprovechamiento del carácter transversal de la tecnología y en sus posibilidades de uso dual, lo que favorece que una parte importante de esos esfuerzos en I+D+i puedan ser trasladables a aplicaciones para defensa, lo que resulta de especial interés para las entidades del tejido tecnológico nacional, que ven incrementarse sus posibilidades de crecimiento y desarrollo, y que pueden encontrar en el ámbito de la defensa nuevos nichos de mercado y de exportación.

[11] https://portal.mineco.gob.es/es-es/digitalizacionIA/Documents/Estrategia_IA_2024.pdf

[12] https://digital.gob.es/content/dam/portal-mtdfp/carruselhome/Estrategia%20Tecnologias%20Cuanticas.pdf

[13] https://www.boe.es/boe/dias/2025/08/05/pdfs/BOE-A-2025-16214.pdf

Con esta visión nació el Protocolo General de Actuación entre el Ministerio de Defensa, el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (MCIU), el Centro para el Desarrollo Tecnológico y la Innovación (CDTI) y la Agencia Estatal de Investigación (AEI), firmado el 23 de abril 2019, con el fin de apoyar y promover el desarrollo e inserción de la tecnología y de la innovación en los ámbitos de defensa y seguridad. Desde un enfoque integral, este protocolo plantea unos objetivos ambiciosos que desde su inicio ha supuesto un empuje importante al tejido tecnológico de defensa para desarrollar sus capacidades y sus opciones para poder competir a escala europea e internacional. Asimismo, está actuando como factor multiplicador de las inversiones públicas en I+D+i, evitando duplicidades y optimizando los recursos de gestión, a la vez que posibilitan que estas inversiones se dirijan a proyectos de interés para los usuarios finales de la tecnología, es decir, las FAS, aumentando sus opciones de llegar al mercado. Fruto de este trabajo, el CDTI se ha establecido como un actor clave en la implementación del *Plan Industrial y Tecnológico para la Seguridad y la Defensa*[14], encargándose de la ejecución de las principales inversiones de I+D+i empresarial a través de sus instrumentos financieros, englobando a todo el ecosistema de innovación nacional.

En este contexto merece la pena destacar en particular el enorme impulso que está suponiendo para el desarrollo de las capacidades del tejido tecnológico nacional y las posibilidades de uso dual de la tecnología la puesta en marcha de distintos Proyectos Estratégicos para la Recuperación y Transformación Económica (PERTE)[15], instrumentos de colaboración público privada en los que participan distintas administraciones públicas, empresas y centros de I+D+i, con el objetivo de impulsar grandes iniciativas que contribuyan claramente a la transformación de la economía española. En los últimos años, aprovechando los fondos del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), se han puesto en marcha varios de estos grandes proyectos, siendo especialmente relevantes por las potenciales sinergias con los intereses y capacidades del sector de la defensa los PERTE aeroespacial, del vehículo eléctrico y conectado, de energías renovables, hidrógeno renovable y almacenamiento, de industria naval o de microelectrónica y semiconductores.

También se ha impulsado la creación de nuevos organismos públicos cuyas funciones apoyan el desarrollo tecnológico e industrial nacional, siendo de nuevo algunos de ellos especialmente relevantes para el sector de la defensa, como la Agencia Espacial Española (AEE)[16], la Sociedad

[14] https://www.lamoncloa.gob.es/consejodeministros/resumenes/Documents/2025/230425-plan-industrial-y-tecnologico-para-la-seguridad-y-la-defensa.pdf

[15] https://planderecuperacion.gob.es/preguntas/que-son-los-perte

[16] La AEE es un organismo público adscrito tanto al Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades como al Ministerio de Defensa, que unifica todas las políticas espaciales a nivel nacional y coordina de manera efectiva todos los servicios y actividades en el sector para garantizar la acción estratégica del Gobierno de España en el ámbito del espacio.

Española para la Transformación Tecnológica (SETT)[17] o la Agencia Española de Supervisión de la Inteligencia Artificial (AESIA)[18].

Finalmente, es necesario apuntar el esfuerzo que los distintos organismos de las CCAA responsables del desarrollo tecnológico e industrial de sus regiones están realizando sobre la base de sus *Estrategias de Especialización Inteligente*[19]. En este sentido, la confluencia de estas estrategias con los intereses tecnológicos de defensa constituye también un ámbito en el que la explotación de las sinergias puede aportar importantes posibilidades y beneficios.

La articulación eficaz de la I+D+i en defensa requiere una cooperación estrecha entre los organismos públicos responsables de su impulso. Solo una coordinación que facilite la alineación de prioridades, el intercambio de información y la optimización de recursos permite generar las sinergias necesarias para fortalecer el sistema nacional de innovación en defensa.

La Unión Europea y la OTAN

En el actual contexto de seguridad internacional, la cooperación multilateral en materia de defensa ha adquirido una importancia renovada como respuesta a los desafíos comunes que enfrentan las democracias europeas. El carácter transnacional de las amenazas, la creciente necesidad de interoperabilidad entre aliados y la urgencia de reducir dependencias estratégicas han impulsado una intensificación de las iniciativas colaborativas, tanto en el marco de la OTAN como, especialmente, en el seno de la Unión Europea.

La UE ha dado pasos significativos en los últimos años para consolidar su papel como actor de seguridad y defensa, con el objetivo de fortalecer su autonomía estratégica y contribuir de forma más eficaz a la estabilidad internacional. En este sentido, la adopción de la Brújula Estratégica en 2022 ha supuesto un hito clave en la evolución de la Política Común de Seguridad y Defensa (PCSD), al establecer una visión compartida de amenazas, prioridades estratégicas y líneas de acción concretas para el desarrollo de capacidades y la proyección de seguridad[20].

Entre las iniciativas más relevantes en el ámbito de la cooperación europea destaca el **Fondo Europeo de Defensa (EDF)**, que constituye el instrumento principal de la Comisión Europea para apoyar la investigación y el desarrollo colaborativo de capacidades de defensa. El EDF se

[17] La SETT es el Ente Público Empresarial que va a gestionar y coordinar las inversiones públicas en los ámbitos de innovación tecnológica, orientando su gestión a la generación de sinergias, la unidad de acción y la visión de medio plazo para transformar la economía española de forma transversal y estructural incorporando tecnología digital disruptiva en multitud de sectores.

[18] La AESIA desempeña cinco funciones principales: actuar como *think & do tank*, supervisar sistemas de IA de alto riesgo, coordinar la aplicación del Reglamento europeo de IA, promover la innovación en IA y participar en el debate global sobre la regulación de IA.

[19] Estrategias S3 (*Smart Specialisation Strategies*). Se trata de agendas integradas de transformación económica territorial desarrolladas tanto por el estado como por las Comunidades Autónomas que, entre otros objetivos, buscan convertir la I+D y la innovación en una prioridad para todas las regiones, así como concentrar los recursos en las áreas de especialización más prometedoras de cada región.

[20] *A Strategic Compass for Security and Defence.* Council of the European Union (2022).

estructura en torno a dos pilares: la investigación (financiada al 100 %) y el desarrollo de capacidades (cofinanciado hasta un 80 %), y está dotado con 7.953 millones de euros para el periodo 2021–2027[21]. Sus convocatorias anuales promueven la cooperación transnacional entre entidades de al menos tres Estados miembros, priorizando proyectos que contribuyan a la coherencia de capacidades y a la competitividad de la BITD europea. El fondo está financiando programas en áreas como enjambres de drones, defensa antiaérea de corto alcance, tecnologías cuánticas, sistemas terrestres tripulados y no tripulados, o plataformas navales de nueva generación. Asimismo, ha consolidado una cartera diversificada de beneficiarios que incluye grandes empresas, pymes, centros de I+D+i y universidades, incentivando la integración del ecosistema europeo de innovación en defensa. Además de los beneficios tecnológicos, el EDF persigue reducir la fragmentación de los programas de defensa europeos, aumentar la eficiencia del gasto y generar economías de escala.

Este esfuerzo financiero se articula con la **Cooperación Estructurada Permanente (PESCO)**, que actúa como un marco político de compromiso vinculante entre Estados miembros para el desarrollo conjunto de capacidades y el refuerzo de la interoperabilidad. Lanzada en 2017, PESCO ha impulsado más de 60 proyectos multinacionales en ámbitos como vigilancia marítima, mando y control, movilidad militar, sistemas autónomos y ciberdefensa[22]. Esta iniciativa permite articular hojas de ruta conjuntas, establecer compromisos concretos en materia de capacidades y facilitar la coordinación de inversiones a medio y largo plazo. La sinergia entre los proyectos PESCO y los financiados por el EDF es creciente, promoviendo una integración coherente de esfuerzos y resultados.

No obstante, para elevar esta cooperación a un nivel de preparación sistémica ante el nuevo escenario geopolítico, destaca la publicación en marzo de 2025 **del Libro Blanco para la Defensa Europea – Readiness 2030**[23], en el que la Comisión Europea establece una hoja de ruta estratégica orientada a reforzar la preparación operativa, cerrar brechas críticas de capacidades, consolidar la BITD europea, y acelerar la innovación y la cooperación en defensa. El documento prevé un conjunto de medidas e instrumentos que permitirían movilizar hasta 800.000 M€ en inversión agregada, con especial énfasis en la defensa aérea y antimisiles, la producción industrial conjunta, la digitalización, el apoyo continuado a Ucrania y el desarrollo de nuevas tecnologías.

En tal sentido, el 27 de mayo de 2025, el Consejo de la UE adoptó el Reglamento que establece el Instrumento ***Security Action for Europe*** **(SAFE)**, a través del refuerzo de la industria de defensa europea. Este Reglamento es parte del Plan *ReArm Europe* y pretende apoyar inversiones en la Base Tecnológica e Industrial de Defensa europea para poder responder a la actual situación de crisis. Este plan contempla varios pilares, y entre ellos se encuentra el Instrumento SAFE, el cual dispone de 150.000 M€ que se articularán en préstamos amortizables hasta en 45 años, en condiciones muy flexibles, a los Estados miembro que lo soliciten para realizar compras conjuntas de equipamiento de defensa. Asimismo, plantea la creación de incentivos fiscales,

[21] *Regulation establishing the European Defence Fund. European Commission (2021).*

[22] PESCO Projects Overview – European External Action Service (2025).

[23] *White Paper for European Defence – Readiness 2030, European Comisión (2025).*

esquemas de coinversión y mecanismos de agregación de demanda entre Estados miembros. Esta iniciativa se concibe como el pilar político-financiero que complementa y amplifica el impacto del EDF y el EDIP, reforzando la coherencia estratégica de la acción europea en defensa.

Para operativizar esta ambición en el plano industrial, la Comisión Europea ha desplegado una arquitectura normativa orientada a dar continuidad y proyección al esfuerzo inversor iniciado con el EDF. El **Programa Europeo de la Industria de Defensa (EDIP)** se configura como la principal herramienta de transición y pilar operativo de la Estrategia Industrial Europea de Defensa (EDIS), contando con un presupuesto de 1.500 millones de euros hasta 2027. A diferencia del EDF, centrado en investigación y desarrollo, el EDIP amplía su alcance hacia la producción industrial, la adquisición conjunta de capacidades y el refuerzo de la resiliencia de las cadenas de suministro, incluyendo además medidas para facilitar la integración de la industria de defensa ucraniana en el ecosistema europeo.

Junto a este instrumento de carácter industrial, la Comisión ha lanzado iniciativas de carácter transversal como la **Plataforma STEP (*Strategic Technologies for Europe Platform*),** destinada a fomentar inversiones en tecnologías críticas con aplicación civil y de defensa. Estas medidas se complementan con propuestas para flexibilizar el marco fiscal europeo en materia de gasto en defensa, así como con el desarrollo de nuevos instrumentos financieros para impulsar la inversión industrial conjunta en este ámbito.

Finalmente, como pieza clave para el periodo posterior a 2027, el futuro **Fondo Europeo de Competitividad (ECF)** se perfila como un instrumento esencial para reforzar el apoyo a tecnologías estratégicas, incluidos los ámbitos de defensa, espacio y doble uso, mediante una financiación más integrada y accesible. El EFC simplificará el acceso a fondos europeos a través de una 'ventanilla única', aglutinando programas actualmente dispersos y acelerando la transición desde la investigación hacia la escala industrial. Complementará al EDF y al EDIP, aportando masa crítica para el desarrollo de capacidades clave, el fortalecimiento de cadenas de suministro y el posicionamiento competitivo de la industria europea, abriendo nuevas oportunidades para la participación de la BITD española en proyectos de gran envergadura.

Figura 8. Hitos clave en la estrategia de defensa europea y OTAN

También, la **Agencia Europea de Defensa (EDA)** desempeña un papel esencial como catalizador técnico, normativo y estratégico de la cooperación europea en defensa. La EDA apoya a los Estados miembros en la identificación de carencias de capacidades, la armonización de requisitos y la evaluación de tecnologías emergentes. Una de sus principales herramientas son los *CapTechs* (*Capabilitiy Technology Groups*), estructuras técnico-operativas permanentes que agrupan a expertos nacionales, industriales y académicos en torno a más de 20 dominios tecnológicos y de capacidad, incluyendo sistemas de combate terrestre, guerra electrónica, ciberdefensa, materiales avanzados o inteligencia artificial [24]. Los *CapTechs* constituyen una comunidad de conocimiento que permite anticipar tendencias, compartir desarrollos y coordinar programas cooperativos de I+D.

Complementariamente, la EDA lidera la Revisión Anual Coordinada en materia de Defensa (*Coordinated Annual Review on Defence*, CARD), un proceso periódico que proporciona una visión global del panorama de capacidades de defensa de los Estados miembros. El CARD identifica carencias críticas, áreas de redundancia y oportunidades concretas para la cooperación, constituyéndose como un instrumento clave para orientar de forma coherente las inversiones nacionales, los proyectos de cooperación PESCO y las prioridades del EDF. Su objetivo es reducir la fragmentación, fomentar la convergencia estratégica entre países y fortalecer la eficiencia colectiva del esfuerzo europeo de defensa. Además, la EDA es responsable de la elaboración del *Capability Development Plan*, que constituye la hoja de ruta estratégica para el desarrollo de capacidades militares a nivel europeo, identificando prioridades y orientando las inversiones nacionales y cooperativas. Asimismo, la EDA impulsa la *Overarching Strategic Research Agenda* (OSRA), que define las prioridades de investigación y desarrollo tecnológico en defensa a medio y largo plazo, alineando los esfuerzos de los Estados miembros y facilitando la coordinación de proyectos colaborativos en el ámbito de la innovación disruptiva.

En el ámbito de la innovación disruptiva, la EDA colabora con la Comisión Europea en iniciativas como el ***Hub for EU Defence Innovation*** **(HEDI)** y el ***European Defence Innovation Scheme*** **(EUDIS)**. HEDI actúa como plataforma europea para fomentar la cultura de innovación en defensa, conectar actores civiles y militares, y facilitar el intercambio de mejores prácticas y soluciones tecnológicas emergentes[25]. A través de talleres, catálogos de innovación y comunidades temáticas, HEDI busca acelerar la transferencia tecnológica hacia el sector defensa. Por su parte, EUDIS proporciona apoyo financiero específico a *startups*, *scale-ups* y pymes innovadoras, incluyendo capital semilla, subvenciones piloto y mecanismos de coinversión, con el fin de fomentar la aparición de tecnologías disruptivas aplicables a escenarios

[24] European Defence Agency (EDA), Capability Technology Groups (CapTechs) – https://eda.europa.eu.

[25] EDA, HEDI – Hub for EU Defence Innovation – https://eda.europa.eu/what-we-do/activities/activities-search/hedi.

militares[26][27]. Ambas iniciativas están alineadas con el objetivo de reforzar la resiliencia tecnológica de Europa y garantizar su competitividad estratégica frente a otros actores globales.

La cooperación internacional también se extiende a formatos bilaterales y multilaterales en los que España participa activamente, especialmente en iniciativas europeas orientadas al desarrollo conjunto de grandes plataformas y sistemas de armas, que requieren altos niveles de complejidad técnica, coordinación multinacional y una visión estratégica a largo plazo.

En el ámbito de la OTAN, la transformación del entorno de seguridad ha llevado a una revalorización de la innovación tecnológica como pilar fundamental de la defensa colectiva. Frente a amenazas cada vez más híbridas, difusas y tecnológicamente sofisticadas, la OTAN ha subrayado la necesidad de integrar las EDT en todos los niveles de la planificación y operación militar. Estas tecnologías se consideran esenciales para mantener la ventaja tecnológica aliada y asegurar la interoperabilidad entre fuerzas aliadas[28].En este contexto, la cooperación en I+D+i dentro de la Alianza Atlántica se articula a través de diversas iniciativas clave.

Entre las iniciativas más destacadas se encuentran el ***Defence Innovation Accelerator for the North Atlantic*** **(DIANA)** y el ***NATO Innovation Fund*** **(NIF)**. DIANA es una red transatlántica de centros de pruebas y aceleradoras que conecta a innovadores civiles con necesidades militares, permitiendo validar, adaptar y escalar tecnologías duales en campos como la autonomía, la energía avanzada, la guerra electrónica o la protección de infraestructuras críticas[29]. El NIF, por su parte, es un fondo de capital riesgo dotado con 1.000 millones de euros comprometidos por 24 Estados aliados para invertir en *startups* tecnológicas estratégicas[30]. Su objetivo es apoyar soluciones que respondan a desafíos clave de seguridad y defensa, promoviendo además la soberanía tecnológica aliada en sectores sensibles.

En un marco de iniciativas complementarias dirigidas a involucrar a la industria en ámbitos temáticos emergentes con potencial disruptivo, destaca la ***Transatlantic Quantum Community*** **(TQC)**. Esta plataforma busca fomentar la cooperación entre los aliados de la OTAN en el campo de las tecnologías cuánticas, facilitando la investigación, el desarrollo y la exploración de aplicaciones de defensa. La TQC se centra en la creación de un ecosistema transatlántico que integre a universidades, centros de investigación, empresas de base tecnológica (*deep tech*) y gobiernos para acelerar la maduración y adopción de estas tecnologías críticas.

---

[26] *European Commission, European Defence Innovation Scheme (EUDIS)* – https://defence-industry-space.ec.europa.eu.

[27] Las iniciativas OPEX (*Operational Experimentation*) de la EDA son campañas de experimentación operativa lanzadas bajo el paraguas del HEDI, que coordina pruebas reales de tecnologías emergentes como sistemas no tripulados en entornos militares simulados.

[28] NATO (2021), *Emerging and Disruptive Technologies (EDTs) Strategy*.

[29] En España existe una aceleradora tecnológica de DIANA, gestionada por el INCIBE (Instituto Nacional de Ciberseguridad) y la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), con sedes en León y Madrid. También cuenta con distintos centros de ensayo centrados en ámbitos tecnológicos específicos.

[30] *NATO Innovation Fund* – https://www.natoinnovationfund.eu.

Adicionalmente, el Mando Aliado de Transformación (ACT) juega un papel crucial en la identificación de futuras necesidades operativas y la promoción de la innovación dentro de la OTAN. Su iniciativa *Innovation Hub*[31] actúa como un centro de conexión entre la OTAN, la industria, el mundo académico y los emprendedores, facilitando la experimentación, el desarrollo de prototipos y la adopción de nuevas tecnologías en la Alianza.

Asimismo, la **Organización de Ciencia y Tecnología (STO)** de la OTAN constituye una de las principales redes de cooperación científica y técnica del mundo en el ámbito militar. A través de sus paneles y grupos técnicos, la STO impulsa estudios prospectivos, experimentación conjunta y desarrollo de conceptos operativos innovadores[32]. Su labor es clave para anticipar la evolución del entorno tecnológico y orientar la inversión en I+D hacia capacidades relevantes para el futuro operativo aliado.

Ante este panorama de iniciativas complementarias, cabe destacar que la cooperación internacional en defensa no solo fortalece la capacidad de disuasión y respuesta, sino que también impulsa la innovación compartida, la integración industrial y el desarrollo de una base tecnológica común, pilares fundamentales para construir una Europa más segura, autónoma y preparada para los retos del futuro. Esta ambición por una defensa más integrada y colaborativa, sin embargo, trae consigo un conjunto de desafíos transversales para la I+D+i.

Un primer desafío persistente es alcanzar una interoperabilidad que vaya más allá de la mera conectividad técnica. La eficacia en entornos multinacionales y multidominio, como los que operan la UE y la OTAN, demanda que la I+D+i aborde la interoperabilidad como un objetivo multinivel, promoviendo la investigación en arquitecturas abiertas, estándares comunes y soluciones tecnológicas que faciliten una integración ágil, casi *plug-and-play,* no solo entre sistemas, sino también entre las organizaciones y el personal de las diferentes naciones aliadas.

Paralelamente, la creciente ambición de programas como el EDF o PESCO conlleva una gestión de riesgos colaborativos de alta complejidad. Estos proyectos están expuestos a incertidumbres técnicas, financieras, programáticas y geopolíticas que se multiplican con el número de socios. Una estrategia de I+D+i robusta debe, por tanto, incorporar marcos para la identificación, evaluación y mitigación conjunta de estos riesgos. Esto implica desarrollar metodologías y herramientas que permitan a los diferentes agentes (gobiernos, industrias, centros de I+D+i y universidades) compartir análisis de riesgos de forma transparente y establecer planes de contingencia coordinados, convirtiendo la gestión del riesgo en una capacidad colaborativa en sí misma. Esta complejidad en el ámbito de la cooperación se extiende a la gestión de la propiedad intelectual e industrial (PI) generada. Modelos de PI flexibles y predefinidos que equilibren la protección de los intereses comerciales de la industria con las necesidades de acceso y soberanía de los Estados para fines de defensa. El objetivo es crear un entorno de confianza que proteja las innovaciones sensibles, facilite la transferencia tecnológica necesaria para el sostenimiento de las capacidades y fomente la reutilización del conocimiento para fortalecer la BITD europea en su conjunto.

---

[31] *NATO Innovation Hub*, https://www.act.nato.int/activities/innovation-hub.

[32] NATO STO – *Science and Technology Organization* – https://www.sto.nato.int.

El Ministerio de Defensa

El Ministerio de Defensa cuenta con diversos organismos con roles diferenciados en el ámbito de la I+D+i de defensa[33]. En la parte superior de esta estructura, asumiendo funciones de dirección, se encuentra la Secretaría de Estado de Defensa, responsable de la planificación, impulso y gestión de las políticas de innovación y desarrollo tecnológico en el sector. Dentro de esta organización, la Dirección General de Estrategia e Innovación de la Industria de Defensa (DIGEID) es el órgano directivo encargado de planificar, desarrollar y supervisar la ejecución de estas políticas, las cuales las lleva a cabo a través de la Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación (SDG PLATIN).

La creación de la DIGEID en 2024 responde a la necesidad de reforzar la autonomía estratégica de España en el ámbito de defensa, impulsando sus capacidades tecnológicas e industriales. Este organismo lidera la visión estratégica, la planificación y la política industrial de defensa, integrando la innovación y el desarrollo tecnológico para fortalecer la competitividad y el liderazgo del país en el panorama internacional.

Además, el Ministerio de Defensa cuenta con distintos organismos dedicados a la investigación y la ejecución de proyectos de I+D+i. En algunos casos, esta actividad constituye su objetivo principal, mientras que en otros se desarrolla como una función complementaria a su misión fundamental. Dentro de este grupo, destaca el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial «Esteban Terradas» (INTA), un organismo autónomo adscrito a la Secretaría de Estado de Defensa. Como Organismo Público de Investigación (OPI), el INTA desarrolla actividades de investigación científica y técnica de carácter dual, además de prestar servicios tecnológicos. Sus principales áreas de actuación abarcan la tecnología aeroespacial, aeronáutica, hidrodinámica y las tecnologías de defensa y seguridad.

Cabe destacar la reciente creación del Centro Tecnológico de Desarrollo y Experimentación (CETEDEX) en Jaén, adscrito al INTA, que está llamado a convertirse en un centro de I+D+i de vanguardia especializado en tecnologías duales para el desarrollo, pruebas y certificación en torno a sus tres pilares: lucha antidrón, vehículos autónomos y conectados y la inteligencia artificial. Así, el pilar de lucha contra drones estará compuesto por un sistema completo con capacidad de detección y neutralización, una zona de radiación controlada y otra de vuelo e instalación de sensores. En el segundo pilar se actuará en los vehículos inteligentes, con capacidad de ensayos y certificación para sistemas avanzados de ayuda a la conducción, tanto de vehículos militares como industriales y agrícolas; se contará con un circuito de alta velocidad, una zona urbana y un circuito interurbano de doble carril que estará dotado con infraestructura 5G. Finalmente el pilar dedicado a la inteligencia artificial realizará el análisis automático de grandes volúmenes de datos, desarrollo de tecnologías para el mantenimiento predictivo de plataformas de defensa, análisis de múltiples fuentes de información para apoyo a la decisión y aplicaciones de tecnologías biométricas.

[33] Real Decreto 205/2024, de 27 de febrero, por el que se desarrolla la estructura orgánica básica del Ministerio de Defensa.

En el ámbito de la formación y la investigación, los Centros Universitarios de la Defensa (CUD) [34] constituyen un activo importante. Si bien su finalidad principal es la impartición de titulaciones universitarias de grado, también asumen la definición y el desarrollo de líneas de investigación de interés para las FAS. Esta labor se realiza en colaboración con otras entidades y organismos públicos de enseñanza e investigación, siempre dentro del marco de la seguridad, la paz y la defensa, contribuyendo a la generación de conocimiento y talento en áreas estratégicas.

La naturaleza transversal de la I+D+i en el Ministerio exige una coordinación estrecha con otros organismos directivos responsables de políticas que puedan requerir o impulsar actuaciones de I+D+i. Esta coordinación la realiza la DIGEID. Por ejemplo, en lo referente a infraestructuras, la colaboración con la Dirección General de Infraestructuras (DIGENIN) es fundamental, mientras que en el ámbito de los Sistemas de Información y Comunicaciones/Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (CIS/TIC), la coordinación se establece con el Centro de Sistemas y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (CESTIC). En ambos casos, esta colaboración se rige por las políticas sectoriales aplicables y por las directrices de la Política de I+D+i del Departamento, con el objetivo de focalizar los esfuerzos en retos tecnológicos relevantes para la defensa y evitar la duplicidad con la I+D+i de fines civiles. Adicionalmente, la Dirección General de Armamento y Material (DGAM) colabora estrechamente con la DIGEID para integrar en la fase de diseño del proceso de obtención la ingeniería, proyectos piloto de I+D+i y prototipos necesarios para los programas de armamento y material. Como actor estratégico en el ecosistema de I+D+i de defensa, la DGAM traduce necesidades operativas en requisitos tecnológicos, define especificaciones y coordina desarrollos aplicados a la obtención y modernización de sistemas de armas y equipos. Esta labor refuerza las capacidades operativas de las Fuerzas Armadas y potencia la base industrial y tecnológica nacional.

Finalmente, toda la estructura del Ministerio de Defensa, y de manera destacada las FAS a través del Estado Mayor de la Defensa (EMAD), juegan un rol crucial como originadores de las necesidades de capacidades militares y como usuarios finales de los resultados de la I+D+i. Su capacidad para definir los requerimientos operativos reales y validar las soluciones tecnológicas aporta un valor significativo a los proyectos, asegurando su pertinencia y facilitando su potencial adopción.

El Ministerio de Defensa desempeña un papel clave en el impulso tecnológico aplicado a sus misiones y capacidades operativas, lo que exige optimizar los procesos de planificación, contratación y gestión de proyectos de I+D+i, así como la evaluación y aprovechamiento de sus resultados. Ello permitirá un uso más eficaz de la financiación disponible y maximizará el impacto de la inversión en innovación. Además, es esencial reforzar y adaptar los instrumentos de apoyo al desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas a cada etapa de madurez y al acelerado ritmo del avance científico. En particular, para responder a la aparición de tecnologías con potencial disruptivo, es preciso fortalecer los mecanismos de apoyo a la innovación de base tecnológica en defensa, entendida como una función estratégica que permite anticipar capacidades, afrontar desafíos emergentes y consolidar la soberanía tecnológica nacional. Para ello, se parte

[34] Creados por el Real Decreto 1723/2008, de 24 de octubre, de conformidad a lo establecido en la Ley de la Carrera Militar.

de un **marco integral de innovación** articulado en tres perspectivas complementarias que guían el diseño y la evolución de los instrumento:

- Una perspectiva interna, orientada a fomentar la iniciativa innovadora dentro del propio Ministerio de Defensa, facilitando que el personal identifique necesidades no cubiertas y proponga soluciones tecnológicas. Se buscará consolidar circuitos eficaces para canalizar estas ideas, validarlas en entornos representativos y fomentar la experimentación en condiciones próximas al uso real.
- Una perspectiva centrada en el ecosistema tecnológico e industrial, que promueva la colaboración con empresas, especialmente pymes y startups, centros tecnológicos y universidades, con el objetivo de adaptar soluciones innovadoras al entorno de defensa. Esta perspectiva requiere instrumentos accesibles, transparentes y adecuados a distintos niveles de madurez tecnológica, capaces de atraer nuevos agentes y consolidar capacidades clave.
- Una perspectiva de contexto nacional e internacional, que integre y aproveche las iniciativas impulsadas por otros organismos públicos, programas nacionales de I+D+i y mecanismos multilaterales europeos y aliados[35]. La participación activa en instrumentos como el EDF, las iniciativas de innovación de la OTAN o las convocatorias de ámbito nacional será clave para ampliar el alcance y el retorno estratégico de las actuaciones.

En definitiva, la gestión eficiente y coordinada de los recursos y capacidades del Ministerio de Defensa es esencial para optimizar el presupuesto destinado a I+D+i. Esto implica alinear las actuaciones con los mecanismos disponibles en los planes estatales y regionales derivados de la EECTI, fomentar la cooperación nacional y explorar oportunidades de colaboración europea e internacional, asegurando siempre la protección y el desarrollo de nuestras capacidades tecnológicas estratégicas. Este enfoque representa un desafío cada vez más exigente para los responsables de la planificación, programación y control de la ejecución de la política de I+D+i dentro del Departamento.

[35] Las distintas iniciativas en marcha no deben entenderse como acciones independientes, sino como elementos complementarios de un ecosistema europeo de innovación en defensa. Plataformas como DIANA y EUDIS facilitan la entrada de startups y pymes tecnológicas en el ámbito de la defensa, especialmente en fases de TRL bajos, proporcionando acceso a aceleradoras, redes de mentores y entornos de experimentación inicial. Los ejercicios OPEX (*Operational Experimentation*) de la EDA permiten validar y demostrar tecnologías en escenarios operativos realistas, favoreciendo la transición de soluciones innovadoras hacia aplicaciones concretas en defensa. Finalmente, el NIF actúa como vehículo financiero para impulsar el escalado y la consolidación de las startups más prometedoras, facilitando su acceso a la inversión necesaria para alcanzar el mercado. Todo este recorrido cuenta con el acompañamiento activo del Ministerio de Defensa, que participa y apoya estas iniciativas, asegurando que el talento y la innovación nacional dispongan de oportunidades reales para madurar y desplegar sus capacidades en el sector defensa, desde las fases iniciales hasta su integración operativa.

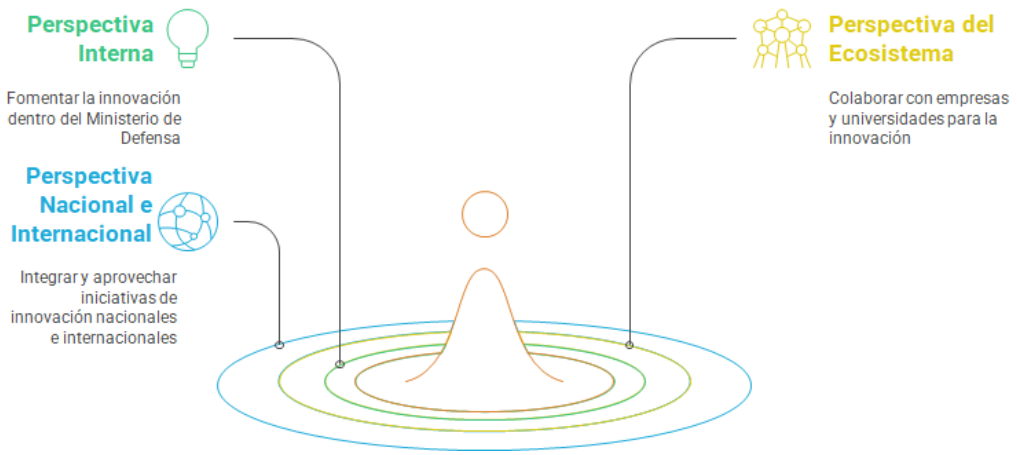


Figura 9. Perspectivas de innovación en defensa

Resumen

El análisis del contexto actual y las principales tendencias en materia de I+D+i de defensa permite extraer una serie de conclusiones estratégicas que deben orientar la acción del Ministerio de Defensa en los próximos años:

- **Un entorno geopolítico de creciente complejidad**, donde se ha reforzado la necesidad de contar con una BITD robusta y resiliente, capaz de ofrecer soluciones innovadoras frente a nuevos retos y amenazas. Esto implica un **esfuerzo inversor significativo** a nivel nacional y europeo para garantizar la soberanía tecnológica y la seguridad estratégica.
- **Un acelerado avance tecnológico y la irrupción de tecnologías disruptivas**, que pueden transformar el sector de la defensa. La capacidad de adaptación y anticipación será crucial para mantener la ventaja operativa en escenarios en constante evolución.
- **Un ecosistema de organismos nacionales con responsabilidades en la financiación de la I+D+i civil**, que puede actuar como un impulsor clave para fortalecer el tejido tecnológico e industrial nacional, aprovechando el potencial de las tecnologías de uso dual y favoreciendo la sinergia entre el sector civil y el de defensa.
- **Un contexto europeo y transatlántico con amplias oportunidades de desarrollo e internacionalización**, que permite a las entidades de la BITD nacional integrarse en iniciativas de colaboración internacional, accediendo a nuevos mercados y programas de desarrollo tecnológico.
- **El Ministerio de Defensa como actor clave en la gestión tecnológica**, que debe adaptar sus procesos e instrumentos para responder con mayor agilidad y liderazgo a las exigencias del nuevo contexto. Su papel central en la promoción y desarrollo de tecnología de aplicación a defensa requiere una estrategia dinámica y eficiente que maximice el impacto de la inversión en I+D+i.

Esta caracterización del entorno constituye el punto de partida sobre el que articular la ETID. Una estrategia que debe anticiparse a los desafíos futuros, reducir las dependencias tecnológicas críticas y garantizar que las FAS cuenten con las capacidades necesarias para el desarrollo de sus misiones.

3. Directrices y Actuaciones

La presente estrategia recoge los retos y oportunidades descritos en el capítulo anterior y promueve un conjunto de actuaciones tecnológicas y de gestión para alcanzar los objetivos de la política de I+D+i de acuerdo a las siguientes directrices, que dan lugar a los tres pilares de la ETID:

- **PILAR DE OBJETIVOS TECNOLÓGICOS: las actividades de I+D+i que promueva este Departamento estarán dirigida por objetivos tecnológicos**, de forma que se focalicen los esfuerzos en ámbitos tecnológicos con alto impacto en la mejora de las capacidades militares actuales y futuras, a la vez que se optimiza el uso de la financiación disponible.
- **PILAR DE COOPERACIÓN: la cooperación tecnológica a nivel nacional e internacional será parte esencial de las actuaciones en I+D+i de defensa,** con el fin de aprovechar los avances en la I+D+i dual logrando efectos multiplicadores, así como para abordar retos tecnológicos de elevado coste y complejidad tecnológica, contribuyendo al desarrollo e internacionalización de la BITD.
- **PILAR DE MEJORA CONTINUA: la búsqueda de la excelencia en el Departamento, a través de la mejora continua de los procesos asociados a la I+D+i de defensa** para que actúen como catalizadores del avance tecnológico en las FAS y del desarrollo tecnológico del sector de la defensa.

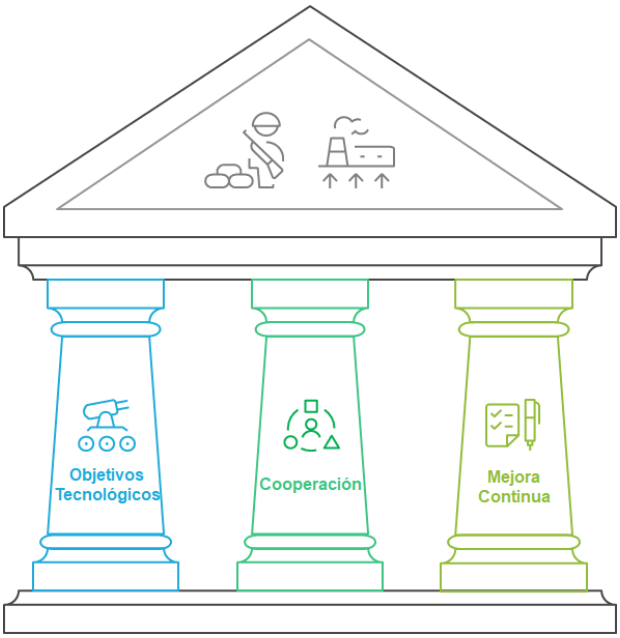


Figura 10. Pilares para el desarrollo de la Política de I+D+i

Las actuaciones dentro de cada pilar se han definido en base al análisis combinado de cuatro dimensiones clave para el desarrollo del sector de la defensa: capacidades militares, tecnología, capacidades tecnológicas de la BITD y condicionantes estratégicos para la I+D+i de defensa.

La **dimensión de las capacidades militares** se sustenta en los documentos aprobados en el proceso de planeamiento de la defensa, elaborados en el ámbito del Estado Mayor de la Defensa, así como de las visiones específicas desarrolladas por los Ejércitos y la Armada. Estos documentos proporcionan una base sólida para identificar las necesidades operativas que deben guiar el esfuerzo tecnológico y de innovación.

La **dimensión tecnológica** se fundamenta en el análisis de la evolución previsible de las tecnologías, tanto consolidadas como emergentes, y en su potencial de aplicación a los procesos, sistemas y funciones que configuran las capacidades militares. Este enfoque permite anticipar tendencias y orientar los esfuerzos hacia aquellas tecnologías con mayor impacto estratégico.

El análisis de las **capacidades tecnológicas de la BITD**, que influye de manera significativa en la forma de abordar cada prioridad, se ha basado en información procedente de la vigilancia tecnológica y otras fuentes internas de conocimiento del Departamento. De forma destacada, esta dimensión tiene como referencia la EID, que orienta la actuación de la Administración y de las empresas en torno a las CIED.

Por último, se ha considerado un conjunto de **condicionantes estratégicos** para la I+D+i en defensa. Entre ellos destacan la necesidad de reducir las dependencias tecnológicas para avanzar hacia una soberanía tecnológica que garantice la autonomía estratégica; el potencial de uso dual de la tecnología, que facilita sinergias con el sector civil, optimizando recursos y acelerando procesos de innovación; y la complejidad técnica y el elevado coste económico asociados al desarrollo de determinadas tecnologías e infraestructuras, que hacen necesaria la cooperación nacional e internacional para compartir esfuerzos y asegurar el acceso a capacidades críticas.

Figura 11. Dimensiones de análisis de la estrategia

Para el desarrollo de estas actuaciones se ha contemplado un horizonte temporal de implantación de la Estrategia de cinco años, hasta 2030. Este plazo se considera adecuado para poner en marcha y consolidar las principales actuaciones previstas, así como para evaluar los avances alcanzados, reconociéndose que horizontes temporales más largos podrían requerir

una revisión en profundidad de la Estrategia, debido a la velocidad de evolución tanto del entorno tecnológico como del contexto de seguridad y defensa.

Pilar de objetivos tecnológicos

El Ministerio de Defensa tiene previsto promover o apoyar el desarrollo de actuaciones tecnológicas focalizadas en las prioridades tecnológicas de esta estrategia, las cuales se reflejan a través de dos niveles complementarios.

En un primer nivel se recoge una visión completa sobre los principales intereses tecnológicos de la defensa, a través de un conjunto de **líneas de I+D+i de interés para defensa**. Estas líneas están dirigidas a la aplicación de los últimos avances tecnológicos sobre sistemas y subsistemas diseñados para ser utilizados en defensa, de forma que se logre una mejora de sus funcionalidades o la creación de nuevas posibilidades para su uso operativo. La definición de este concepto es coherente con el carácter aplicado y finalista de la I+D+i de defensa, en el sentido de considerar la tecnología no como un fin en sí mismo, sino como un medio para mejorar las capacidades militares.

Figura 12. Líneas de I+D+i y objetivos tecnológicos

En un segundo nivel se priorizan y agrupan esas líneas de I+D+i, considerándolas **objetivos tecnológicos**, en torno a los que focalizar la mayor parte de las actuaciones en I+D+i del Departamento. Esta priorización pone el foco en aquellos ámbitos con un mayor impacto en las capacidades militares, asegurando también la coherencia con las posibilidades de financiación y gestión del Departamento y la capacitación tecnológica de la BITD.

Los objetivos tecnológicos de esta Estrategia, se articulan en tres niveles, en función de la dimensión y características de los sistemas y tecnologías involucradas y el tipo de actuaciones previstas para su consecución. El alcance y finalidad de estos tres niveles, así como los objetivos que incluyen, los cuales se explican con mayor detalle en el Anexo B, se describe a continuación:

A. **Desarrollo de tecnologías avanzadas para su incorporación en las futuras grandes plataformas y sistemas de armas**.

Este nivel incluye un único objetivo que agrupa un conjunto de programas cuyo propósito es habilitar el desarrollo e incorporación de tecnologías avanzadas en las futuras grandes plataformas y sistemas de armas de las FAS, en los dominios terrestre, naval, aéreo y espacial. Estas tecnologías están alineadas con necesidades definidas en el Objetivo de Capacidad Militar (OCM) y el Objetivo de Fuerza a Largo Plazo (OFLP), y constituyen un elemento tractor para la capacitación tecnológica de la BITD, así como un motor para la generación de empleo altamente cualificado en sectores estratégicos.

Ante la creciente complejidad del entorno operativo y la evolución de las amenazas a las que deben responder las FAS, resulta esencial disponer de grandes sistemas de armas dotados de tecnologías avanzadas. Su desarrollo requiere un alto grado de complejidad técnica y un esfuerzo sostenido de inversión, lo que hace imprescindible anticipar las capacidades críticas mediante programas tecnológicos específicos. Estos programas permiten abordar con tiempo suficiente la maduración de tecnologías clave a través de demostradores que validan su viabilidad, nivel de desarrollo y potencial de integración en los sistemas finales, reduciendo así los riesgos técnicos y programáticos asociados.

En el ámbito europeo, se están impulsando proyectos colaborativos en el marco del EDF y otras iniciativas multinacionales para desarrollar plataformas y sistemas de armas de nueva generación en todos los dominios. Entre ellos destacan los sistemas de sistemas aéreos, que integran aeronaves tripuladas y no tripuladas en arquitecturas de combate colaborativo; los nuevos diseños de plataformas terrestres modulares, con exigentes requisitos de protección, integración de sistemas y movilidad, así como plataformas navales de nueva generación orientadas a la guerra en red, la interoperabilidad y la integración de sistemas no tripulados para operaciones en entornos litorales y oceánicos. Adicionalmente, se abordan sistemas europeos de comunicaciones seguras, esenciales para garantizar la conectividad resiliente en escenarios multidominio, y capacidades de defensa frente a amenazas hipersónicas, que incluyen sensores avanzados, interceptores y arquitecturas de alerta temprana.

También a nivel nacional son varios los programas tecnológicos que se han venido poniendo en marcha en los últimos años para reducir los riesgos tecnológicos de las futuras plataformas y grandes sistemas en todos los dominios de operación. Es también el caso de distintos proyectos vinculados a los Programas Especiales de Modernización (PEM) que se están poniendo en marcha vinculados al *Plan Industrial y Tecnológico para la Seguridad y la Defensa*.

Estos programas tractores, tanto nacionales como internacionales, constituyen una oportunidad estratégica para el desarrollo y consolidación de capacidades tecnológicas clave. En este contexto, el Ministerio de Defensa impulsará la elaboración de Planes de Participación Industrial

(PPI)[36] asociados a cada programa, que establecerán la organización industrial nacional en función de las capacidades existentes y definirán las tecnologías que deberán desarrollarse para garantizar una participación nacional relevante y sostenible en el ciclo de vida completo de estos sistemas.

B. Desarrollo de tecnologías para los principales desafíos y retos tecnológicos de defensa.

En este nivel intermedio, se establecen un conjunto de objetivos tecnológicos de muy diversa naturaleza dirigidos a abordar los principales retos presentes en los escenarios operativos más complejos de las FAS. Además, se busca aprovechar los avances tecnológicos actuales para el desarrollo de soluciones innovadoras en el ámbito de la defensa.

Estos objetivos están orientados a una amplia variedad de sistemas y subsistemas, con un enfoque más diverso que en el nivel anterior. En general, se trata de desarrollos tecnológicos de menor escala que los incluidos en los grandes programas, aunque en muchos casos sientan las bases para que la BITD pueda participar en iniciativas nacionales e internacionales de mayor alcance. Esta participación se alinea con el nivel tecnológico que se espera alcanzar a nivel país.

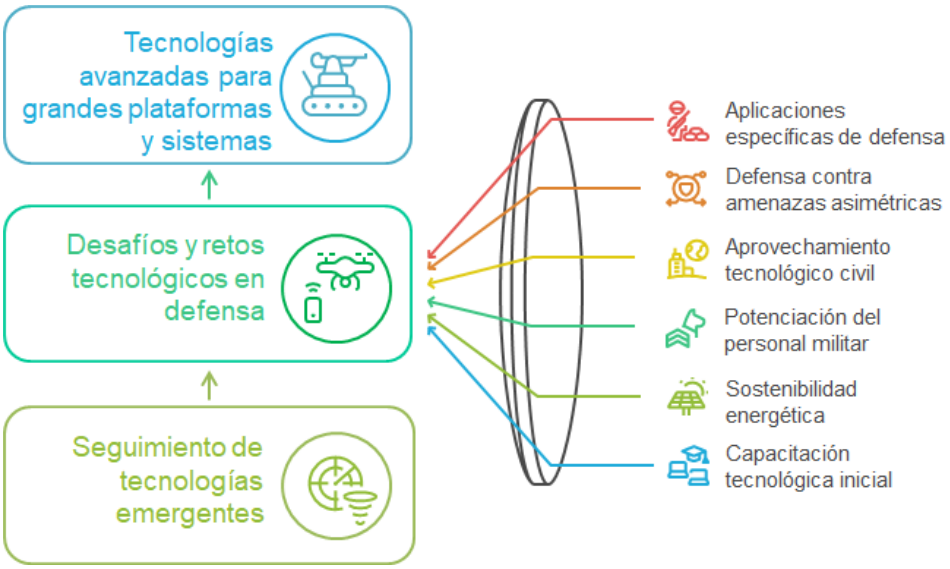


Figura 13. Objetivos tecnológicos

La selección de estos objetivos responde a diversas motivaciones estratégicas, organizadas en las siguientes categorías:

1. Aplicaciones de defensa con alta exigencia tecnológica.

Se enfocan en potenciar aplicaciones de carácter militar que requieren tecnologías con requisitos más estrictos que las aplicaciones civiles. Dado que el sector civil no demanda este tipo de tecnologías, es necesario un esfuerzo inversor del Ministerio de Defensa. No

[36] Tal como se describe en la EID 2023

obstante, estas innovaciones podrían, en el futuro, generar beneficios también en el sector civil.

2. **Defensa contra amenazas asimétricas.**

   Desarrollo de soluciones tecnológicas orientadas a la protección del personal militar en operaciones y de la población frente a amenazas no convencionales.

3. **Aprovechamiento del avance tecnológico civil.**

   Incorporación de tecnologías desarrolladas en el ámbito civil que puedan tener aplicaciones disruptivas en la defensa, generando nuevas oportunidades y transformando el concepto de operaciones.

4. **Potenciación de las capacidades del personal militar.**

   Desarrollo de tecnologías destinadas a optimizar el adiestramiento, el rendimiento y la efectividad del personal en las misiones, incrementando sus capacidades operativas.

5. **Sostenibilidad energética.**

   Implementación de tecnologías que reduzcan el impacto ambiental de las operaciones militares y contribuyan a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU y la lucha contra el cambio climático.

6. **Capacitación tecnológica inicial.**

   Apoyo a la BITD para desarrollar capacidades en tecnologías de alto potencial para la defensa, especialmente aquellas de elevado costo y con escasa presencia nacional. Se busca fortalecer la capacidad de las entidades nacionales para responder a futuras demandas del sector y facilitar su participación en proyectos de cooperación internacional.

Cada una de estas categorías abarca un conjunto de objetivos tecnológicos específicos, cuya descripción detallada se encuentra en el Anexo B. Es importante destacar que la inversión económica en cada objetivo variará según factores como la madurez tecnológica y el potencial de aplicación dual (civil y militar).

Se destaca que cada uno de estos objetivos tecnológicos llevan asociados planes específicos de desarrollo que establecen niveles de ambición alcanzables en el periodo de vigencia de la estrategia. Dichos planes definirán un conjunto de actuaciones en I+D+i que frecuentemente combinarán el desarrollo de prototipos próximos a su empleo operativo con el desarrollo de demostradores tecnológicos que capaciten a la BITD, junto a otro conjunto de actuaciones habilitadoras de la I+D+i de defensa, pudiendo hacer uso de alguno de los instrumentos que promueve el Ministerio de Defensa o ser desarrollados en cooperación nacional o internacional.

Ámbito específico de actuación	Objetivos tecnológicos
Aplicaciones de defensa con elevada exigencia tecnológica	Tecnologías de guiado y control avanzado de municiones
	Tecnologías electrónicas de altas prestaciones
	Soluciones de guerra electrónica adaptadas al ambiente electromagnético actual y futuro
	Comunicaciones militares en entornos complejos
	Nube táctica de combate para defensa
	Tecnologías para PNT robusto
	Soluciones tecnológicas para ciberoperaciones
Defensa contra amenazas asimétricas	Sistemas mejorados para la detección remota de IED terrestres
	Tecnologías para la protección frente a amenazas basadas en vehículos marítimos no tripulados
	Soluciones tecnológicas contra amenazas aéreas de baja cota
	Control de la amenaza NRBQ
Aprovechamiento del empuje tecnológico civil	Aplicación de la inteligencia artificial a defensa
	Tecnologías para el apoyo al ciclo de vida de los sistemas militares
	Mejora de los procesos productivos de la industria de defensa
	Plataformas terrestres no tripuladas para misiones de defensa
	Vehículos submarinos y de superficie no tripulados para misiones de defensa
	UAS para misiones de defensa
	Materiales para aplicación en plataformas y combatiente
	Soluciones innovadoras para defensa en el ámbito espacial
Potenciación de las capacidades de las personas	Tecnologías para el combatiente a pie
	Adiestramiento avanzado y ayuda a la toma de decisiones mediante simulación
Sostenibilidad energética	Generación, almacenamiento y eficiencia energética en bases e infraestructuras aisladas
	Nuevas formas de propulsión para plataformas tripuladas y sistemas no tripulados
Capacitación tecnológica inicial	Tecnologías para el desarrollo de armas de energía dirigida y electromagnéticas
	Tecnologías para vehículos hipersónicos
	Tecnologías cuánticas aplicadas a defensa

Tabla 4. Objetivos tecnológicos centrados en los principales desafíos y retos tecnológicos de defensa

C. Seguimiento de tecnologías emergentes con aplicación futura a defensa.

Este nivel se centra en la vigilancia y análisis de tecnologías emergentes con baja madurez tecnológica, cuyo desarrollo futuro podría abrir nuevas oportunidades para la I+D+i en defensa o generar cambios disruptivos que impacte en este sector.

Dado que estas tecnologías aún se encuentran en fases iniciales de investigación, mayoritariamente en el ámbito de la investigación básica, no se han previsto inversiones específicas salvo situaciones de oportunidad. No obstante, el Ministerio de Defensa desempeñará un papel clave como facilitador, actuando como vínculo entre la comunidad investigadora nacional y las oportunidades que puedan surgir en las organizaciones internacionales de defensa en las que participa España. Asimismo, se buscará proporcionar orientación para evolucionar la aplicación de estas tecnologías en el sector defensa.

Actuaciones del pilar de objetivos tecnológicos

Con el fin de asegurar la coherencia entre la inversión en I+D+i y las prioridades tecnológicas del Ministerio de Defensa, la Estrategia contempla, por un lado, la promoción activa de proyectos orientados a la consecución de los objetivos tecnológicos definidos, y por otro, la revisión de dichos objetivos para adaptarlos a la evolución de las necesidades operativas, los desarrollos tecnológicos emergentes y las capacidades de la BITD, caso de cambios muy acusados en estas dimensiones. Esta doble línea de actuación garantiza un marco dinámico, focalizado y actualizado para orientar las actividades de innovación tecnológica en defensa.

Figura 14. Actuaciones en el pilar de objetivos tecnológicos

Pilar de Cooperación

Este pilar se dirige a promover crecientes grados de cooperación tecnológica, tanto a nivel nacional como internacional, de manera que se sumen los esfuerzos en I+D+i con otros organismos financiadores de la I+D+i de defensa y de uso dual en torno a objetivos de interés común.

Cooperación nacional

El Ministerio de Defensa va a impulsar una mayor cooperación en I+D+i con los distintos organismos del Sistema Español de Ciencia, Tecnología e Innovación con el objetivo de fortalecer la capacitación tecnológica del tejido industrial y científico del país en torno a tecnologías de uso dual. Esto permitirá que, en el futuro, estas entidades puedan convertirse en proveedores de soluciones innovadoras para las FAS. El hecho de que la ETID constituya la estrategia sectorial de defensa dentro de la EECTI facilita el alineamiento de esfuerzos con los distintos organismos estatales y regionales, en beneficio de la capacitación de la BITD nacional.

El desarrollo de esta cooperación va a estar marcada por el desarrollo de iniciativas encaminadas a incrementar el apoyo al sector de la defensa, y en concreto por el *Plan Industrial y Tecnológico para la Seguridad y la Defensa*, que contempla inversiones de distintos organismos y entidades utilizando instrumentos ya existentes, coordinados en torno a un Comité Nacional de Seguridad y Soberanía Tecnológica, integrado por los principales ministerios sectoriales con competencias en materia de defensa, industria, digitalización y tecnología, y por aquellas agencias públicas que operan o financian proyectos tecnológicos.

Adicionalmente, se apoyará en protocolos generales de actuación ya existentes o de nueva creación, extendidos al ámbito de la cooperación con regiones cuyas estrategias de especialización inteligente converjan en cuanto a intereses tecnológicos.

La visión del Departamento sobre esta cooperación tecnológica se resume en la Figura 15. En ella, se establece que la financiación de tecnologías en niveles de madurez tecnológica (TRL) bajos, donde las aplicaciones civiles y militares aún no están definidas, recaerá en los instrumentos del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica con un enfoque más científico. En esta fase, el Ministerio de Defensa actuará como observador, analizando el potencial impacto de estos desarrollos en el ámbito de la defensa.

A medida que las tecnologías evolucionan hacia niveles de madurez superiores y adquieren aplicaciones más concretas, el modelo prevé que los instrumentos del Plan Estatal puedan seguir financiando desarrollos de un elevado carácter dual. Paralelamente, el Ministerio de Defensa enfocará sus inversiones en aprovechar y elevar la madurez de esos avances tecnológicos duales, adaptándolos a los requisitos específicos del ámbito militar, a través de programas como el COINCIDENTE, además de impulsar avances en nichos de aplicación exclusivamente militares.

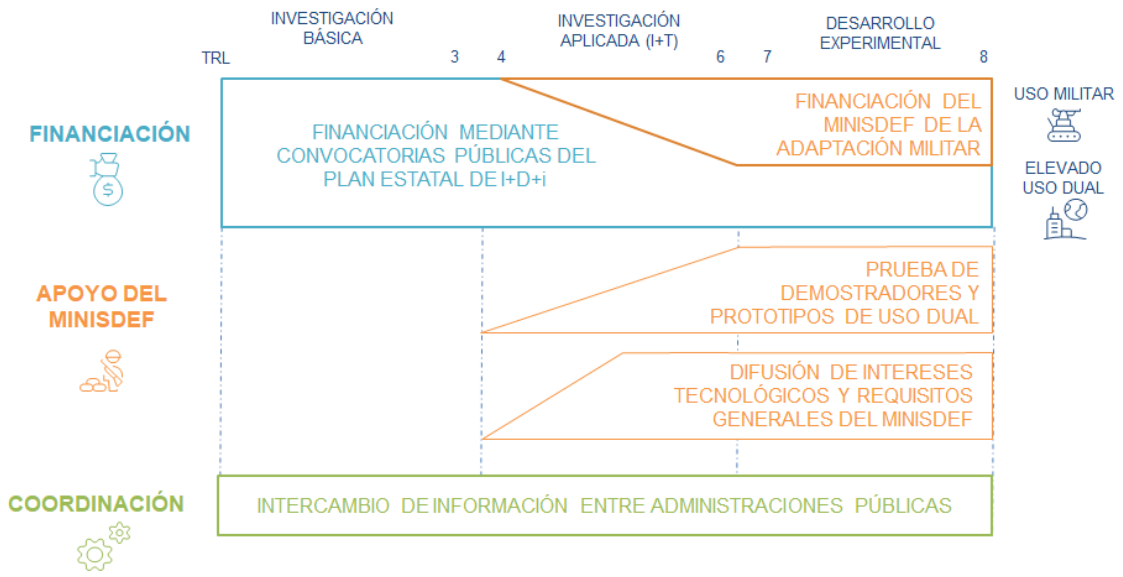


Figura 15. Visión del Ministerio de Defensa sobre la cooperación nacional en I+D+i

Más allá de la financiación, el Ministerio de Defensa cuenta con recursos estratégicos que pueden facilitar la progresión de estos proyectos hacia niveles más altos de madurez tecnológica y su eventual llegada al mercado. Entre estos recursos destacan el conocimiento como usuario final de los sistemas empleados por las FAS, la capacidad para identificar necesidades tecnológicas a largo plazo y la posibilidad de realizar pruebas y experimentación en instalaciones y campos de pruebas con condiciones cercanas a las de su uso real. Estos factores aportan un valor añadido significativo a los desarrollos financiados con fondos externos, por lo que el Departamento mantiene su compromiso de fomentar estos apoyos, generando beneficios para todas las partes implicadas.

En este contexto, se va a incidir en determinadas actuaciones

- Apoyar las iniciativas de otros Departamentos y agencias financiadoras que gestionan instrumentos para el **desarrollo de proyectos de I+D de uso dual que estén alineadas con las necesidades de defensa**, incluyendo Compra Pública Innovadora (CPI)[37] y otras convocatorias de ayudas, de cara a asegurar la máxima utilidad y aprovechamiento de los resultados.
- Incidir en la **cooperación regional en tecnologías duales**, para lograr un mayor alineamiento de sus esfuerzos en I+D+i con las necesidades de defensa y ampliar la participación de entidades de sus respectivas regiones en el sector de la defensa y la cooperación europea.
- **Coordinación con los ecosistemas de innovación de base tecnológica existentes a nivel nacional**, para facilitar que sus esfuerzos redundan en un mayor apoyo a entidades innovadoras dirigidos a fines de defensa.

[37] La CPI es un instrumento estratégico para impulsar la maduración tecnológica en defensa, facilitando que las innovaciones pasen del laboratorio al mercado operativo con cliente asegurado. Potenciarla incentivará a la BITD a orientar su I+D hacia soluciones alineadas con las necesidades de las FAS y reforzará la base tecnológica y la soberanía nacional.

- **Facilitar una mayor implicación del tejido investigador nacional** en iniciativas nacionales e internacionales de defensa dirigidas a tecnologías emergentes con potencial disruptivo.

Cooperación internacional

El Ministerio de Defensa va a promover una participación más activa y estratégica del ecosistema tecnológico nacional en las iniciativas de cooperación internacional en I+D+i en defensa, con el objetivo de posicionar a España como un socio de referencia en el desarrollo de capacidades europeas y aliadas. Para ello, se van a reforzar las herramientas de apoyo a la internacionalización de empresas, centros de I+D+i y universidades, facilitando su integración en proyectos colaborativos en el marco de la Unión Europea, la OTAN y otros formatos multilaterales. Este impulso permitirá aprovechar el potencial de la cooperación para acceder a tecnologías emergentes, compartir riesgos en el desarrollo de capacidades complejas y fortalecer la autonomía estratégica nacional y europea.

Con este propósito, se plantean las siguientes líneas de actuación:

- **Continuar impulsando la participación activa y coordinada en los programas europeos vinculados a EDF, así como en las nuevas actuaciones europeas que le den continuidad**, mediante una participación activa en la elaboración de los programas de trabajo y fomentando la presentación de propuestas lideradas o codirigidas por entidades nacionales, con participación de pymes, centros de I+D+i y universidades en los consorcios internacionales.
- **Promover una mayor participación de entidades nacionales en las actividades de investigación tecnológica de la EDA**, favoreciendo la implicación directa de expertos nacionales en los *CapTechs*, el alineamiento de las agendas nacionales de I+D con sus agendas estratégicas, así como la ejecución de nuevos proyectos complementarios a los abordados a nivel nacional y en EDF.
- **Fomentar la innovación disruptiva de base tecnológica a través de la cooperación internacional**, apoyando a *startups*, *scale-ups* y pymes nacionales con potencial de contribución a los proyectos de HEDI, EUDIS, DIANA o el NIF, que facilitan el acceso a entornos de experimentación, inversión y escalado tecnológico en el ámbito aliado.
- **Promover el aprovechamiento de las redes de conocimiento europeas y de la OTAN**, en particular a través de la STO o mediante iniciativas como la TQC, como medios para posicionar a la comunidad científica y tecnológica nacional en redes de cooperación de alto nivel.
- **Consolidar marcos de colaboración multilateral estratégicos en torno a programas de desarrollo de grandes plataformas y sistemas futuros,** priorizándose aquellos que garanticen retornos industriales e incrementen el grado de soberanía tecnológica compartida.

Estas actuaciones permitirán aprovechar plenamente las oportunidades que ofrece la cooperación internacional, acelerar la madurez tecnológica del ecosistema nacional, y contribuir a la construcción de una BITD más resiliente, integrada y competitiva.

Actuaciones del pilar de cooperación

El pilar de cooperación promueve una actuación coordinada a nivel nacional e internacional para maximizar el impacto del ecosistema tecnológico de defensa. En el ámbito nacional, se reforzará la colaboración con organismos financiadores de I+D+i de uso dual, especialmente en el plano regional y en los ecosistemas de innovación, facilitando la implicación del tejido investigador en iniciativas vinculadas a las necesidades de defensa.

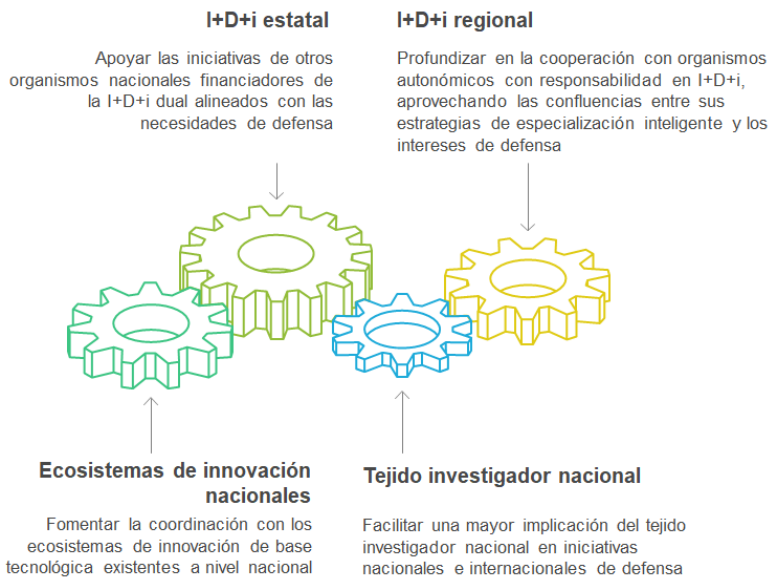


Figura 16. Actuaciones a nivel nacional del pilar de cooperación

A nivel internacional, se impulsará una participación activa y estratégica en programas europeos, especialmente en el EDF y otras iniciativas emergentes. Se fomentará la implicación de entidades nacionales en actividades tecnológicas de la EDA, la innovación disruptiva en el entorno OTAN y europeo, y la consolidación de marcos multilaterales para programas emblemáticos de capacidades y grandes plataformas.

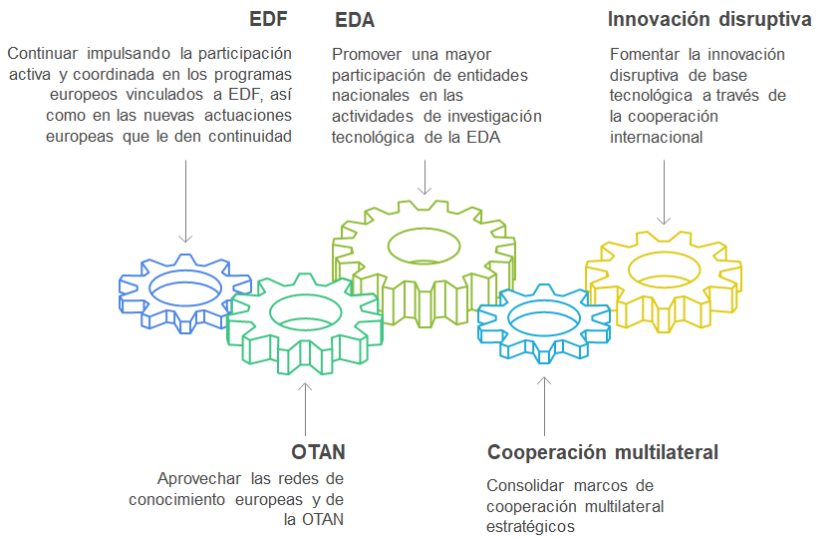


Figura 17. Actuaciones en el ámbito de la cooperación internacional en I+D+i

Pilar de Mejora continua

El Ministerio de Defensa juega un papel central en el impulso de la I+D+i en el ámbito de la defensa, a través de funciones diversas que ejercen los distintos órganos del Departamento. Para maximizar su impacto, se requiere una evolución constante tanto de su organización interna como de los procesos e instrumentos mediante los cuales impulsa la innovación, apoyado todo ello por una adecuada financiación y recurso humano especializado. La mejora continua no solo debe garantizar una mayor eficiencia interna, sino también reforzar su papel como catalizador de la innovación tecnológica, en estrecha colaboración con otros actores del ecosistema nacional e internacional.

Procesos e instrumentos

Durante los próximos cinco años, la Estrategia orientará sus esfuerzos a transformar de manera integral los procesos de gestión de la I+D+i que la hacen posible, con el objetivo de acompañar mejor el ciclo de vida completo de las soluciones tecnológicas: desde la identificación de necesidades hasta su validación y adopción operativa.

Adicionalmente, se va a incidir en la mejora y ampliación de los instrumentos disponibles, verdaderas palancas operativas para transformar las prioridades estratégicas en actuaciones concretas. Estos instrumentos, agrupados en tres grandes bloques según su finalidad (desarrollo de soluciones tecnológicas; apoyo a la cooperación en I+D+i y gestión del conocimiento tecnológico), cumplen cada uno funciones específicas, pero deben articularse de forma más integrada y adaptativa para responder a los desafíos del entorno tecnológico y operativo actual.

Finalmente, la cooperación tecnológica con otros agentes y organismos nacionales e internacionales, así como los vínculos con la BITD serán aspectos centrales sobre los que incidir.

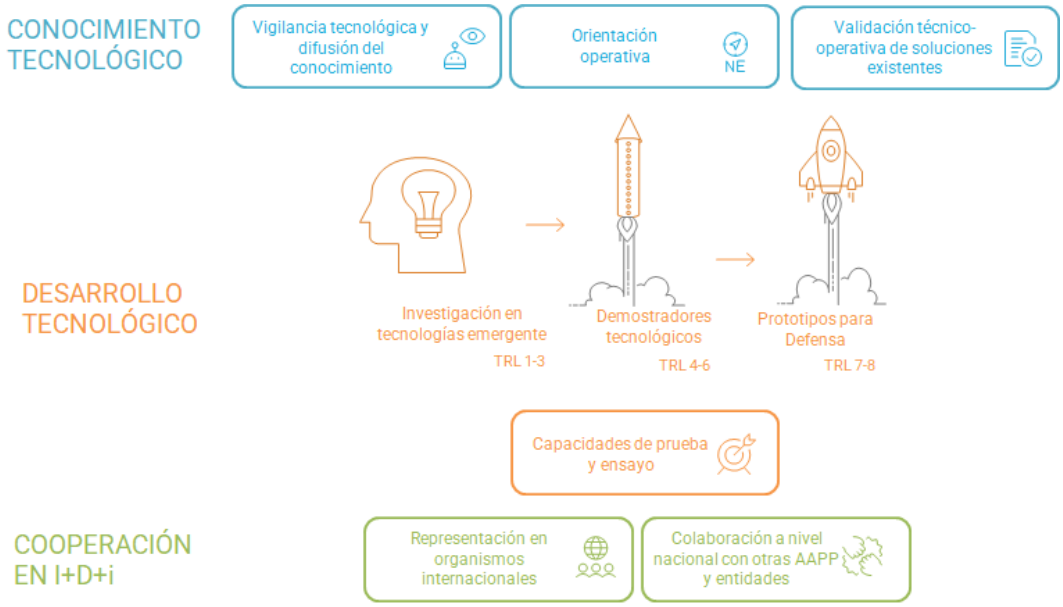


Figura 18. Instrumentos en apoyo a la I+D+i

Para ello, se va a actuar en cuatro ejes prioritarios:

1. Revisión de los procesos vinculados al ciclo de vida de los proyectos de I+D+i

Se promoverá una **revisión sistemática de los procesos** de planificación y programación, contratación, seguimiento y evaluación de las iniciativas de I+D+i, incorporando metodologías más ágiles y herramientas que reduzcan tiempos administrativos y aumenten la capacidad de adaptación y respuesta rápida frente a entornos operativos y tecnológicos cambiantes y a escenarios de financiación en evolución.

Asimismo, se reforzarán los **mecanismos de coordinación interna** entre las distintas Direcciones Generales, organismos técnicos y usuarios finales del Ministerio de Defensa. Este esfuerzo buscará consolidar un mayor alineamiento de las actividades de I+D+i con las necesidades operativas prioritarias de las FAS y otros retos del Departamento, facilitando una mayor implicación de su personal en las fases clave de los proyectos, y garantizando, al mismo tiempo, un uso más eficaz del conocimiento generado y de los resultados obtenidos.

2. Refuerzo de instrumentos para estimular la innovación en defensa y la maduración de tecnologías

El dinamismo del entorno tecnológico y la aceleración en la aparición de capacidades disruptivas requieren instrumentos más adaptativos, que respondan tanto a los distintos niveles de madurez tecnológica, desde los TRL más bajos hasta fases precomerciales, como a la diversidad de actores que conforman la BITD.

En este marco, se reforzarán los instrumentos orientados a las **fases iniciales del ciclo de innovación**, con el objetivo de identificar, explorar y orientar tecnologías emergentes y disruptivas con potencial de aplicación en defensa. Se aprovechará para ello el Programa COINCIDENTE como vehículo ágil de exploración tecnológica, mediante convocatorias abiertas basadas en temáticas que faciliten la participación de un espectro amplio de entidades innovadoras, incluyendo pymes, universidades y centros de I+D+i. Asimismo, se impulsará el diseño de nuevos mecanismos de apoyo específicamente dirigidos a aflorar nuevas ideas innovadoras dentro del propio Departamento, así como para facilitar la entrada de nuevos agentes en el ámbito de la innovación en defensa.

Para asegurar la continuidad de aquellas tecnologías con mayor potencial, se reforzarán también los **mecanismos de maduración tecnológica**, con esquemas que permitan acompañar los desarrollos más allá de su primera fase y superar los conocidos “valles de la muerte”.

Esto se complementará con la consolidación de **campañas de experimentación técnico-operativa**, que permiten validar soluciones en entornos representativos de uso militar, favoreciendo su transición desde el ámbito civil al militar.

El proceso de maduración tecnológica se apoyará, además, en la sistematización de los procedimientos de **validación técnica** y en el refuerzo de infraestructuras nacionales de ensayo y demostración, aprovechando capacidades avanzadas como las del INTA, y desarrollando nuevas instalaciones orientadas a nichos tecnológicos clave para los retos futuros de la defensa.

Todas estas actuaciones se desplegarán teniendo en cuenta que los instrumentos promovidos por el Ministerio de Defensa forman parte de un entorno más amplio, en el que también desempeñan un papel clave los programas y mecanismos impulsados por otros organismos, tanto a nivel nacional como internacional. La coordinación e integración con estos instrumentos será esencial para ampliar el alcance y efectividad de las medidas de apoyo al desarrollo tecnológico y a la capacitación del ecosistema industrial de defensa.

3. Mecanismos para ampliar y consolidar la cooperación tecnológica

De cara a apoyar el conjunto de actuaciones del pilar de cooperación, se fomentará el establecimiento y mejora de **acuerdos marco y protocolos generales de actuación** con entidades financiadoras de I+D+i a nivel estatal y regional, así como convenios con ecosistemas de innovación ya existentes, que aseguren la coordinación estratégica, la complementariedad de esfuerzos inversores y la optimización del esfuerzo conjunto.

Adicionalmente, se prevé reforzar los **mecanismos de gobernanza nacional** dedicados a impulsar y coordinar la cooperación internacional en defensa, de forma que aseguren una participación coherente, ambiciosa y alineada con los intereses estratégicos del país.

Paralelamente, se profundizará en vías que aumenten el aprovechamiento de los resultados por parte de las FAS de estos proyectos cooperativos llevados a cabo en el ámbito europeo, en particular a través de EDF, reforzando así sus posibilidades de lograr un impacto en el ámbito operativo.

4. Fortalecimiento del vínculo con la BITD nacional

El papel central de la BITD en el desarrollo de tecnologías para defensa hace necesario fortalecer los vínculos entre ellos, los usuarios finales y los órganos responsables de la gestión de la I+D+i, intensificando el intercambio de información y la **interacción con sus entidades**, de manera que se fomente un mayor diálogo tecnológico y una colaboración más efectiva en el marco de programas nacionales y europeos.

En esta línea, se fortalecerán las actividades de **difusión tecnológica**, como el Portal de Tecnología e Innovación, boletines tecnológicos y jornadas tecnológicas como el Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad (DESEi+d), así como la colaboración en la celebración de las Jornadas Informativas a las empresas sobre los fondos europeos de defensa (INFO DAY EDF), que facilitarán el conocimiento y acceso a las oportunidades nacionales y europeas disponibles, promoviendo la participación de nuevos agentes que amplíen la base nacional de innovación en defensa.

Igualmente, se intensificará el intercambio de información con el tejido industrial y científico, mediante acciones sistemáticas de **vigilancia tecnológica, consultas tempranas y encuentros sectoriales** que permitan identificar nuevas capacidades emergentes, así como alinear la oferta nacional con las prioridades del Departamento, a través del Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica del Ministerio.

Financiación

El marco financiero en el que se moverá esta Estrategia es el marcado por los compromisos suscritos por España en los foros europeos y transatlánticos en los que participa, que apuntan a un aumento generalizado de las inversiones en defensa durante los próximos años, que de una manera significativa repercutirán en la financiación de la I+D+i.

En la actualidad la financiación de la I+D+i de defensa se canaliza principalmente a través de la política de gasto 46 (I+D) en el sector de defensa (464), que incluye los programas de gasto 464A (Investigación y estudios de las FAS), que gestiona el Ministerio de Defensa, así como el programa 464B (Apoyo a la innovación tecnológica en el sector de la defensa), que gestiona el Ministerio de Industria y Turismo. No obstante, la parte de la Política asignada al programa 464B[38] varía en función de los grandes programas que en ese momento se están prefinanciando por el Ministerio de Industria y Turismo y dependerá en todo momento de los grandes desarrollos en marcha.

A esta cifra hay que añadir el creciente volumen de inversión gestionado por otros organismos financiadores de la I+D+i civil, que cada vez en mayor medida dedican financiación a proyectos de uso dual, tal como se manifiesta en el mencionado *Plan Industrial y Tecnológico para la Seguridad y la Defensa*, así como la financiación aportada por la Comisión Europea en los mecanismos de colaboración multinacional.

La ambición de esta Estrategia es que se dedique en torno a un 80% del recurso financiero para I+D+i al desarrollo de los objetivos tecnológicos, dejando un 20% para esas otras líneas de I+D+i de interés para defensa.

Seguimiento

Durante el periodo de vigencia de esta Estrategia se realizará un seguimiento de los avances de las actuaciones previstas, utilizando el conjunto de indicadores definidos en la Tabla 5, de cara a ajustar los esfuerzos y el nivel de ambición conforme evolucione su implementación.

Estos indicadores se van a agrupar en dos bloques en paralelo, el primero de ellos relativo a inversiones y actuaciones en I+D+i desplegadas durante el periodo de vigencia de la estrategia, mientras que el segundo relacionado con iniciativas de revisión de procesos de cooperación y mejora continua llevadas a cabo para reforzar la acción de la estrategia, las cuales se concretan en la siguiente tabla (Figura 19).

[38] Desde el programa de gasto 464B (Apoyo a la innovación tecnológica en el sector de defensa) se conceden préstamos reembolsables a la industria del sector. El objetivo inmediato de este programa es apoyar la participación de las empresas españolas en el desarrollo de proyectos tecnológicos industriales relacionados con la defensa y que tengan un carácter estratégico o internacional (normalmente asociado a los Programas Especiales de Modernización (PEM). Los proyectos tecnológicos industriales acaban repercutiendo en el presupuesto del Ministerio de Defensa a través del programa de gasto 122B (Programas Especiales de Modernización), momento a partir del cual la industria del sector comienza la devolución de los préstamos al Ministerio de Industria y Comercio. Por consiguiente, a efectos de financiación de la I+D+i de defensa, se puede considerar que el Ministerio de Defensa también acaba asumiendo el coste de esos proyectos tecnológicos a través del programa de gasto 122B.

Ámbito	Finalidad	Descripción
Inversiones y actuaciones de I+D+i de defensa y de uso dual	Inversiones en I+D+i	- Inversión pública dedicada a I+D+i con fines de defensa. - Inversiones en I+D+i de uso dual financiados por organismos estatales y autonómicos. - Inversiones en iniciativas de cooperación internacional en I+D+i dirigidas a defensa. - Inversión movilizada en actividades de I+D+i nacionales e internacionales cofinanciadas frente a la contribución realizada.
	Convocatorias de proyectos de I+D+i	- Convocatorias de proyectos de I+D+i a nivel nacional e internacional dirigidos a defensa o uso dual, según: o Número de actividades con participación de entidades españolas. o Índices de participación de pymes, *startups*, universidades y centros de I+D+i. o Tipo de actividad (investigación; desarrollo; innovación de base tecnológica; intercambio de información; etc.)
	Proyectos de I+D+i	- Contribución de los nuevos proyectos de I+D+i a la consecución de los objetivos de la Estrategia, en función de: o Alineamiento con objetivos tecnológicos y líneas de I+D+i. o Madurez tecnológica: I+T, de desarrollo y a la realización de pruebas técnico-operativas u otras actividades habilitadoras de la I+D+i de defensa. o Ejecución nacional o internacional. o Tipo de entidad líder (grandes empresas, pyme; *startups*; centros de I+D+i; universidades).
Cooperación y mejora continua	Actuaciones de cooperación	- Iniciativas para promover crecientes grados de cooperación nacional con impacto en la I+D+i de defensa - Iniciativas para promover crecientes grados de cooperación internacional con impacto en la I+D+i de defensa
	Procesos de mejora continua del Departamento	- Iniciativas dirigidas a la mejora de los procesos internos del Departamento vinculados a la I+D+i de defensa - Iniciativas de difusión tecnológica vinculados a la I+D+i de defensa

Tabla 5. Indicadores de la estrategia

Adicionalmente, sobre la base de la información recopilada por la función de vigilancia y prospectiva tecnológica, se van a valorar los avances y cambios que se vayan produciendo en las cuatro dimensiones que sirven de base a la estrategia (capacidades militares, tecnología, capacidades tecnológicas de la BITD, y condicionantes estratégicos para la I+D+i de defensa), de cara a introducir revisiones de mayor profundidad en partes relevantes de la estrategia.

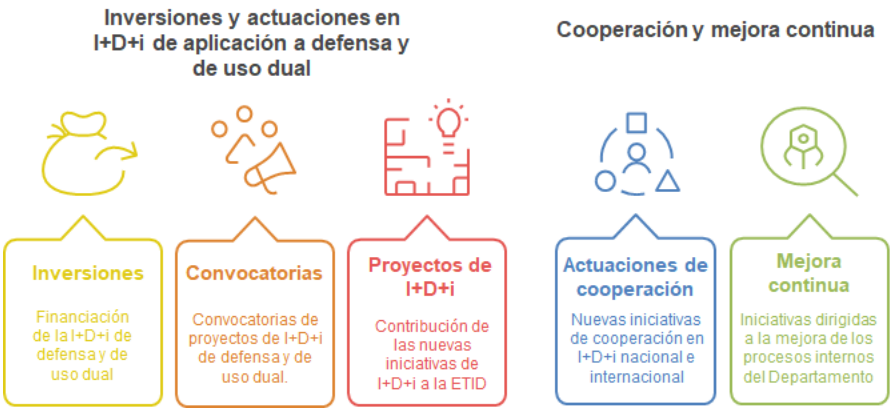


Figura 19. Esquema de indicadores de la estrategia

Actuaciones en el pilar de mejora continua

Con este enfoque integrado, la Estrategia busca transformar de forma coherente los procesos e instrumentos de innovación, acompañando a las tecnologías desde sus fases iniciales hasta su aplicación operativa y maximizando la colaboración, eficiencia e impacto del ecosistema tecnológico de defensa.

Para lograrlo, se mejorarán los procesos de planificación, contratación, gestión y coordinación interna, asegurando un uso eficaz de los recursos y una mayor alineación con las necesidades operativas. Al mismo tiempo, se reforzarán los instrumentos para impulsar la innovación temprana y la maduración tecnológica, se estrecharán los vínculos con la BITD y se consolidarán los marcos de cooperación tecnológica a nivel nacional e internacional. Finalmente, se establecerán mecanismos sistemáticos para medir inversiones y avances, facilitando la evaluación del progreso y la toma de decisiones basada en datos.

Figura 20. Actuaciones del pilar de mejora continua

Síntesis de las actuaciones previstas

Pilar de objetivos tecnológicos	
[OTEC - 1]	Promover el desarrollo de actividades y proyectos de I+D+i encaminadas a la consecución de los objetivos tecnológicos definidos en la Estrategia.
[OTEC - 2]	Actualizar de forma periódica el conjunto de objetivos tecnológicos y líneas de I+D+i de interés al Ministerio de Defensa, en base a los cambios que se produzcan en las necesidades operativas, el empuje tecnológico y las capacidades tecnológicas de la BITD.
Pilar de cooperación	
[COOP - 1]	Apoyar las iniciativas de otros organismos nacionales financiadores de la I+D+i dual alineados con las necesidades de defensa
[COOP - 2]	Profundizar en la cooperación con organismos autonómicos con responsabilidad en I+D+i, aprovechando las confluencias entre sus estrategias de especialización inteligente y los intereses de defensa.
[COOP - 3]	Fomentar la coordinación con los ecosistemas de innovación de base tecnológica existentes a nivel nacional
[COOP - 4]	Facilitar una mayor implicación del tejido investigador nacional en iniciativas nacionales e internacionales de defensa
[COOP - 5]	Continuar impulsando la participación activa y coordinada en los programas europeos vinculados a EDF y las nuevas actuaciones europeas en apoyo a la industria europea.
[COOP - 6]	Promover una mayor participación de entidades nacionales en las actividades de investigación tecnológica de la EDA.
[COOP - 7]	Fomentar la innovación disruptiva de base tecnológica a través de la cooperación internacional.
[COOP - 8]	Promover el aprovechamiento de las redes de conocimiento europeas y de la OTAN
[COOP - 9]	Consolidar marcos de colaboración multilateral estratégicos en torno a programas de desarrollo de grandes plataformas y sistemas futuros.
Pilar de mejora continua	
[MCON - 1]	Mejorar los procesos de planificación, contratación, gestión y aprovechamiento de los resultados de las actividades de I+D+i, así como los mecanismos de coordinación interna del Departamento para asegurar la utilidad y el uso eficaz y eficiente de la financiación.
[MCON - 2]	Reforzar los instrumentos para estimular la innovación temprana y la maduración de tecnologías.
[MCON - 3]	Reforzar los mecanismos para ampliar y consolidar la cooperación tecnológica a nivel nacional e internacional y el aprovechamiento de los resultados en estos ámbitos.
[MCON - 4]	Fortalecer el vínculo con la BITD nacional, intensificando el intercambio de información y la interacción con sus entidades
[MCON - 5]	Medir de forma sistemática tanto las inversiones en I+D+i como los avances logrados en cada ámbito tecnológico para apoyar la toma de decisiones.

Tabla 6. Actuaciones en los pilares de la ETID

14-59
70101

Anexo A. Líneas de I+D+i de interés para defensa

El conjunto de Líneas de I+D+i de interés para defensa incluidas en la Estrategia están organizadas en torno a las 11 **Áreas**[39] que se exponen a continuación:

1. Armas y municiones
2. Sensores y sistemas electrónicos
3. Tecnologías comunes a sistemas de defensa.
4. Bases e Instalaciones
5. Plataformas terrestres
6. Plataformas navales
7. Plataformas aéreas
8. Sistemas espaciales
9. Combatiente
10. NRBQe
11. Tecnologías de la Información, Comunicaciones y Simulación

Existe un primer grupo de Áreas que representan **ámbitos de desarrollo de tecnologías y sistemas típicamente utilizados en defensa**, los cuales pueden tener entidad propia dentro de las necesidades de defensa o estar integrados en plataformas y sistemas de armas de mayor tamaño. Así, tanto el Área 1 (Armas y Municiones) como el 2 (Sensores y Sistemas Electrónicos) representan ámbitos en el que la naturaleza de los sistemas desarrollados o las exigentes prestaciones que se requieren para su uso en aplicaciones de defensa, dan lugar a un importante número de Líneas de I+D+i. Es también el caso del Área 11 (Tecnologías de la Información, Comunicaciones y Simulación), con un marcado carácter transversal al resto de las Áreas, que agrupa el conjunto de Líneas de I+D+i relacionadas con los sistemas C4I, la ciberdefensa y los simuladores, todos ellos ampliamente utilizados en defensa.

Por otra parte, las Áreas 4 a 9 (Bases e instalaciones, Plataformas Terrestres, Plataformas Navales, Plataformas Aéreas, Sistemas Espaciales y Combatiente) representan los principales **ámbitos de aplicación** de las tecnologías desarrolladas en la Estrategia, siendo a menudo en ellas en las que se desarrollan las grandes plataformas y sistemas de armas utilizados en defensa, los cuales con frecuencia adaptan e integran desarrollos tecnológicos abordados en otras Áreas de la Estrategia según sus particularidades y exigencias de los entornos en los que operan. Esas Áreas se complementan con un Área 3 (Tecnologías comunes a sistemas de defensa), que recopila líneas de I+D+i igualmente aplicables a la mayor parte de las Áreas anteriores, evitando con ello repetir su interés en cada una de ellas. El Área 9 (Combatiente) puede considerarse un caso particular de las anteriores, al agrupar desarrollos e innovaciones centrados en las personas, los cuales se trasladan a través de su equipamiento o de sus capacidades cognitivas y estado de salud.

[39] Se trata del mismo conjunto de Áreas incluido en la ETID 2020.

Por último, el Área 10 (NRBQe), centrada en el desarrollo de tecnologías de defensa ante amenazas asimétricas, supone un caso particular dentro de este conjunto de Áreas, por su mayor orientación hacia **amenazas específicas de defensa**.

Cada una de estas Áreas, a su vez se estructuran en un conjunto de **Sub-Áreas** que agrupan las Líneas de I+D+i que abordan retos tecnológicos relacionados (véase Figura 12).

Figura 21. Áreas y Sub-Áreas de la ETID

Si bien se trata de una organización jerárquica de la información, existen múltiples relaciones horizontales entre dichas Sub-Áreas y sus Líneas de I+D+i, consecuencia de la complejidad inherente al uso de la tecnología en los múltiples tipos de sistemas y aplicaciones de defensa.

A continuación, se detallan cada una de las Líneas de I+D+i de interés para defensa, resaltándose aquellas que contribuyen en mayor medida a la consecución de los objetivos tecnológicos de la ETID. El listado completo de este conjunto de Líneas de I+D+i se incluye en la Tabla 7.

Finalmente, en la Tabla 8 se muestra la relación que existe entre cada una de las Áreas de la ETID y las Capacidades Esenciales para la Defensa, definidas en la EID 2023.

1. ARMAS Y MUNICIONES	
1.1. LETALIDAD DE PRECISIÓN Y ALCANCE EXTENDIDO	
1.1.1. Guiado terminal de bajo coste y espoletas programables	Investigación y desarrollo de kits de guiado terminal asequibles, con alta resistencia a contramedidas electrónicas, y espoletas multifunción programables (proximidad, impacto, retardo). Los retos tecnológicos incluyen la miniaturización de sensores y algoritmos para corrección en fase terminal, asegurando precisión submétrica en entornos interferidos, y el uso de estándares para interoperabilidad. Las actuaciones previstas involucran demostradores para validar reducción de coste por disparo y campañas de pruebas en campos instrumentados. Esto facilita respuestas proporcionales en escenarios urbanos o asimétricos. Es parte del Objetivo "Tecnologías de guiado y control avanzado de municiones".
1.1.2. Propulsión avanzada para fuego indirecto (alcance extendido y MLRS)	Desarrollo de tecnologías de propulsión para extender el alcance de artillería y cohetes, incluyendo propulsores avanzados, munición asistida por cohete (*Rocket Assisted Projectile,* RAP) y *base bleed* para artillería, así como combustibles sólidos de alta energía para MLRS (*Multiple Launch Rocket System*). Los retos incluyen optimizar la eficiencia energética para duplicar alcances (superiores a 100 km), gestionar cargas térmicas en altas velocidades y asegurar compatibilidad con lanzadores existentes. Las actuaciones incluyen simulaciones CFD (*Computational Fluid Dynamics*), pruebas en túneles de viento y prototipos para validar proyección stand-off.
1.1.3. Navegación robusta para munición	Diseño y desarrollo de soluciones de navegación alternativa (APNT) para municiones en entornos GNSS-denegados, integrando sensores inerciales de alta precisión con receptores GNSS anti-jamming y navegación basada en visión o terreno. Los retos tecnológicos incluyen la fusión de datos multisensoriales para mejorar la precisión, resistencia a spoofing y miniaturización para calibres pequeños. Las actuaciones previstas abarcan el desarrollo de algoritmos adaptativos, validación en escenarios de guerra electrónica simulados y demostradores para autonomía total en vuelo. Es parte de los Objetivos "Tecnologías de guiado y control avanzado de municiones" y Tecnologías para PNT robusto".
1.1.4. Municiones de efectos escalables y selectivos	Diseño y desarrollo de cabezas de guerra variables para efectos controlados, con escalabilidad desde no letal hasta destrucción focalizada. Los retos incluyen el desarrollo de materiales energéticos insensibles para seguridad, algoritmos para selección dinámica de efectos y pruebas balísticas para minimizar colaterales. Las actuaciones previstas involucran I+D+i en composites avanzados, integración con espoletas programables y prototipos para validación en entornos reales.

1. ARMAS Y MUNICIONES	
1.2. SISTEMAS AVANZADOS Y MUNICIONES INTELIGENTES	
1.2.1. Buscadores (*Seekers*) multimodales e IA para ATR	Diseño y desarrollo de seekers multiespectrales (EO/IR, radar) con IA para reconocimiento autónomo de blancos (ATR), permitiendo "disparar y olvidar" para su empleo en sistemas y municiones inteligentes, tales como misiles guiados, torpedos o municiones merodeadoras. Los retos incluyen la fusión de datos en entornos degradados, algoritmos de aprendizaje para discriminación amigo-enemigo y certificación de IA fiable. Las actuaciones previstas abarcan el desarrollo de redes neuronales embebidas, pruebas en simuladores multidominio y demostradores para alcanzar elevada precisión. Esto habilita ataques selectivos en escenarios saturados. Es parte del Objetivo “Tecnologías de guiado y control avanzado de municiones”.
1.2.2. Autonomía, colaboración en enjambres y enlaces de datos	Desarrollo de nuevas soluciones basadas en IA para navegación colaborativa, reasignación de objetivos y *datalinks* LPI/LPD resilientes a guerra electrónica. Los retos tecnológicos incluyen protocolos para enjambres, baja latencia en comunicaciones seguras y gestión de fallos autónoma. Las actuaciones previstas abarcan simulaciones de enjambres, integración con C2 y prototipos para operaciones distribuidas. Esto fortalece letalidad en multidominio. Es parte del Objetivo “Tecnologías de guiado y control avanzado de municiones”.
1.2.3. Propulsión no hipersónica para misiles tácticos y municiones merodeadoras	Diseño y desarrollo de soluciones basadas en motores *ramjet* y *turbofan* para misiles guiados y municiones merodeadoras, optimizando eficiencia para velocidades subsónicas/supersónicas (hasta Mach 4) y misiones de crucero/merodeo extendido. Los retos incluyen la gestión térmica, cinética química en entornos variables e integración con sistemas de guiado para trayectorias dinámicas. Las actuaciones previstas abarcan bancos de pruebas para combustión, demostradores para rangos mayores a 300 km y colaboración con otros programas de plataformas aéreas. Esto reduce tiempos de respuesta y asegura penetración A2/AD en aplicaciones tácticas.

1. ARMAS Y MUNICIONES	
1.3. TECNOLOGÍAS Y APLICACIONES ESPECÍFICAS PARA ARMAMENTO	
1.3.1. Armas de energía dirigida mediante láser de alta potencia	Diseño, desarrollo e integración de sistemas de armas de energía dirigida mediante láser de alta potencia (*Laser Directed Energy Weapons*, LDEW) para su uso en aplicaciones militares y de seguridad, proporcionando capacidades adicionales de autodefensa y respuesta. Estas armas ofrecen una respuesta inmediata, precisa, de bajo coste por disparo y sin munición convencional, lo que permite reducir la huella logística y los daños colaterales. Es parte del Objetivo "Tecnologías para el desarrollo de armas de energía dirigida y electromagnéticas".
1.3.2. Armas de energía dirigida de RF	Desarrollo de las tecnologías de armas de energía dirigida de radiofrecuencia (RF), con el objetivo de poder abordar en el futuro el desarrollo de sistemas para el ataque electrónico, capaces de generar niveles de potencia de RF lo suficientemente elevados para inutilizar temporalmente o incluso destruir los sistemas electrónicos de la amenaza. Es parte del Objetivo "Tecnologías para el desarrollo de armas de energía dirigida y electromagnéticas".
1.3.3. Tecnologías para armas electromagnéticas cinéticas (*railguns*)	Investigación y desarrollo de sistemas *railgun* para efectos cinéticos de alta velocidad, con fuentes de energía compactas, reducción SWaP e integración en plataformas para neutralizar amenazas asimétricas (UAS, enjambres, hipersónicas, etc.) habilitando respuestas proporcionales en A2/AD, con bajo coste por disparo y minimización logística. Los retos incluyen la mejora de la durabilidad del cañón frente a desgaste por fricción electromagnética, la gestión energética para cadencia sostenida y el diseño de proyectiles ajustables para efectos escalables. Es parte del Objetivo "Tecnologías para el desarrollo de armas de energía dirigida y electromagnéticas".
1.3.4. Minas inteligentes	Diseño y desarrollo de minas con sensores acústicos/magnéticos e IA para discriminación selectiva de blancos (amigo/enemigo/neutral), cumpliendo convenciones internacionales. Los retos incluyen el desarrollo de algoritmos de IA embarcados para selectividad en entornos complejos, la integración de sensores multimodales para detección robusta y la minimización del impacto ambiental en el despliegue y desactivación. Las actuaciones previstas abarcan la creación de prototipos para validación en escenarios terrestres y navales, campañas de pruebas para evaluar discriminación en condiciones variables y colaboración con iniciativas internacionales para estándares de selectividad. Esto habilita efectos de área controlados y respuestas proporcionales en operaciones de denegación de acceso, alineado con requisitos de proporcionalidad en conflictos híbridos.

1. ARMAS Y MUNICIONES	
1.4. SISTEMAS DE DEFENSA ASIMÉTRICA Y CONTRAMEDIDAS	
1.4.1. Efectores de bajo coste para C-UAS /C-RAM	Desarrollo de efectores de bajo coste para neutralizar enjambres UAS o RAM *(Rocket, Artillery, and Mortar),* habilitando respuestas proporcionales a amenazas también de bajo coste, alineadas con necesidades de guerra de volumen y reducción logística. Los retos incluyen el equilibrio entre coste-eficacia y precisión submétrica, la optimización de fragmentación controlada para minimizar daños colaterales y la resiliencia a contramedidas electrónicas en entornos saturados. Las actuaciones previstas abarcan el desarrollo de municiones desechables con materiales energéticos insensibles, campañas de pruebas en escenarios de saturación simulados y escalabilidad industrial. Es parte del Objetivo "Soluciones tecnológicas contra amenazas aéreas de baja cota".
1.4.2. Efectores para contraminado robótico y asimétrico	Desarrollo de efectores especializados (p.ej., cargas explosivas focalizadas, pulsos EMP) para neutralización robótica de minas terrestres/navales en escenarios estándar y asimétricos (incluyendo saturación, bajo coste y amenazas híbridas). Los retos incluyen el desarrollo de algoritmos de IA certificables para discriminación y operaciones remotas seguras, la miniaturización de efectores para integración en UGV/UUV y el cumplimiento de normativas ambientales (REACH, Convención de Ottawa). Las actuaciones previstas abarcan el desarrollo de sensores multimodales, pruebas en escenarios simulados (sencillos y complejos) y demostradores para validación de desactivación remota, con el objetivo de habilitar respuestas proporcionales a campos de minas masivos o IED en entornos saturados. Es parte del Objetivo "Sistemas mejorados para la detección remota de IED terrestres".

1. ARMAS Y MUNICIONES	
1.5. TECNOLOGÍAS DE APOYO AL CICLO DE VIDA DE ARMAS Y MUNICIONES	
1.5.1. Ciclo de vida de municiones.	Desarrollo de tecnologías orientadas a la mejora del seguimiento, control y gestión integral de las municiones durante todo su ciclo de vida (cubriendo la fabricación, almacenamiento, transporte, uso y desmilitarización), con el fin de optimizar su vida útil, asegurar su disponibilidad operativa y reducir riesgos y costes logísticos. Se priorizan soluciones que permitan monitorizar en tiempo real las condiciones climáticas y fisicoquímicas a las que se ven sometidas, incluyendo la integración de sensores embarcados, sistemas de trazabilidad, modelado predictivo del envejecimiento y herramientas de apoyo a la toma de decisiones para la gestión del stock. Estas tecnologías contribuirán a aumentar la seguridad, la sostenibilidad y la eficiencia del mantenimiento y almacenamiento de municiones en entornos diversos.
1.5.2. Reducción de impacto en procesos de armas y municiones.	Investigación y desarrollo de tecnologías que contribuyan a reducir los impactos negativos sobre la salud humana y el medioambiente a lo largo del ciclo de vida de armas y municiones, desde su fabricación hasta su desmilitarización. Se priorizarán soluciones que mejoren la eficiencia energética y de materiales en los procesos industriales, el uso de materiales menos tóxicos y más seguros, y la adopción de técnicas limpias de producción, clasificación rápida de materiales y reciclado, con especial énfasis en la recuperación de elementos críticos y de alto valor estratégico. Igualmente, se promoverán nuevos métodos de desmilitarización y neutralización de municiones que minimicen residuos peligrosos y emisiones contaminantes, así como tecnologías de transporte y almacenamiento más sostenibles y seguras. Esta línea refuerza la sostenibilidad de las capacidades industriales y logísticas de defensa, en coherencia con los principios de seguridad, eficiencia operativa y economía circular.

2. SENSORES Y SISTEMAS ELECTRÓNICOS	
2.1. TECNOLOGÍAS ELECTRÓNICAS	
2.1.1. Antenas, dispositivos y módulos de RF de altas prestaciones	Mejorar las prestaciones de las antenas, los dispositivos y componentes que forman parte de los sistemas de radiofrecuencia (RF) militares mediante el empleo de tecnologías y desarrollos aplicables a dichos elementos, para lograr funcionalidades avanzadas en radar, guerra electrónica y sistemas de comunicaciones. Es parte del Objetivo "Tecnologías electrónicas de altas prestaciones".
2.1.2. Aplicación de tecnología fotónica a sistemas de RF	Aplicación de la tecnología fotónica para mejorar las prestaciones de los sistemas de radiofrecuencia (RF) militares mediante desarrollos a nivel de componentes, subsistemas y sistemas completos, aportando importantes beneficios en cuanto a la disminución del tamaño, peso y consumo (SWaP- *Size, Weight and Power*), para las plataformas donde este tipo de sistemas se embarcan. Es parte del Objetivo "Tecnologías electrónicas de altas prestaciones".
2.1.3. Arquitectura SMRF	Desarrollo de una arquitectura SMRF (*Scalable Multifunction RF systems*) para la implementación de sistemas militares que sean modulares (basados en la interconexión de bloques *hardware y software*) y multifuncionales (en los que se utiliza un hardware común para proporcionar a la plataforma todas las funcionalidades que precisa). Mediante la utilización de esta arquitectura se espera obtener ventajas en los costes de desarrollo y mantenimiento de los sistemas militares, así como facilitar la rápida inserción de nuevas tecnologías y funcionalidades en dichos sistemas.

2. SENSORES Y SISTEMAS ELECTRÓNICOS	
2.2. RADAR	
2.2.1. Nuevas arquitecturas radar y algoritmos de procesado	Investigación y desarrollo de nuevas arquitecturas radar que puedan proporcionar ventajas significativas sobre los sistemas ya existentes o proporcionen capacidades adicionales y algoritmos avanzados de procesado de la señal radar para la detección y seguimiento de blancos elusivos/difíciles en entornos complejos (p.ej., con alto nivel de *clutter* e interferencias y bajo condiciones climáticas adversas. Estos sistemas deberían estar basados en software de manera que permitan una rápida reprogramación o adaptación a los cambios de las posibles amenazas.
2.2.2. Sistemas radar de defensa aérea	Desarrollo de sistemas radar de defensa aérea en el estado del arte tanto para unidades terrestres como navales, para potenciar la capacidad tecnológica nacional adquirida y avanzar en la obtención de nuevos sistemas de última generación.
2.2.3. Sistemas SAR/MTI	Desarrollo de tecnologías HW y SW, para sistemas radar SAR/MTI (*Synthetic Aperture Radar / Moving Target Indicator*) embarcados en plataformas aéreas. La tecnología de imágenes SAR ofrece la posibilidad de «detección del cambio» en un terreno mediante la aplicación de técnicas SAR interferométricas (InSAR) y las técnicas MTI posibilitan la capacidad de discriminación de blancos móviles. Asimismo, la imagen SAR, todo tiempo, puede revelar información que se encuentra oculta en otras regiones del espectro (visual, infrarrojo, etc.), completando la información obtenida con estos sensores y aumentando la probabilidad de detección de los blancos.

2. SENSORES Y SISTEMAS ELECTRÓNICOS	
2.3. SENSORES Y SISTEMAS OPTRÓNICOS	
2.3.1. Sistemas basados en detectores EO/IR	Investigación y desarrollo de nuevos sistemas optrónicos basados en detectores en el rango visible (EO) e infrarrojo (IR) con prestaciones mejoradas frente a los existentes actualmente para su empleo en todo tipo de misiones ISTAR militares. En particular, el interés se dirige a sistemas basados en detectores miniaturizados, incluyendo el desarrollo de nuevos tipos de microbolómetros o nanobolómetros, las nuevas tecnologías de autotracking para seguimiento automático de blancos para aumentar la automatización en el combate, así como a sensores de imagen híbridos que combinan las diferentes bandas de infrarrojos con el rango visible.
2.3.2. Sistemas de visión nocturna	Investigación y desarrollo para la mejora de los sistemas de visión nocturna (SVN) basados en tubos intensificadores de imagen o en detectores de alta sensibilidad. En particular el interés se dirige a sistemas de lentes con un FOV (*Field of View*) ampliado, así como a nuevos sistemas panorámicos que integran múltiples tubos intensificadores y a las mejoras SWaP.
2.3.3. Sistemas basados en tecnología láser para telemetría, LIDAR, guiado y designación de objetivos	Investigación y desarrollo para la mejora de soluciones tecnológicas basadas en tecnologías láser para su uso en defensa, así como el desarrollo de nuevos sistemas. Entre otros, se contemplan actividades en torno a sistemas para telemetría, designadores de objetivos, sistemas de imagen y ayuda a la navegación mediante LIDAR (*Light Detection and Ranging*), sistemas de guiado láser u otras aplicaciones innovadoras como láseres para entornos submarinos.

2. SENSORES Y SISTEMAS ELECTRÓNICOS	
2.4. SENSORES ACÚSTICOS	
2.4.1. Sensores acústicos submarinos	Investigación y desarrollo de tecnologías avanzadas de sensores acústicos para aplicaciones militares submarinas, orientadas a mejorar las capacidades de detección, clasificación, seguimiento y vigilancia en entornos navales. Se abordará el desarrollo de nuevos sistemas sonar activos y pasivos, incluyendo sónares de alta y media frecuencia optimizados para plataformas no tripuladas (UUV y USV), sensores compactos de alta frecuencia integrables en enjambres o sistemas autónomos, y tecnologías para operaciones en entornos acústicamente complejos o de baja profundidad. La línea incluye el desarrollo de sonoboyas de nueva generación con capacidad de procesamiento local, trasmisión cooperativa y operación en red, orientadas a ampliar la cobertura acústica y mejorar la detección temprana de amenazas submarinas. Asimismo, se contemplan sensores multimodales que combinen acústica con tecnologías ópticas o electromagnéticas, así como mejoras en sensibilidad, discriminación de blancos y resistencia al ruido. El procesamiento acústico basado en IA, permitirá una clasificación temprana de los patrones acústicos (propulsión, firma acústica, etc.), reduciendo los falsos positivos. Es parte del Objetivo Tecnológico “Tecnologías para la protección frente a amenazas basadas en vehículos marítimos no tripulados”.
2.4.2. Sensores acústicos atmosféricos	Investigación, desarrollo e integración de sistemas de acústica terrestre para aplicaciones militares, como la detección de detonaciones y la localización de las bocas de fuego, así como para la estimación de trayectorias de objetivos móviles aéreos y terrestres. Además, se incluye la integración con otros sensores como los ópticos y los electromagnéticos, lo que proporciona una visión más completa del entorno, así como una mejora de la capacidad de detección y seguimiento de los objetivos.

2. SENSORES Y SISTEMAS ELECTRÓNICOS	
2.5. TECNOLOGÍAS PNT Y SENSORES EMERGENTES	
2.5.1. Tecnologías para PNT robusto en ausencia de GNSS	Investigación y desarrollo de soluciones avanzadas de posicionamiento, navegación y sincronización (PNT) que aseguren la operatividad de plataformas militares móviles, terrestres, navales, aéreas, espaciales y no tripuladas, y de nodos o sistemas de mando y control en entornos donde la señal GNSS esté degradada, o denegada. Esta línea contempla tecnologías como navegación inercial de alta precisión, navegación visual o por correlación de terreno, sensores alternativos (magnéticos, barométricos o de señales de oportunidad), relojes de alta estabilidad y mecanismos de sincronización distribuida en red. Se fomentará la integración de estas capacidades en arquitecturas modulares embarcadas o fijas, asegurando su interoperabilidad con sistemas de comunicación táctica y C4I, así como su funcionamiento bajo criterios de eficiencia energética, compacidad y ciberresiliencia. Es parte del Objetivo “Tecnologías para PNT robusto”.
2.5.2. Sensores cuánticos para aplicaciones de defensa	Desarrollo de sensores cuánticos y dispositivos de metrología cuántica, para la medición precisa de parámetros físicos con alta resolución y sensibilidad extrema. A destacar: gravímetros, magnetómetros, acelerómetros, giroscopios, relojes atómicos ópticos compactos, sensores RF y sensores NRBQ. Su diseño prioriza la precisión y la estabilidad operativa, incluso en entornos complejos y adversos. Estas capacidades permiten aplicaciones estratégicas como navegación inercial y gravimetría de alta precisión; navegación autónoma y mejora de sistemas PNT, incluso en entornos con degradación de señal GNSS; sincronización temporal en operaciones multidominio, esencial para la interoperabilidad C4ISR; detección de señales RF y capacidades avanzadas de guerra electrónica; detección de estructuras subterráneas o submarinas; guiado de armas; operación de vehículos no tripulados; detección en tiempo real de amenazas NRBQ o navegación autónoma de satélites, entre otras. Se sustentan en tecnologías emergentes como interferometría de átomos fríos, trampas de iones, átomos de Rydberg, óptica cuántica avanzada, sistemas híbridos cuántico-clásicos o centros NV (Nitrógeno-Vacante) en diamante, que operan a temperatura ambiente y permiten miniaturización e integración en plataformas portátiles. Futuras redes de sensores heterogéneos, con IA y ciberseguridad cuántica, permitirán el análisis dinámico de escenarios y, de forma más disruptiva, radares cuánticos detectarán objetivos aéreos ocultos sin comprometer la discreción operativa Es parte del Objetivo “Tecnologías cuánticas aplicadas a defensa”.

2. SENSORES Y SISTEMAS ELECTRÓNICOS	
2.6. COMPUTACIÓN, FUSIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE SENSORES	
2.6.1. Fusión sensorial	Desarrollos de algoritmos y técnicas mejoradas de fusión de datos procedentes de diferentes fuentes (imágenes EO/IR, multiespectrales e hiperespectrales, LIDAR, SAR, ISAR, vídeo en movimiento, firmas acústicas, trazas LINK-16/22 y datos GMTI, etc.), incluyendo también datos procedentes de sistemas de navegación, señales GNSS y fuentes PNT alternativas. Se prestará especial atención a la gestión de la incertidumbre, la integración temporal y geoespacial de la información, y la explotación eficiente de estas capacidades en arquitecturas embarcadas o en red, para mejorar la conciencia situacional táctica y estratégica.
2.6.2. Hardware embarcado para procesamiento intensivo con IA	Investigación y desarrollo de arquitecturas de hardware optimizadas para la ejecución de algoritmos de inteligencia artificial (IA) directamente a bordo de plataformas de defensa (aéreas, espaciales, terrestres y navales). Esta línea se centra en soluciones de computación en el borde (*edge computing*) de alto rendimiento y bajo consumo (SWaP), incluyendo procesadores gráficos (GPU), FPGA, y sistemas en chip (SoC) especializados, así como la exploración de tecnologías emergentes como la computación neuromórfica. El objetivo es dotar a las plataformas de la capacidad de procesar grandes volúmenes de datos de sensores en tiempo real, permitiendo funcionalidades autónomas avanzadas, sin depender de enlaces de comunicación con estaciones en tierra. Se busca así incrementar la resiliencia, velocidad de reacción y autonomía de los sistemas en entornos operativamente exigentes y con conectividad limitada o denegada. Es parte del Objetivo "Aplicación de la inteligencia artificial a defensa".
2.6.3. Análisis automático e inteligente de datos de sensores	Desarrollo de algoritmos que analicen los datos obtenidos por diferentes sensores utilizados en defensa de cara a detectar, reconocer o identificar de forma automática la presencia en la escena de entidades con significado e interés para las FAS, de manera que se reduzca la carga de análisis a los operadores humanos. El interés se dirige específicamente a la aplicación de los últimos avances en inteligencia artificial para analizar los datos proporcionados por sensores empleados en escenas de elevada complejidad, en las que hasta ahora no existían alternativas solventes para automatizar dichos análisis. Es parte del Objetivo "Aplicación de la inteligencia artificial a defensa".

2. SENSORES Y SISTEMAS ELECTRÓNICOS	
2.7. CONTRAMEDIDAS OPTRÓNICAS	
2.7.1. Protección mediante DIRCM en plataformas aéreas	Investigación y desarrollo de sistemas DIRCM (*Directed Infra-red Counter Measures*) basados en láser para su integración en aeronaves militares y hacer frente al lanzamiento de misiles basados en guiado por infrarrojos, presentes en múltiples teatros de operaciones. En particular, se destaca el interés por la integración de los sistemas DIRCM en arquitecturas de redes que permitirán la detección coordinada y colaborativa de amenazas y operaciones de contramedidas a través de múltiples plataformas aéreas.
2.7.2. Señuelos pirotécnicos, bengalas, botes de humo	Investigación y desarrollo de sistemas pirotécnicos, necesarios para la protección de plataformas aéreas, navales y terrestres. En particular, el interés se dirige a los señuelos multiespectrales con la máxima cobertura espectral, incluyendo las bandas ultravioleta, visible e infrarrojo. También se consideran de especial interés las innovaciones en las técnicas de lanzamiento, como los señuelos lanzados desde drones o submarinos y los sistemas de señuelos en red, coordinados desde distintas plataformas de manera simultánea.

2. SENSORES Y SISTEMAS ELECTRÓNICOS	
2.8. GUERRA ELECTRÓNICA	
2.8.1. Sistemas de guerra electrónica de no comunicaciones	Desarrollo de sistemas de Guerra Electrónica de no comunicaciones en el estado del arte, tanto de apoyo electrónico (ESM) e inteligencia electrónica (ELINT) como de contramedidas electrónicas (ECM), sobre los que se aplicarán los avances tecnológicos de antenas, componentes y módulos de RF, además de algoritmos avanzados específicos. Es parte del Objetivo "Soluciones de guerra electrónica adaptadas al ambiente electromagnético actual y futuro".
2.8.2. Sistemas de guerra electrónica de comunicaciones	Desarrollo de sistemas de Guerra Electrónica de comunicaciones ESM/COMINT y ECM en el estado del arte, sobre los que se aplicarán los avances tecnológicos de antenas, componentes y módulos de RF, con las técnicas más avanzadas de alerta e inteligencia de señales, adaptadas a las nuevas comunicaciones presentes en el ambiente electromagnético (EM). Con especial importancia en los sistemas de detección y neutralización de los satélites de distinto tipo. Es parte del Objetivo "Soluciones de guerra electrónica adaptadas al ambiente electromagnético actual y futuro".
2.8.3. Guerra electrónica multiplataforma y cooperativa	Desarrollo de tecnologías que permitan la implementación de sistemas de Guerra Electrónica Multiplataforma y Cooperativos. La utilización coordinada y cooperativa de los equipos de Guerra Electrónica embarcados en distintas plataformas para obtener un Orden de Batalla Electrónico (OBE) y adicionalmente, permitirá tanto mejorar la precisión en la detección, localización e identificación de las emisiones de RF del oponente, como aumentar la efectividad de las contramedidas electromagnéticas realizadas sobre los sistemas del enemigo. Es parte del Objetivo "Soluciones de guerra electrónica adaptadas al ambiente electromagnético actual y futuro".
2.8.4. Inhibidores contra RC-IED	Desarrollo de sistemas inhibidores de frecuencia en el estado del arte para contrarrestar artefactos explosivos improvisados radiocontrolados (RC-IED). Se trata de sistemas tanto personales portátiles, como para instalación vehicular y para instalaciones fijas, que ofrezcan versatilidad y capacidad multiuso, que implementen los diferentes modos de operación (activos, reactivos e híbridos) y cuenten con medios de sincronización temporal que permitan la interoperabilidad y compatibilidad con sistemas de inhibición aliados, y con comunicaciones y medios propios.

3. TECNOLOGÍAS COMUNES A SISTEMAS DE DEFENSA	
3.1. CICLO DE VIDA	
3.1.1. Mantenimiento de plataformas	Desarrollo de tecnologías avanzadas para optimizar el mantenimiento de plataformas militares en sus diferentes dominios (terrestre, marítimo, aéreo y espacial). Estas tecnologías tienen como objetivo mejorar la disponibilidad de las plataformas, prolongar su vida operativa y asegurar su funcionamiento eficiente, tanto desde el punto de vista estructural como en el rendimiento de sus equipos y sistemas, además de reducir el tiempo y los costos asociados al mantenimiento. Se consideran las tecnologías aplicables en el mantenimiento reactivo, preventivo y predictivo, así como métodos de inspección más efectivos. Es parte del Objetivo "Tecnologías para el apoyo al ciclo de vida de los sistemas militares".
3.1.2. Inteligencia de datos aplicada al mantenimiento predictivo de plataformas	Desarrollo de algoritmos basados en inteligencia artificial para el análisis automático de grandes volúmenes de datos obtenidos de la sensorización y labores de mantenimiento de las plataformas, de forma que sean capaces de predecir con exactitud y fiabilidad la vida útil restante de cada componente o sistema. Es parte del Objetivo "Tecnologías para el apoyo al ciclo de vida de los sistemas militares".
3.1.3. Arquitecturas modulares abiertas, ingeniería digital y simulación para el ciclo de vida	Investigación y desarrollo de Arquitecturas Modulares Abiertas (MOSA) e Ingeniería Basada en Modelos de Sistemas (MBSE), junto con el uso de gemelos digitales y entornos de simulación LVC, para facilitar el diseño ágil, la integración modular y la interoperabilidad de sistemas de defensa complejos en todos los dominios. El alcance incluye el desarrollo de interfaces estandarizadas (mecánicas, eléctricas, electrónicas y software), la aplicación de MBSE para optimizar diseño, verificación y validación (V&V), mantenimiento predictivo y la certificación de modelos digitales operacionales. Es parte del Objetivo "Tecnologías para el apoyo al ciclo de vida de los sistemas militares".
3.1.4. Protección frente a procesos de corrosión y degradación	Desarrollo e implementación de tecnologías innovadoras para prevenir y proteger a las plataformas contra los procesos de corrosión y degradación en todo tipo de ambientes agresivos y entornos hostiles, incluyendo condiciones a temperatura ambiente, procesos de oxidación a altas temperaturas, elevadas solicitaciones mecánicas, fragilización por H2, ambientes salinos y la incrustación de bacterias y organismos marinos en los cascos de los barcos, entre otros. El objetivo es minimizar el deterioro de las plataformas y de sus subsistemas, prolongando así su vida útil. Es parte del Objetivo "Tecnologías para el apoyo al ciclo de vida de los sistemas militares".

3. TECNOLOGÍAS COMUNES A SISTEMAS DE DEFENSA	
3.1. CICLO DE VIDA	
3.1.5. Incorporación de procesos de economía circular	Desarrollo de tecnologías para optimizar la gestión de materiales utilizados por la industria de defensa, bajo un modelo de economía circular. Este enfoque incluye estrategias de recuperación, reutilización y actualización de equipos militares, con el fin de extender su vida útil. Además, se contemplará la gestión para la recuperación de materiales críticos, promoviendo su reaprovechamiento y reduciendo la dependencia de recursos nuevos. Es parte del Objetivo "Tecnologías para el apoyo al ciclo de vida de los sistemas militares".
3.1.6. Desarrollo de soluciones tecnológicas para la reducción del uso de materiales críticos en defensa	Desarrollo de soluciones avanzadas que permitan reducir la dependencia de materiales críticos en aplicaciones estratégicas del sector defensa, incluyendo sistemas de energía, de comunicación, sensores, armamento y plataformas. Las soluciones se centrarían en la sustitución de materiales críticos o la incorporación de materiales recuperados de otros procesos por alternativas funcionales viables técnicamente, sin pérdida de prestaciones operativas. Este enfoque contribuirá a reforzar la autonomía estratégica, la sostenibilidad y la resiliencia de las capacidades tecnológicas de defensa frente a restricciones en la cadena de suministro global. Es parte del Objetivo "Tecnologías para el apoyo al ciclo de vida de los sistemas militares".
3.1.7. Resiliencia industrial y escalado de producción de sistemas militares	Investigación, desarrollo y demostración de soluciones para disponer de plantas más robustas y adaptables que permitan mejorar, mantener e incrementar la producción de sistemas y subsistemas críticos en escenarios de alta demanda, asegurando calidad, seguridad y resiliencia en la cadena de suministro. Se impulsarán capacidades como la fabricación reconfigurable y flexible, el uso de gemelos digitales de proceso y planta para planificación rápida, automatización avanzada y aseguramiento de la calidad en línea con visión e inteligencia artificial. También se aplicarán métodos inteligentes de planificación para gestionar cuellos de botella y reconfiguración ágil. Se incluirán medidas de gestión segura de la cadena de suministro (SCRM), la ciberseguridad en las líneas de producción y la certificación rápida ante cambios de materiales o proveedores, especialmente en áreas críticas (p. ej., munición y efectores, sensores, baterías y electrónica de potencia, UAS, etc.). Constituye el núcleo del objetivo tecnológico "Mejora de los procesos productivos de la industria de defensa"

3. TECNOLOGÍAS COMUNES A SISTEMAS DE DEFENSA	
3.2. MATERIALES	
3.2.1. Reducción del peso en plataformas	Desarrollo de materiales y estructuras ligeras que, sin comprometer las prestaciones de las plataformas en las que se integren ni su seguridad, optimicen su capacidad operativa y su transportabilidad. Estos avances permitirán, además, mejorar aspectos importantes como el consumo energético, la autonomía y la movilidad.
3.2.2. Sistemas de protección pasiva de plataformas	Desarrollo de sistemas de protección pasiva avanzados que permitan sustituir los blindajes tradicionales utilizados en las plataformas terrestres, navales y aéreas tanto para amenazas actuales como para nuevas amenazas (láser de alta potencia, microondas, etc.). Estos nuevos sistemas no solo buscarán una reducción significativa en el peso de las plataformas, sino que también garantizarán una protección igual o superior frente a impactos balísticos y explosiones, asegurando una protección más efectiva y adaptada a las amenazas actuales. Es parte del Objetivo “Materiales para aplicación en plataformas y combatiente”.
3.2.3. Reducción de firma de plataformas a través de materiales	Desarrollo de recubrimientos, materiales y estructuras avanzados que optimicen la reducción de la firma radar, infrarroja, acústica, visible, entre otras, de las plataformas terrestres, navales y aéreas. El objetivo es mejorar su capacidad de ocultación y sigilo, sin comprometer las capacidades operativas esenciales, garantizando no interferir en el rendimiento global de las plataformas. Es parte del Objetivo “Materiales para aplicación en plataformas y combatiente”.
3.2.4. Materiales para aplicaciones a alta temperatura	Desarrollo de materiales y recubrimientos para aplicaciones a altas temperaturas, como son sistemas de propulsión, estructuras que trabajen en entornos de altas temperaturas y elementos resistentes al fuego o estructuras hipersónicas, entre otros. Estos materiales estarán diseñados para integrarse en sistemas militares, permitiendo un control continuo de sus prestaciones y comportamiento a lo largo de todo su ciclo de vida, garantizando su fiabilidad y rendimiento en condiciones extremas de temperatura. Es parte del Objetivo “Tecnologías para vehículos hipersónicos”.

3. TECNOLOGÍAS COMUNES A SISTEMAS DE DEFENSA	
3.3. ENERGÍA	
3.3.1. Sistemas de energía de alta potencia	Apoyar a nivel nacional la capacitación de la BITD en la investigación sobre sistemas de energía embarcados capaces de suministrar la energía necesaria para nuevos sistemas que requieren elevados pulsos de corriente eléctrica, cortos o mantenidos en el tiempo, como pueden ser armas de energía dirigida, cañones electromagnéticos o blindajes activos. Estos desarrollos comprenden tanto sistemas de almacenamiento de energía que permitan ciclos rápidos de carga y descarga como la electrónica de potencia de control asociada. Constituye el núcleo del Objetivo "Tecnologías para el desarrollo de armas de energía dirigida".
3.3.2. Sistemas de captación de energía ambiental (*energy harvesting*)	Adaptación y validación de tecnologías de *energy harvesting* para la microgeneración de energía eléctrica a partir de fuentes ambientales (vibración, térmica, solar, eólica, electromagnética), mediante sistemas compactos y de bajo mantenimiento. Estas soluciones se orientarán a aplicaciones militares como redes de sensores desatendidas, equipos del sistema combatiente y sistemas aislados de red en instalaciones o campamentos, con el objetivo de aumentar su autonomía energética y reducir la dependencia de la cadena logística. Se priorizarán soluciones robustas, de bajo consumo y capaces de integrarse de forma discreta en entornos operativos diversos.
3.3.3. Sistemas de microgeneración de energía eléctrica	Desarrollo de sistemas de generación eléctrica a pequeña escala, distintos de las tecnologías de *energy harvesting* y pilas de combustible, que permitan proporcionar energía de forma autónoma y flexible en operaciones militares. Se contemplarán tecnologías como microturbinas, grupos electrógenos portátiles avanzados y otros sistemas compactos capaces de integrarse en plataformas, emplearse como apoyo energético al combatiente o desplegarse en infraestructuras temporales como campamentos o puestos de mando. Estos sistemas deberán priorizar la eficiencia energética, la reducción del peso y volumen, la fiabilidad en condiciones adversas y la compatibilidad con distintos combustibles y requisitos logísticos.
3.3.4. Sistemas de pilas de combustible para su uso en entorno militar	Desarrollo de sistemas de generación eléctrica basados en pilas de combustible, adaptados a los requisitos de operación en entorno militar. Estas soluciones deberán ser compatibles con hidrógeno y otros combustibles alternativos, y estar orientadas a su integración en plataformas, equipos del combatiente, infraestructuras móviles, campamentos o bases desplegadas (FOB). Se priorizará la eficiencia energética, la reducción de la huella logística y térmica, el funcionamiento silencioso y la robustez frente a condiciones ambientales adversas. Es parte del Objetivo "Nuevas formas de propulsión para plataformas tripuladas y sistemas no tripulados".

3. TECNOLOGÍAS COMUNES A SISTEMAS DE DEFENSA	
3.3. ENERGÍA	
3.3.5. Sistemas de almacenamiento de energía eléctrica para su uso en entorno militar	Desarrollo de sistemas de almacenamiento de energía o potencia eléctrica que posean una mayor capacidad de almacenamiento, carga, flexibilidad en la entrega de potencia, así como un menor peso y volumen, para su empleo en distintos sistemas de uso en entorno militar. Dentro de estos sistemas se incluyen, entre otros, baterías de nueva generación, incluyendo baterías estructurales, supercondensadores, así como sistemas integrados. Es parte de los Objetivos "Generación, almacenamiento y eficiencia energética en bases e infraestructuras aisladas" y "Nuevas formas de propulsión para plataformas tripuladas y sistemas no tripulados".
3.3.6. Sistemas de transmisión inalámbrica de energía	Desarrollo de tecnologías de transmisión inalámbrica de energía o potencia eléctrica, en distintas escalas y rangos (incluyendo aquellas por encima o por debajo del umbral de ionización atmosférica), para aplicaciones militares en plataformas, bases, campamentos o equipos del combatiente. Estas soluciones deberán ser evaluadas para su uso tanto en territorio nacional como en despliegues operativos, priorizando la eficiencia de transmisión, la seguridad electromagnética y su funcionamiento fiable en entornos hostiles.

3. TECNOLOGÍAS COMUNES A SISTEMAS DE DEFENSA	
3.4. LOGÍSTICA	
3.4.1. Sistemas de gestión del agua	Investigación y desarrollo de sistemas fijos y portátiles para la gestión integral del agua en operaciones militares, incluyendo generación, potabilización, desalinización, depuración y descontaminación, adaptados a las necesidades de plataformas navales, bases desplegadas y unidades en zona de operaciones. Estas tecnologías deberán mejorar la autonomía hídrica, reducir la carga logística asociada al suministro de agua y garantizar su disponibilidad en entornos degradados, minimizando el riesgo de contaminación por causas naturales o acciones hostiles. Se priorizarán soluciones eficientes, compactas y resistentes a condiciones ambientales extremas.
3.4.2. Procesos de gestión de residuos	Desarrollo de procesos y tecnologías para la gestión integral de residuos en bases, instalaciones y plataformas navales, tanto en territorio nacional como en zonas de operaciones. Se abordarán aspectos logísticos, operativos y medioambientales, incluyendo soluciones para la recolección, clasificación, tratamiento y eliminación segura de residuos. Se fomentarán planteamientos basados en la economía circular, como el reciclado, el reaprovechamiento de materiales y la valorización energética, con el objetivo de reducir la huella logística, mejorar la sostenibilidad de las operaciones y aumentar la autonomía de los despliegues.
3.4.3. Combustibles alternativos no fósiles	Desarrollo de combustibles alternativos a los combustibles de origen fósil derivados del petróleo, que reduzcan la dependencia externa de la UE de combustibles, aumenten la resiliencia e independencia energética de la cadena de suministro, incluidos también aquellos que puedan emplearse bajo el Concepto de Combustible Único (NATO SFC). Se consideran tanto el desarrollo de los combustibles alternativos como las soluciones tecnológicas para la gestión de los mismos por los ejércitos, así como su aplicación en las plataformas militares.

4. BASES E INSTALACIONES	
4.1. PROTECCIÓN DE BASES E INSTALACIONES	
4.1.1. Redes de sensores para protección de instalaciones y despliegues terrestres	Investigación y desarrollo de tecnologías que permitan la protección de bases e instalaciones críticas en entorno terrestre, así como despliegues de tropas en zonas urbanas, puertos y áreas extensas con terreno complejo y ausencia de infraestructura. Se basarán en redes terrestres multisensor distribuidas, autónomas, cooperativas y remotas, dirigidas a la determinación de la dirección de fuego, detección e identificación de vehículos, dirección de fuego, personas, objetos y actividades.
4.1.2. Redes de sensores para la protección de zonas marítimas	Investigación y desarrollo de arquitecturas y tecnologías de redes acústicas y multisensor para la vigilancia y protección de zonas marítimas frente a amenazas submarinas y de superficie, con especial atención a entornos litorales, infraestructuras portuarias y áreas de acceso restringido. Se abordará el diseño de redes distribuidas de sensores fijos o móviles, operando de forma autónoma, cooperativa y con capacidad de fusión de datos en red, así como su integración con sistemas no tripulados (USV, UUV) y sistemas de mando y control. La línea contempla el empleo de infraestructuras ópticas seguras basadas en fibra oscura, tanto como canal de comunicación de alta capacidad y baja latencia entre nodos sensoriales, como en su aplicación emergente como sensor acústico lineal distribuido mediante tecnologías de detección y vibración óptica (DAS/DVS). Asimismo, se consideran aspectos como la resiliencia de la red, la eficiencia energética, la capacidad de detección multiestática, la operación en tiempo real y la interoperabilidad con sistemas C4ISR navales o conjuntos. Estas capacidades permitirán extender la cobertura de vigilancia submarina, incrementar la resiliencia del sistema y proporcionar detección temprana de actividades anómalas en zonas críticas.
4.1.3. Protección frente a amenazas explosivas en infraestructuras	Desarrollo de nuevos elementos de protección pasiva, tanto fijos como portátiles, destinados al despliegue en zonas de operaciones o a la protección de instalaciones susceptibles de sufrir ataques mediante amenazas balísticas o explosiones. Asimismo, será de interés el desarrollo de herramientas y la adquisición de conocimientos necesarios para la creación de modelos, la simulación, la experimentación y el análisis frente a amenazas basadas en explosivos.

4. BASES E INSTALACIONES	
4.2. ENERGÍA EN BASES E INSTALACIONES	
4.2.1. Sistema energético en bases e instalaciones	Desarrollo de sistemas de generación y almacenamiento de energía suficiente para abastecer energéticamente las actividades de bases, campamentos en zona de operaciones e instalaciones aisladas que permitan reducir tanto las necesidades logísticas como la cadena de suministro y aumenten la resiliencia, eficiencia o independencia energética. Se consideran también aspectos complementarios (p.ej. estandarización, herramientas de planificación y simulación de recursos renovables, etc.) para lograr que estas tecnologías puedan ser desplegadas de forma efectiva en zona de operaciones. Es parte del Objetivo "Generación, almacenamiento y eficiencia energética en bases e infraestructuras aisladas".
4.2.2. Redes inteligentes de energía eléctrica para defensa	Desarrollo de microrredes eléctricas inteligentes aplicables a instalaciones de defensa, tanto en territorio nacional como en zona de operaciones, orientadas a mejorar la calidad, gestión y seguridad (física y cibernética) del suministro eléctrico. Estas redes deberán incrementar la flexibilidad y resiliencia energética, así como facilitar la integración de fuentes renovables y sistemas de almacenamiento. Es parte del Objetivo "Generación, almacenamiento y eficiencia energética en bases e infraestructuras aisladas".
4.2.3. Autoproducción de combustibles	Desarrollo de sistemas para la producción descentralizada e *in situ* de combustibles y productos químicos útiles, destinados a reducir la dependencia del abastecimiento logístico en operaciones en el exterior. Estas soluciones deberán ser capaces de generar combustibles líquidos o gaseosos y otros compuestos estratégicos a partir de materias primas disponibles localmente (agua, biomasa, residuos, CO_2, etc.), adaptándose a distintos tipos de plataformas y aplicaciones. Se priorizará la compatibilidad con motores existentes, la facilidad de despliegue, la eficiencia energética del proceso y la reducción de la huella logística en escenarios operativos prolongados o de difícil acceso.
4.2.4. Climatización y ACS integrada y eficiente	Adaptación y validación de sistemas de climatización y agua caliente sanitaria (ACS) para bases e instalaciones desplegables, orientados a lograr una alta eficiencia energética mediante la integración de múltiples fuentes térmicas. Estos sistemas deberán optimizar el uso combinado de energía solar, calor residual, biocombustibles u otras fuentes disponibles localmente, reduciendo el consumo energético total de la instalación y aumentando su autonomía operativa en entornos con limitaciones logísticas.

4. BASES E INSTALACIONES	
4.3. MODERNIZACIÓN DE BASES E INSTALACIONES	
4.3.1. Incorporación de tecnologías 4.0 a bases e instalaciones y procesos del Departamento	Aplicación de tecnologías 4.0 (p. ej., IoT, automatización, analítica avanzada, inteligencia artificial, etc.) para modernizar bases e instalaciones logísticas y optimizar sus procesos. Se impulsará su integración a través de proyectos de innovación tecnológica que contribuyan a mejorar la eficiencia operativa, la sostenibilidad y la transformación digital del Departamento. Es parte del Objetivo "Tecnologías para el apoyo al ciclo de vida de los sistemas militares".
4.3.2. Edificaciones inteligentes y eficientes	Desarrollo de tecnologías para el diseño, construcción, operación y despliegue de edificaciones e infraestructuras temporales en bases y campamentos, adaptadas a los requisitos operativos de defensa y con capacidad de integración en entornos multinacionales. Se priorizarán soluciones que mejoren la eficiencia energética mediante nuevos materiales, técnicas constructivas avanzadas y sistemas inteligentes de gestión de recursos.
4.3.3. Instalaciones de ensayo para defensa ante amenazas emergentes	Desarrollo de infraestructuras de ensayo avanzadas que permitan a las FAS y al ecosistema de I+D+i de defensa desarrollar, validar y certificar tecnologías frente a amenazas emergentes especialmente exigentes. Estas instalaciones deberán estar preparadas para reproducir condiciones realistas y altamente exigentes, tanto físicas como electromagnéticas o cibernéticas, facilitando la evaluación de sistemas de armas, sensores, protección, plataformas y sistemas C4ISR frente a escenarios actuales y futuros. Se priorizará su flexibilidad y compatibilidad con normativas y marcos de cooperación internacional.

5. PLATAFORMAS TERRESTRES	
5.1. DISEÑO DE PLATAFORMAS TERRESTRES	
5.1.1. Diseño de plataformas terrestres tripuladas de nueva generación	Investigación y desarrollo en los diferentes ámbitos que contribuyen al desarrollo de plataformas terrestres tripuladas de nueva generación. Se contemplan actuaciones con un carácter transversal en aquellos ámbitos que permitan avanzar en la mejora del diseño estructural de plataformas terrestres, que tengan en cuenta sus dinámicas de movimiento y características propias, incluyendo su movilidad, supervivencia (estudio de formas y simulación del comportamiento frente a explosiones e impactos balísticos), habitabilidad y capacidad de carga de las plataformas, a fin de obtener diseños que optimicen estos parámetros.
5.1.2. Arquitectura e integración en plataformas terrestres	Desarrollo de arquitecturas abiertas, modulares y escalables, que faciliten la integración física y lógica de nuevos sistemas o cargas de pago para adaptar las plataformas a múltiples misiones, ampliar la monitorización del estado de la plataforma y mejorar la gestión de la información y del consumo energético de los sistemas embarcados, de forma que se mejore la eficiencia del parque móvil y se simplifique su mantenimiento.

5. PLATAFORMAS TERRESTRES	
5.2. ENERGÍA Y MOVILIDAD DE PLATAFORMAS TERRESTRES	
5.2.1. Propulsión híbrida y eléctrica y electrificación de plataformas terrestres	Investigación y desarrollo en la integración de nuevas tecnologías en los ámbitos de la propulsión híbrida. También se contempla el desarrollo sistemas propulsivos totalmente eléctricos que incluya el desarrollo de motores eléctricos de flujo axial, radial u otros conceptos, así como la electrificación de las plataformas y sus subsistemas. Asimismo, se contempla la integración y validación de sistemas de almacenamiento de energía eléctrica que permitan el funcionamiento de la plataforma y sus subsistemas en modo completamente eléctrico. Es parte del Objetivo "Nuevas formas de propulsión para plataformas tripuladas y sistemas no tripulados".
5.2.2. Propulsión convencional y sistemas de transmisión	Desarrollo de tecnologías de propulsión y transmisión que aumenten las prestaciones de movilidad del vehículo en términos de impulsión o potencia transmitida al tren de rodaje, permitiendo incrementar la capacidad de carga y habilidad para avanzar por distintos terrenos. Entre otros aspectos, se contemplan mejoras en los sistemas de propulsión, uso de distintos tipos de combustibles (SAF, hidrógeno, amoniaco u otros) así como mecanismos de transmisión más eficientes y ligeros.
5.2.3. Sistemas de movilidad avanzados	Investigación y desarrollo de tecnologías auxiliares al tren de propulsión que mejoren la movilidad de la plataforma en términos de dominio del terreno, aumentando su capacidad para transitar por distintas zonas y llevar a cabo diferentes misiones. Comprende sistemas complementarios a la propulsión y transmisión que están orientados a mejorar la movilidad de las plataformas terrestres, tales como tecnologías innovadoras de tracción (ruedas y cadenas) o sistemas de suspensión avanzada. Se contemplan también tecnologías que incrementen la fiabilidad y resistencia del tren de rodadura (como sistemas anti-pinchazo).

5. PLATAFORMAS TERRESTRES	
5.3. SISTEMAS INTEGRADOS	
5.3.1. Conciencia situacional de la tripulación de la plataforma	Investigación y desarrollo para optimizar la gestión de información en la plataforma a fin de maximizar la conciencia situacional del operador y facilitar tanto el control del vehículo como la ejecución de la misión. Se contemplan avances relacionados con la integración de sensores y sistemas C4I en la plataforma, la fusión y presentación inteligente de la información a la tripulación y el empleo de interfaces de control avanzados e inmersivos y sistemas de asistencia a la conducción (automatización de ciertas funciones, control compartido entre humano y máquina, etc.), apoyándose todo ello en la IA.
5.3.2. Integración e interoperabilidad de armas con plataformas terrestres	Investigación y desarrollo en nuevas estaciones de armas que optimicen tanto su peso y dimensiones como la funcionalidad y manejo de las armas que incorporen, buscando diseños más compactos y con crecientes grados de automatización, que permitan acortar los tiempos de acción del armamento e incluso reducir el número de operadores necesario. Además del proceso de recarga y gestión de la munición, se pretenden automatizar funciones específicas como la detección, seguimiento y adquisición de posibles objetivos y amenazas, quedando bajo control del operador las decisiones críticas de selección del arma y orden de disparo. Se buscan también diseños de estaciones de armas remotas que prevean la integración de armamento de nueva generación, como armas láser o cañones electromagnéticos.
5.3.3. Sistemas de protección activa y reactiva	Investigación y desarrollo en tecnologías de protección activa y reactiva, que complementen a los blindajes pasivos tradicionales de cara a aumentar el nivel de protección global de la plataforma. Por una parte, se buscan blindajes reactivos tanto explosivos como no explosivos, que sean capaces de reaccionar ante un impacto de un proyectil, de cara a neutralizar o atenuar el daño causado por este sobre la plataforma. Por otra parte, se persiguen tecnologías de protección activa que permitan la detección, identificación, seguimiento o neutralización de la amenaza enemigas antes de que impacten sobre la plataforma, dando prioridad a la hibridación de sensores para detección y seguimiento de amenazas RAM (cohetes y proyectiles de artillería y mortero), UAS, munición merodeadora y misil contra-carro. Comprende también la integración o embarque de estos equipos en el sistema de autoprotección de la plataforma. Es parte del Objetivo “Soluciones tecnológicas contra amenazas aéreas de baja cota”

5. PLATAFORMAS TERRESTRES	
5.4. ROBÓTICA TERRESTRE	
5.4.1. Conversión de plataformas o grupos de plataformas en sistemas no tripulados	Investigación y desarrollo para convertir uno o varios vehículos militares existentes en plataformas no tripuladas, de forma que puedan controlarse remotamente a nivel individual o en forma de convoy. Los vehículos podrán funcionar por teleoperación o con mayores grados de autonomía, posibilitando la ejecución de misiones militares sin necesidad de presencia humana sobre los mismos. Se espera obtener kits de automatización estandarizados compuestos por sensores, actuadores, equipos de comunicación, electrónica de control e interfaces hombre-máquina, que puedan adaptarse fácilmente a distintos tipos de plataformas y permitan controlar el sistema desde la distancia. Para el caso particular de los convoyes, se podrán combinar plataformas no tripuladas con tripuladas, incluyendo configuraciones en las que los vehículos tripulados no marchen en cabeza del convoy, pudiendo adecuarse el rol y número de vehículos que conforman el sistema de forma flexible. Es parte del Objetivo “Plataformas terrestres no tripuladas para misiones de defensa”.
5.4.2. Funcionalidades avanzadas en UGV basadas en autonomía robótica	Investigación y desarrollo en soluciones tecnológicas que permitan mejorar las funcionalidades autónomas de los sistemas robóticos utilizados en defensa, con el apoyo de la IA. En concreto, el interés se centra en lograr crecientes grados de autonomía en entornos no estructurados (p.ej. navegación y posicionamiento en ausencia de GNSS, generación automática de caminos, detección y evasión de obstáculos, maniobras complejas, entre otros), funcionamiento cooperativo entre plataformas (p.ej. seguimiento autónomo, formación de enjambres, distribución automática de tareas, maniobras coordinadas, etc.), así como aspectos de interoperabilidad en las comunicaciones y el empleo de estándares de arquitecturas robóticas adaptados a las necesidades de defensa. Es parte del Objetivo “Plataformas terrestres no tripuladas para misiones de defensa”.

5. PLATAFORMAS TERRESTRES	
5.4. ROBÓTICA TERRESTRE	
5.4.3. Robótica para misiones específicas de defensa	Investigación y desarrollo para obtener sistemas robóticos adaptados a las diferentes misiones militares, adecuando las características de las plataformas (p.ej. arquitectura vehicular, dimensiones, movilidad, capacidad de carga, nivel de autonomía, alcance fuera de la línea de visión directa, etc.) a los requisitos específicos de cada misión. Para ello, se busca desarrollar plataformas robóticas genéricas en diferentes segmentos de peso (pesado, grande, mediano, pequeño y mini), a partir de las cuales obtener versiones para misiones concretas mediante la integración de cargas útiles específicas. El interés se centra en aplicaciones C-IED/NRBQ (detección/identificación, señalización y toma de muestra), vigilancia y reconocimiento, apoyo logístico al combatiente, evacuación médica (incluyendo bajas infecciosas), ingeniería/zapadores, operaciones en entornos urbanos, guerra electrónica, relé de comunicaciones, C-UAS, intervención en emergencias y combate, asegurando en este último caso que un operador humano siempre mantiene el control sobre el armamento del robot. Además, se tiene interés en UGV que hagan la función de plataforma nodriza, pudiendo albergar, transportar y desplegar UXV de diferente tipo. Es parte del Objetivo “Plataformas terrestres no tripuladas para misiones de defensa”.
5.4.4. Robótica biomimética	Diseño y desarrollo de arquitecturas robóticas innovadoras distintas a los diseños vehiculares convencionales de UGV, que se puedan inspirar en las geometrías y formas de locomoción de los seres vivos para dar lugar a robots con nuevas capacidades de movilidad y actuación. Este tipo de sistemas incluirían tanto robots humanoides que se desplacen de forma bípeda y tengan la capacidad de manipular objetos humanos, como otros robots que copien animales vertebrados e invertebrados, pudiendo ser cuadrúpedos, reptiles, etc. Los diseños deberán buscar la ergonomía, interacción natural con el entorno y eficiencia energética, poseyendo un equilibrio y movilidad realista e integrando modelos de lenguaje para interpretación del entorno y diálogo contextual.

6. PLATAFORMAS NAVALES	
6.1. DISEÑO DE PLATAFORMAS NAVALES	
6.1.1. Diseño de plataformas navales de superficie	Investigación y desarrollo de la próxima generación de plataformas navales de superficie, abordando no solo aspectos hidrodinámicos, aerodinámicos, estructurales, de habitabilidad, blindaje y reducción de firma, sino especialmente orientado hacia una arquitectura modular que permita integrar sensores, equipos y sistemas intercambiables en función de los requisitos operativos. Asimismo, se explorarán configuraciones avanzadas como embarcaciones de sustentación parcial (hidroalas) o vehículos de colchón de aire (*hovercrafts*), orientados a mejorar la movilidad y la capacidad anfibia. Será necesario trabajar en la mejora de la de interoperabilidad entre sistemas, plataformas tripuladas y no tripuladas propias, así como con unidades de fuerzas aliadas, facilitando operaciones conjuntas de forma flexible y eficiente.
6.1.2. Diseño de plataformas navales submarinas	Investigación y desarrollo de nuevos diseños de plataformas submarinas orientados a mejorar el rendimiento hidrodinámico, optimizar la interacción entre el casco y el sistema propulsivo y reducir su detectabilidad. Se impulsará el empleo de nuevos materiales que incrementen la resistencia estructural y contribuyan al sigilo acústico y electromagnético. Se priorizará una arquitectura modular que permita adaptar el submarino a una amplia variedad de misiones, desde operaciones de guerra asimétrica hasta vigilancia avanzada. Los futuros submarinos deberán estar preparados para integrar vehículos submarinos no tripulados (UUV), incluyendo sus sistemas de lanzamiento y recuperación.

6. PLATAFORMAS NAVALES	
6.2. CONTROL, ENERGÍA Y PROPULSIÓN NAVAL	
6.2.1. Sistemas propulsivos para plataformas navales	Investigación y desarrollo orientados al apoyo en el diseño de nuevos sistemas propulsivos con mejores prestaciones en cuanto a potencia, rendimiento y reducción de emisiones contaminantes (COx, NOx, etc.), que permitan incrementar la capacidad de maniobra y respuesta operativa de las plataformas. Se contemplan aspectos relacionados con la mejora de la propulsión convencional (motores diésel, de gasolina, turbinas de gas, etc.), la adopción de tecnologías de propulsión alternativa (biocombustibles, gas natural licuado, amoniaco, hidrógeno verde, etc.), sistemas híbridos diésel-eléctricos, el aprovechamiento de fuentes renovables, así como la evolución de sistemas propulsores (hélices convencionales, CLT, waterjets, propulsores Voith-Schneider, azimutales, etc.). Paralelamente se trabajará en sistemas propulsivos no convencionales (propulsores biomiméticos (flexibles, rígido-flexibles), toroidales, etc.), además de sistemas propulsivos emergentes basados en supercavitación, magnetohidrodinámica (MHD), motores compactos, propulsión eléctrica distribuida u otros que permitan superar las limitaciones de velocidad y sigilo de la propulsión convencional, proporcionando mayor eficiencia operativa y una ventaja táctica decisiva en el entorno marítimo. Es parte del Objetivo “Nuevas formas de propulsión para plataformas tripuladas y sistemas no tripulados”.
6.2.2. Sistemas propulsivos en submarinos	Investigación y desarrollo orientada hacia configuraciones híbridas mejoradas que integren tecnologías AIP (*Air Indendent Propulsion*) con baterías de alta capacidad. El objetivo es aumentar la autonomía en inmersión, minimizando así las posibilidades de detección (firmas térmica y acústica) y ampliando el área de operación. Para ello, será necesario avanzar en tecnologías como las pilas de combustible de nueva generación, con reformadores más limpios y mayor rendimiento energético, así como en nuevas baterías, especialmente las de ion-litio, con el objeto de mejorar su densidad energética (mayor autonomía y velocidad), reducir los tiempos de carga, prolongar su vida útil y reducir sus necesidades de mantenimiento. Del mismo modo, la investigación en nuevos materiales y en sistemas avanzados de gestión térmica resulta esencial para garantizar la seguridad en el uso del litio y mitigar los riesgos de sobrecalentamiento o explosión en condiciones operativas extremas. A ello se suma la integración de sistemas híbridos con gestión inteligente de la energía, capaces de optimizar el consumo entre el AIP y las baterías en función del perfil de misión, asegurando así un uso más eficiente y flexible de los recursos disponibles. También serán de interés las baterías de estado sólido, los sistemas diésel-eléctricos optimizados o la propulsión basada en hidrógeno puro. Es parte del Objetivo “Nuevas formas de propulsión para plataformas tripuladas y sistemas no tripulados”.

6. PLATAFORMAS NAVALES	
6.2. CONTROL, ENERGÍA Y PROPULSIÓN NAVAL	
6.2.3. Sistemas de generación de energía en plataformas navales	Investigación y desarrollo de nuevas fuentes de generación y almacenamiento de energía eléctrica a bordo de los buques ante la creciente aparición de nuevos demandantes energéticos en buques militares como *railguns* electromagnéticos, armas de energía dirigida (DEW), sistemas electromagnéticos de lanzamiento en portaaviones, etc., los cuales requieren de una gran potencia en intervalos breves de tiempo. Será necesario avanzar en sistemas de almacenamiento temporal de energía, como baterías, supercondensadores o volantes de inercia, que permitan acumular y liberar la energía exigida de manera eficiente. Para mejorar la electrificación de los buques, resultará de especial interés avanzar sobre aspectos de una propulsión eléctrica integrada (IEP) basada en una arquitectura avanzada de propulsión naval, donde todos los generadores distribuidos de energía a bordo alimenten una red eléctrica común que suministre potencia tanto a motores propulsores como al resto de sistemas. Es parte del Objetivo “Nuevas formas de propulsión para plataformas tripuladas y sistemas no tripulados”.
6.2.4. Maniobrabilidad de plataformas navales	Investigación y desarrollo de tecnologías y sistemas de control destinados a mejorar la maniobrabilidad y el posicionamiento dinámico de las plataformas navales tripuladas y no tripuladas. Se contemplará el diseño e integración de hélices de proa, timones, servomotores, estabilizadores activos y otros sistemas de gobierno que permitan una navegación precisa y segura en entornos operativos complejos, maniobras restringidas o condiciones ambientales adversas. Estas capacidades resultan esenciales para incrementar la eficacia táctica, facilitar el atraque, el fondeo y otras operaciones que requieren control preciso de la plataforma.

6. PLATAFORMAS NAVALES	
6.3. SISTEMAS INTEGRADOS EN PLATAFORMAS NAVALES	
6.3.1. Evolución de los sistemas de combate de las plataformas navales	Investigación y desarrollo de nuevas arquitecturas y funcionalidades para los sistemas de combate de las plataformas navales, con el fin de facilitar su adaptación a la creciente variedad y sofisticación de las amenazas, así como la aparición de nuevos sistemas de armas (armas de energía dirigida, armas láser, munición a bordo de plataformas no tripuladas), al incremento del volumen de datos a procesar y a la necesidad de reducir los ciclos de decisión y respuesta en tiempo real. Se mantendrá el enfoque de sistema de sistemas, garantizando la escalabilidad, la integración fluida de nuevos sensores y armas, la interoperabilidad entre sistemas nacionales, así como con sistemas de países aliados, y el cumplimiento de los requisitos de seguridad y ciberprotección.
6.3.2. Buque digital	Investigación y desarrollo de soluciones para la automatización, sensorización avanzada y digitalización integral de plataformas navales, sobre la base de una arquitectura digital compartida, conjunta y estandarizada a nivel europeo. Se abordará el despliegue de gemelos digitales, la estandarización de los datos generados a bordo y la integración de inteligencia artificial para la interpretación de información operativa y el apoyo a la toma de decisiones en tiempo real. Asimismo, se investigarán tecnologías de navegación autónoma y posicionamiento robusto en ausencia de GNSS, como elemento clave para reforzar la resiliencia operativa y la continuidad funcional del sistema digital del buque. La evolución hacia buques altamente digitalizados exigirá priorizar la ciberseguridad, desarrollando protocolos de comunicación seguros, sistemas de detección de intrusiones y mecanismos de protección activa. Esta digitalización incluirá también al factor humano, mediante sistemas de localización del personal y monitorización fisiológica para anticipar situaciones de fatiga, estrés o riesgo operativo.
6.3.3. Integración de vehículos no tripulados en plataformas de superficie	Investigación y desarrollo de soluciones para la integración física y funcional de vehículos no tripulados en buques nodriza, incluyendo tanto la disposición a bordo (almacenaje, lanzamiento y recuperación) como su control e interoperabilidad operativa. Se abordará el diseño de espacios, sistemas de manipulación y logística de apoyo, así como la integración de los UxV en los sistemas de mando y control de la plataforma, garantizando su incorporación al Sistema de Combate de la Armada. Esta integración permitirá una gestión centralizada de las misiones, un intercambio seguro y eficiente de información táctica, y la coordinación fluida con otras plataformas, tripuladas y no tripuladas. Es parte del Objetivo “Vehículos submarinos y de superficie no tripulados para misiones de defensa”.

6. PLATAFORMAS NAVALES	
6.4. VEHÍCULOS MARINOS NO TRIPULADOS	
6.4.1. Vehículos submarinos no tripulados	Investigación y desarrollo de vehículos submarinos no tripulados (ROV, AUV, *gliders* y UL-UUV) diseñados para operar en entornos complejos, de gran profundidad y sin comunicaciones persistentes, en misiones de larga duración y elevado riesgo. Estos sistemas deberán adaptarse a distintos perfiles operativos, como operaciones de inteligencia acústica (ACINT), guerra antisubmarina (ASW), vigilancia del fondo marino, evaluación ambiental rápida (REA) o apoyo a operaciones especiales, incluyendo funciones de intervención y despliegue silencioso. Se investigarán tecnologías clave como materiales resistentes a altas presiones, propulsión eficiente y precisa, navegación combinada inercial-acústica, brazos robóticos de intervención y modularidad funcional. Se potenciará el uso de inteligencia artificial embarcada para la toma de decisiones autónomas, la replanificación dinámica de misiones y el reconocimiento automático de objetivos submarinos. Asimismo, se avanzará en mejoras en densidad energética y comunicaciones submarinas para permitir operaciones persistentes sin necesidad de intervención directa. Es parte del Objetivo "Vehículos submarinos y de superficie no tripulados para misiones de defensa".
6.4.2. Vehículos de superficie no tripulados	Desarrollo de vehículos de superficie no tripulados (USV) para operar de forma autónoma en entornos marítimos complejos, tanto litorales como de alta mar, en misiones de vigilancia, reconocimiento, guerra de minas, apoyo anfibio y protección de infraestructuras críticas. Los sistemas deberán ofrecer alta autonomía, resiliencia e integración en redes C4ISR, incluso en escenarios con comunicaciones degradadas o sin GNSS. Se priorizarán tecnologías como navegación autónoma segura conforme a COLREG, evasión de obstáculos, fusión multisensor (radar, EO/IR, LIDAR, sonar, inerciales), ayuda a la decisión en tiempo real e IA explicable para gestión de misión y cooperación entre plataformas. Asimismo, se impulsarán comunicaciones seguras y resilientes, propulsión híbrida o eléctrica de baja firma y gestión energética avanzada para operaciones prolongadas. Se fomentará la arquitectura modular de cargas útiles y la estandarización de interfaces para adaptar distintos perfiles de misión. Se trabajará en la integración de armamento modular, sistemas C2, IA y sensores avanzados para identificación y seguimiento de blancos, así como en la interoperabilidad entre plataformas nacionales y aliadas. Es parte del Objetivo "Vehículos submarinos y de superficie no tripulados para misiones de defensa".

6. PLATAFORMAS NAVALES	
6.4. VEHÍCULOS MARINOS NO TRIPULADOS	
6.4.3. Enjambres de vehículos navales no tripulados y barcos nodriza	Investigación y desarrollo de tecnologías robustas de control y coordinación para operar enjambres de vehículos de superficie y submarinos no tripulados (USV y UUV) conectados en red, capaces de actuar de forma cooperativa y autónoma en la ejecución de misiones navales. Se impulsará el uso de inteligencia artificial embarcada para dotar a los enjambres de capacidad de adaptación al entorno, reparto dinámico de tareas, toma de decisiones descentralizada y replanificación de misión en tiempo real. Se contemplará su funcionamiento colaborativo tanto entre ellos como con sistemas de otros dominios (tierra, mar o aire), favoreciendo la integración multidominio en operaciones distribuidas. Las comunicaciones deberán garantizar el intercambio seguro, continuo y resiliente de datos entre plataformas, incluso en entornos GNSS-denegados o bajo amenaza electrónica. Asimismo, se promoverá el desarrollo e incorporación de plataformas navales nodriza no tripuladas (*mothership*) que actúen como centros de mando, lanzamiento, recuperación y apoyo logístico de los vehículos no tripulados, permitiendo extender su alcance operativo, mantener su sostenimiento en el mar y asegurar la interoperabilidad con el resto de fuerzas navales. Estas plataformas deberán disponer de arquitecturas abiertas, módulos de misión reconfigurables y sistemas avanzados de gestión y comunicaciones, facilitando la integración eficiente de enjambres heterogéneos en escenarios de operaciones complejas. Es parte del Objetivo “Vehículos submarinos y de superficie no tripulados para misiones de defensa”.

7. PLATAFORMAS AÉREAS	
7.1. DISEÑO DE PLATAFORMAS AÉREAS	
7.1.1. Desarrollo de plataformas aéreas tripuladas de ala fija	Investigación y desarrollo en el diseño de plataformas tripuladas de nueva generación, tanto de transporte como de combate. Se contemplan actuaciones para madurar y definir nuevos conceptos de operación (combate colaborativo, entrega de precisión, transporte de cargas extra grandes, etc.); actuaciones para definir y desarrollar diseños que reduzcan la huella de la plataforma, especialmente la electromagnética, diseños con aeroestructuras y blindajes más ligeros y eficientes, y arquitecturas más flexibles que permitan la integración de equipamiento intercambiable para lograr configuraciones multimisión, así como actuaciones de definición y diseño de arquitecturas que faciliten la integración de tecnologías de digitalización, gestión de la información, autonomía e inteligencia artificial con el fin de dotar a las nuevas aeronaves de las capacidades requeridas para dar respuesta a las futuras necesidades de las FAS (integración en la nube de combate, conciencia situacional mejorada, aterrizajes y despegues automáticos, etc.). Se contemplan también actuaciones encaminadas a mejorar el ciclo de vida de las plataformas a través del desarrollo e innovación en los sistemas de monitorización del estado de la aeronave.
7.1.2. Desarrollo de plataformas aéreas tripuladas de ala rotatoria	Investigación y desarrollo en todos los ámbitos que contribuyen a la evolución de las plataformas tripuladas de ala rotatoria de nueva generación. Se contemplan actuaciones para madurar y definir diseños innovadores que mantengan la capacidad VTOL (aterrizaje y despegue vertical) de los helicópteros, a la vez que mejoran sus características para alcanzar soluciones de alta velocidad, largo alcance y gran altitud; sin dejar de lado las actuaciones encaminadas a mejorar las prestaciones y capacidades de las plataformas actuales. Se promoverá el desarrollo de soluciones multipropósito con aeroestructuras más eficientes y arquitecturas modulares; junto con la mejora de la conectividad, la autoprotección, la supervivencia y capacidad de ataque, la autonomía, la disponibilidad y la sostenibilidad; con el fin de que las plataformas de ala rotatoria de nueva generación mantengan su preponderancia en las operaciones multidominio (reconocimiento armado, ataque, asalto aéreo, apoyo aéreo cercano, SAR de combate, etc.).

7. PLATAFORMAS AÉREAS	
7.1. DISEÑO DE PLATAFORMAS AÉREAS	
7.1.3. Desarrollo de vehículos para vuelo hipersónico	Investigación y avance en el conocimiento del vuelo hipersónico (velocidades superiores a Mach5), desde la definición del concepto de operación de los vehículos, tanto ofensivos como defensivos, hasta la identificación de las tecnologías necesarias que posibiliten el diseño de dichos vehículos. Se contempla el estudio de las condiciones de aeroelasticidad y propagación e impacto de ondas de choques a velocidades hipersónicas durante el vuelo; así como la caracterización termodinámica en condiciones de formación de plasma e ionización del aire alrededor del vehículo. Se contemplan también actuaciones de identificación de requisitos mecánicos, termodinámicos, electromagnéticos, de resistencia y vibraciones, y de fatiga; tanto para elementos estructurales como recubrimientos, superficies de control y actuadores, sistemas de despegue y aterrizaje; y subsistemas eléctricos y electrónicos. A su vez se contempla la identificación de requisitos de ensayo y fabricación para los elementos anteriores; así como el análisis de los requisitos de habitabilidad. Es parte del Objetivo “Tecnologías para vehículos hipersónicos”.

7. PLATAFORMAS AÉREAS	
7.2. ENERGÍA Y PROPULSIÓN	
7.2.1. Sistemas de energía y propulsión de las plataformas aéreas	Actuaciones de apoyo al diseño de nuevos sistemas propulsivos y mejora de los actuales, tanto de plataformas tripuladas como no tripuladas. Estos sistemas propulsivos estarán adecuados en tamaño, complejidad y rendimiento, al tipo de aeronave para el que se desarrollen; garantizando en cualquier caso que la plataforma alcanza las prestaciones requeridas para el tipo de misión de defensa que corresponda. Se prestará especial atención a los sistemas propulsivos de las plataformas no tripuladas de menor tamaño (clase I) con el fin de capacitarlas para las múltiples misiones que se requieran, contemplando para ello actuaciones en todo tipo de motores (combustión, eléctricos, híbridos…). Se contemplan actuaciones de diseño de la arquitectura y subsistemas de la planta propulsora, actuaciones encaminadas a la disminución de la huella térmica y acústica, actuaciones de desarrollo de las tecnologías necesarias para el empleo de combustibles alternativos; y aquellas que optimicen el rendimiento y la eficiencia energética de las plataformas aéreas, ya sea contribuyendo al desarrollo de las tecnologías de producción y almacenamiento de energía, como impulsando el desarrollo de los sistemas de gestión energética. Es parte del Objetivo “Nuevas formas de propulsión para plataformas tripuladas y sistemas no tripulados”.
7.2.2. Propulsión para régimen hipersónico	Investigación y desarrollo de sistemas de propulsión capaces de operar de forma sostenida en régimen hipersónico (Mach 5+), incluyendo conceptos propulsivos del tipo *scramjet,* combinados (turborreactor + *ramjet/scramjet*) u otros. Se abordarán aspectos como la ignición a alta velocidad, combustión supersónica, geometrías adaptativas y el uso de combustibles energéticos avanzados. Se contempla también el desarrollo de instalaciones que operen en régimen hipersónico. Es parte del Objetivo “Tecnologías para vehículos hipersónicos”.

7. PLATAFORMAS AÉREAS	
7.3. SISTEMAS INTEGRADOS EN PLATAFORMAS AÉREAS	
7.3.1. Sistemas de aviónica aérea	Desarrollo de tecnologías relevantes para la aviónica de las plataformas aéreas tanto tripuladas a bordo como tripuladas en remoto, que permitan dotarlas de funcionalidades más autónomas, optimizando la carga de trabajo del componente humano. Se contemplan actuaciones de diseño y desarrollo de todos los subsistemas de la aeronave siguiendo el concepto de aviónica modular e integral (comunicaciones, guiado y control, navegación, sensores pasivos y activos, etc.). Se pretende alcanzar mayor grado de digitalización y procesamiento abordo, con el fin de optimizar la información a disposición del piloto, y con interfaces hombre – máquina que permitan un control más eficiente, mejoren la conciencia situacional y colaboren en la toma de decisión. Se contemplan especialmente las actuaciones para definir y madurar la arquitectura de sistemas en las plataformas remotamente tripuladas con el fin de alcanzar mayor grado de autonomía. Es parte del objetivo “UAS para misiones de defensa”.
7.3.2. Sistemas de misión	Desarrollo de las tecnologías necesarias para mejorar la capacidad de realizar y cumplir las misiones por parte de los sistemas aéreos tanto tripulados a bordo como tripulados en remoto. Se contemplan actuaciones para evolucionar los sistemas de misión actuales con el fin de alcanzar soluciones que integren equipamientos actualmente independientes, aligerando la aviónica y optimizando los procesos a bordo. Soluciones de posicionamiento y navegación robustas que permitan ejecutar la misión con un alto grado de autonomía respecto de ayudas externas (señales GNSS o cualquier otro tipo de ayuda a la navegación)Mejora en la gestión de las cargas de pago para lograr mayor conciencia situacional en apoyo de la toma de decisión; de manera que se ejecute la misión de forma más eficiente y en el caso de los sistemas remotamente tripulados, se mejoren sus capacidades para llevar a cabo las misiones de defensa actualmente previstas (información, vigilancia, reconocimiento y adquisición de objetivos). También se contemplan actuaciones de definición y desarrollo del concepto MUM-T (*manned unmanned teaming*) para capacitar, tanto a los UAS como a las aeronaves tripuladas, para la ejecución de misiones en colaboración tales como el combate, el apoyo aéreo o el apoyo logístico, entre otras. Es parte del objetivo “UAS para misiones de defensa”.

7. PLATAFORMAS AÉREAS	
7.3. SISTEMAS INTEGRADOS EN PLATAFORMAS AÉREAS	
7.3.3. Sistemas de armas en plataformas aéreas	Investigación y desarrollo de tecnologías para la mejora de la integración de los sistemas de armas, así como el aumento del grado de interoperabilidad del armamento entre los diferentes tipos de plataformas aéreas. Se contemplan actuaciones para la mejora de la integración tanto física como lógica de los sensores y efectores necesarios para dar respuesta a la creciente variedad de amenazas, incluyendo armamento de nueva generación. Se persigue aumentar el grado de automatización de todo el proceso (detección, seguimiento y adquisición de objetivos) con el fin de facilitar la integración del sistema de armas en el sistema de misión de la aeronave, y así reducir el tiempo de respuesta. Se contemplan especialmente las actuaciones para definir y madurar la arquitectura y funcionalidad de los sistemas de armas para plataformas aéreas remotamente tripuladas con el fin de aumentar las capacidades de este tipo de aeronaves. Es parte del objetivo “UAS para misiones de defensa”.
7.3.4. Soluciones de reabastecimiento en vuelo de aeronaves militares	Actuaciones encaminadas a la optimización, en términos de eficiencia y autonomía, de las operaciones de reabastecimiento en vuelo, ya que se trata del mecanismo fundamental para hacer posible las operaciones aéreas de larga duración o a largas distancias, tanto de plataformas de ala fija como de ala rotatoria, tripuladas o no; manteniendo la capacidad para llevar a cabo sus misiones. Se contemplan actuaciones que permitan la mejora e innovación en los equipamientos de despliegue de los subsistemas de abastecimiento, tanto para la operación con pértiga como la operación con cesta y manguera. También se contemplan actuaciones de desarrollo de los subsistemas de control y monitorización de la operación de reabastecimiento, con el fin de aumentar el grado de automatización de dicha operación. Se persigue alcanzar, de forma progresiva, operaciones de repostaje en vuelo completamente autónomas, incluso incluyendo la maniobra de aproximación entre la aeronave tanquera y la aeronave a la que va a abastecer.
7.3.5. Integración de UAS en el espacio aéreo	Actuaciones encaminadas a la capacitación de los sistemas aéreos no tripulados para su plena integración en el espacio aéreo, dando cumplimiento tanto a los requisitos de la normativa militar EMAR o PERAM como a los requisitos EASA de aeronavegabilidad, y a los requisitos SES (*Single European Sky*) que correspondan, incluyendo aspectos de interoperabilidad y FUA (*Flexible Use of Airspace*). Se contemplarán aquellos desarrollos de soluciones tecnológicas que contribuyan a la certificación de los UAS y los capaciten para operar tanto en escenarios de operaciones como en el espacio aéreo civil.

7. PLATAFORMAS AÉREAS	
7.4. UAS	
7.4.1. Sistemas aéreos no tripulados	Continuar con la investigación y el desarrollo en todos los ámbitos que contribuyan a la consecución de sistemas aéreos no tripulados de Clase I mejorados; así como contribuir tanto a nivel nacional como en cooperación con otros países, al desarrollo de sistemas Clase II/III. Se contemplan actuaciones encaminadas a definir y desarrollar nuevos diseños de UAS que contribuyan al cumplimiento satisfactorio de las misiones ISR/ISTAR para los que está establecido su uso actualmente; así como para alcanzar las prestaciones necesarias (velocidad, techo de vuelo, autonomía, conectividad, percepción/navegación autónoma, etc.), que permitan a los UAS cumplir con potenciales nuevas misiones. Dichas actuaciones abarcarán nuevos diseños que incrementen la capacidad VTOL, aeroestructuras más eficientes, arquitecturas más flexibles, adaptación a nuevos sistemas propulsivos, etc. Es parte del Objetivo “UAS para misiones de defensa”.
7.4.2. Sistemas aéreos multipropósito no tripulados	Actuaciones encaminadas a la investigación y desarrollo de sistemas no tripulados multipropósito, con el fin de obtener un sistema con diversas capacidades (vigilancia, reconocimiento, carga de pago de guerra, etc.) que permita su empleo en múltiples misiones tales como, apoyo a la toma de decisión, obtención de inteligencia pre y post ataque, inteligencia de señales, adquisición de objetivos, incluso ataque cinético del propio sistema. Para ello se contemplarán actuaciones que abarquen desde la definición del concepto de operación, la arquitectura del sistema y el diseño de la plataforma, basado en la modularidad (incluso con partes móviles); hasta los sistemas de misión y comunicaciones y la integración de cargas de pago intercambiables. Se promoverán también todas las actuaciones encaminadas a la mejora de los subsistemas que permitan dotar al UAS de las prestaciones necesarias en términos de maniobrabilidad, altas velocidades, largo alcance, etc.; así como todas aquellas actuaciones que ahonden en el estudio de la viabilidad y definición de las compatibilidades, restricciones e interferencias entre subsistemas y/o cargas de pago, y requisitos de interoperabilidad; con el fin de contribuir a la definición de los casos de uso de los UAS multipropósito. Es parte del objetivo “UAS para misiones de defensa”.

7. PLATAFORMAS AÉREAS	
7.4. UAS	
7.4.3. Sistemas aéreos logísticos no tripulados	Actuaciones encaminadas a la investigación y desarrollo de sistemas aéreos no tripulados para transporte de mercancías, con el fin de obtener soluciones que dispongan de las prestaciones y capacidades necesarias para su empleo en diversas misiones de apoyo logístico tales como suministro en zona de operaciones, distribución de material en bases y acuartelamientos, etc. Para ello se contemplarán actuaciones que permitan definir y madurar los conceptos de operación, la definición del tamaño y la arquitectura del sistema, el diseño de la plataforma, los sistemas de misión y comunicaciones, las necesidades de propulsión y energéticas, el grado de automatización/autonomía; así como también todas aquellas actuaciones necesarias para el desarrollo del equipamiento y los subsistemas de los UAS, en función de su tamaño, asociados al almacenaje, transporte, recogida y entrega. Es parte del objetivo “UAS para misiones de defensa”.
7.4.4. Enjambres de sistemas aéreos no tripulados	Desarrollo de soluciones de misión que permitan el control de múltiples plataformas aéreas no tripuladas de forma simultánea como un único sistema. Se contemplan actuaciones que permitan definir y madurar conceptos de operación de sistemas de enjambres, así como el diseño de la arquitectura del sistema. Las soluciones deberán ser modulares y agnósticas a las plataformas y permitirán, bien mediante una red de inteligencia distribuida bien mediante una red centralizada, mantener al mando de la misión al elemento humano, pero liberándolo del control individual de cada vehículo; de manera que el movimiento coordinado y colaborativo de las plataformas sea autónomo y dinámico. Se contemplan también actuaciones de investigación y desarrollo de los sistemas de despliegue del enjambre, para que puedan integrarse tanto en sistemas terrestres, como aéreos o marítimos; abarcando todos los aspectos necesarios para dicho despliegue, desde el almacenaje y transporte seguro del enjambre, hasta el lanzamiento y recuperación, infraestructura de comunicaciones, integración en el sistema de mando y control del sistema matriz, etc. Es parte del objetivo “UAS para misiones de defensa”.

8. SISTEMAS ESPACIALES	
8.1. CONOCIMIENTO DEL DOMINIO ESPACIAL (SDA)	
8.1.1. Soluciones tecnológicas en apoyo al Conocimiento del Dominio Espacial (SDA)	Desarrollo y mejora de capacidades tecnológicas orientadas a la vigilancia y el seguimiento del entorno espacial, abarcando tanto el segmento terrestre (radares, telescopios, sensores ópticos y otros sistemas dedicados a la observación de satélites, objetos y fenómenos espaciales), como el segmento espacial (cargas de pago embarcadas). Estas capacidades permitirán la detección, identificación y caracterización de objetos en el espacio, incluyendo basura espacial, cuerpos celestes naturales (como meteoritos y asteroides), satélites propios o de terceros y fenómenos adversos de meteorología espacial, mediante el análisis de parámetros como tamaño, forma, comportamiento orbital, maniobras y patrones de actividad. El objetivo es reforzar la conciencia situacional espacial, mejorar la detección de anomalías, anticipar posibles colisiones y mitigar riesgos asociados a acciones hostiles o inusuales en el dominio espacial. Es parte del Objetivo “Soluciones innovadoras para defensa en el ámbito espacial”.
8.1.2. Sistemas para la gestión espacial (STM)	Desarrollo y evolución de sistemas avanzados de gestión del tráfico espacial (STM), orientados a ejercer funciones de mando y control sobre un entorno orbital cada vez más congestionado, como consecuencia del creciente número de satélites en órbita y de operadores. Estas capacidades deberán permitir una gestión segura, eficiente y coordinada del tráfico espacial, facilitando la predicción y prevención de colisiones, la planificación de trayectorias orbitales y la resolución de conflictos en tiempo real. Asimismo, se fomentará la interoperabilidad con los sistemas de gestión del tráfico aéreo (ATM), con vistas a una futura integración de ambos entornos bajo marcos regulatorios y operativos comunes. El desarrollo de estos sistemas contribuirá a reforzar la seguridad espacial, garantizar la sostenibilidad del entorno orbital y proteger los intereses nacionales y europeos en el dominio espacial.

8. SISTEMAS ESPACIALES	
8.2. COMUNICACIONES SATCOM	
8.2.1. Tecnologías satelitales para comunicaciones por satélite (SATCOM)	Desarrollo de cargas de pago para transmisión de voz y datos, optimizadas para su integración en plataformas de pequeño tamaño en órbitas medias (MEO), bajas (LEO) e incluso muy bajas (VLEO) con el fin de complementar e interoperar con los actuales sistemas en órbita geoestacionaria (GEO), como los satélites SPAINSAT NG o las futuras capacidades multiórbita a nivel europeo (p. ej., IRIS2). Estas capacidades deberán garantizar comunicaciones seguras, de alta velocidad y resilientes frente a interferencias, *jamming* o *spoofing*, contribuyendo a reforzar la soberanía y autonomía estratégica en el ámbito de las SATCOM. Se promoverá, asimismo, el desarrollo de plataformas satelitales y cargas de pago orientadas a habilitar el concepto de burbuja de comunicaciones tácticas, integrando tecnologías emergentes como 5G para entornos operativos distribuidos o por ejemplo tecnologías cuánticas y/o postcuánticas. Igualmente, se contempla la evolución del segmento terreno, permitiendo su adaptación para la operación eficiente y flexible de constelaciones en MEO/LEO/VLEO, así como para la gestión dinámica de la conmutación de tráfico de voz y datos entre sistemas en diferentes órbitas, asegurando la continuidad y robustez de las comunicaciones militares en escenarios complejos. Es parte del Objetivo “Soluciones innovadoras para defensa en el ámbito espacial”.
8.2.2. Terminales SATCOM de usuario	Desarrollo y optimización de terminales de usuario para comunicaciones por satélite (SATCOM), adaptados a las capacidades y requisitos operativos de las nuevas constelaciones de pequeños satélites en órbitas MEO, LEO y VLEO, con capacidad para gestionar eficazmente la transmisión de voz y datos en tiempo real. Estos terminales deberán ser plenamente interoperables con los sistemas existentes en órbita geoestacionaria (GEO), como los satélites SPAINSAT NG, facilitando la transición fluida entre distintos segmentos orbitales y garantizando comunicaciones continuas, seguras y resistentes a interferencias en todo el espectro operativo. Se contempla el desarrollo de una amplia gama de terminales, incluyendo aquellos embarcados en plataformas móviles de defensa (terrestres, aéreas y navales), así como versiones semiestáticas, portátiles y tipo *manpack*, adaptables a distintos escenarios tácticos y niveles de despliegue. El objetivo es proporcionar a las fuerzas desplegadas una capacidad SATCOM robusta, flexible y fácilmente integrable en redes de mando y control multientorno.

8. SISTEMAS ESPACIALES	
8.3. INTELIGENCIA, VIGILANCIA Y RECONOCIMIENTO (ISR)	
8.3.1. Carga útil para ISR	Desarrollo y perfeccionamiento de tecnologías embarcadas en satélites de Observación de la Tierra, orientadas a la obtención de capacidades avanzadas de inteligencia, vigilancia y reconocimiento (ISR), tanto desde órbitas bajas (LEO) como geoestacionarias (GEO). Se priorizará el desarrollo de cargas útiles ópticas y de radar de alta resolución, incluyendo sensores de imagen de reconocimiento multiespectral, infrarrojo medio (IRM), infrarrojo lejano (IRL)y radares de apertura sintética (SAR), en el marco del segmento espacial del Sistema Español de Observación por Satélite (SEOT). Asimismo, se fomentará la integración de capacidades SIGINT (inteligencia de señales) embarcadas, que permitan la interceptación, localización y análisis de emisiones electromagnéticas en el entorno operativo. Es parte del Objetivo “Soluciones innovadoras para defensa en el ámbito espacial”.
8.3.2. Explotación de datos para ISR	Desarrollo y mejora del segmento terreno de los sistemas de Observación de la Tierra, orientado a la recepción, procesamiento, fusión e interpretación avanzada de datos provenientes de sensores ópticos, incluidos los de reconocimiento multiespectral, infrarrojo medio (IRM), infrarrojo lejano (IRL), y radares de apertura sintética (SAR), embarcados en satélites en órbitas LEO, MEO y VLEO. Se fomentará la integración de datos multisensor para aumentar la riqueza informativa, mejorar la continuidad temporal de las observaciones y ampliar las capacidades de detección, identificación y monitorización. Asimismo, se prevé la evolución del segmento terreno para permitir el control y seguimiento avanzado de satélites en órbitas no geoestacionarias, incluyendo capacidades de mando y planificación de misiones en tiempo cuasi real, como elemento clave para una arquitectura ISR robusta, flexible y orientada a la toma de decisiones operativas en escenarios dinámicos.

8. SISTEMAS ESPACIALES	
8.4. CAPACIDADES GNSS	
8.4.1. Capacidades GNSS en órbitas LEO/VLEO	Desarrollo de capacidades de navegación global por satélite integradas en pequeños satélites en órbitas bajas (LEO) y muy bajas (VLEO), con el objetivo de aprovechar las ventajas operativas que ofrecen estas plataformas en términos de latencia, cobertura regional mejorada y resiliencia frente a interferencias. Estas capacidades permitirán complementar y coordinarse con los sistemas GNSS tradicionales en órbitas medias (MEO), reforzando la robustez, disponibilidad y precisión de los servicios de posicionamiento, navegación y sincronización (PNT), esenciales para operaciones militares en entornos exigentes y contestados. Se priorizará la interoperabilidad entre el sistema GNSS europeo (Galileo) y los de países aliados, así como la capacidad de integración en arquitecturas distribuidas de navegación segura, contribuyendo a la autonomía estratégica y a la protección de capacidades críticas en el dominio espacial. Es parte del Objetivo “Soluciones innovadoras para defensa en el ámbito espacial”.
8.4.2. Receptores GNSS de altas prestaciones	Desarrollo de receptores avanzados de sistemas de navegación por satélite (GNSS), diseñados para proporcionar capacidades de geolocalización y radionavegación altamente fiables, precisas y robustas en entornos tácticos exigentes con cobertura satelital. Se contempla su integración en una amplia variedad de plataformas, tripuladas y no tripuladas, terrestres, navales y aéreas, así como en armamento inteligente y equipos portátiles para el combatiente. Los receptores deberán ser multiconstelación, incorporar sistemas de aumentación de señal (SBAS, como EGNOS) y estar preparados para operar con el servicio público regulado (PRS) de Galileo destinado a aplicaciones gubernamentales y de defensa. Se priorizarán características avanzadas de resiliencia frente a interferencias, incluyendo capacidades *anti-jamming, anti-spoofing* y *anti-meaconing*, así como mecanismos de autenticación robusta, garantizando la continuidad y fiabilidad del posicionamiento incluso en entornos altamente contestados. Es parte del Objetivo “Tecnologías para PNT robusto”.

8. SISTEMAS ESPACIALES	
8.5. OTRAS APLICACIONES ESPACIALES PARA DEFENSA	
8.5.1. Capacidades espaciales de alerta temprana	Desarrollo de soluciones tecnológicas para cargas útiles embarcadas en satélites y sensores integrados en el segmento tierra, orientados a la detección y seguimiento de firmas térmicas asociadas al lanzamiento de misiles balísticos, hipersónicos y otros vectores espaciales. Estas capacidades permitirán la localización temprana del evento, el seguimiento preciso de la trayectoria y la caracterización de amenazas en tiempo casi real. El objetivo es proporcionar una capacidad autónoma y fiable de alerta temprana desde el espacio, que refuerce la conciencia situacional del dominio espacial y habilite una respuesta oportuna mediante la activación de sistemas de defensa antimisil y la toma de decisiones estratégicas a nivel nacional o multinacional. Es parte del Objetivo "Soluciones innovadoras para defensa en el ámbito espacial".
8.5.2. Capacidades METOC en órbitas LEO	Desarrollo e implementación de capacidades meteorológicas y oceanográficas (METOC) embarcadas como cargas útiles en pequeños satélites en órbitas bajas (LEO) y muy bajas (VLEO), orientadas a proporcionar datos ambientales en apoyo directo a las operaciones de las FAS. Estas capacidades se alinearán con el concepto de *Rapid Environmental Assessment* (REA), facilitando evaluaciones rápidas y actualizadas de las condiciones atmosféricas, marítimas y terrestres en áreas de interés operativo. Su objetivo es reforzar la toma de decisiones tácticas y estratégicas mediante una conciencia ambiental continua y fiable. La información obtenida será complementaria a la proporcionada por organismos civiles, e integrada en los procesos de gestión de la información para mejorar la eficiencia del ciclo de inteligencia ambiental. Es parte del Objetivo "Soluciones innovadoras para defensa en el ámbito espacial".
8.5.3. Mantenimiento de satélites en órbita	Desarrollo de plataformas autónomas de servicios orbitales equipadas con subsistemas robóticos, de visión y reconocimiento, diseñados para ejecutar operaciones de abastecimiento de combustible *in-situ*, reconfiguración modular y reparación de fallos críticos en satélites no diseñados originalmente para mantenimiento. Se contempla el uso de interfaces estandarizados y algoritmos de IA para el diagnóstico predictivo de anomalías, así como para la planificación de maniobras en entornos no cooperativos. Además, se espera contar con arquitecturas reconfigurables que permitirán el ensamblaje de estructuras orbitales más grandes, como antenas y paneles solares, mediante kits de componentes modulares. Esta capacidad impulsará la creación de una infraestructura orbital automantenida, reduciendo la necesidad de lanzamientos de satélites de reemplazo y mitigando los riesgos de colisiones a través del *deorbiting* activo de satélites inoperativos y basura espacial.

8. SISTEMAS ESPACIALES	
8.6. SOLUCIONES HABILITADORAS Y DE RESPUESTA RÁPIDA EN EL DOMINIO ESPACIAL	
8.6.1. Dispositivos y sistemas que componen la estructura de un satélite	Desarrollo y optimización de la arquitectura de referencia y los subsistemas que integran un satélite, independientemente del tipo de carga útil, adaptados a los requisitos específicos de las operaciones de defensa. Esto incluye la mejora de los paneles solares, la miniaturización de componentes, el uso de materiales especialmente diseñados para soportar el entorno espacial, y la optimización de los sistemas de potencia. Se priorizarán avances en los algoritmos de procesamiento a bordo, así como en las capacidades de *edge computing*, que permitan reducir el ancho de banda necesario para la comunicación con el segmento terrestre y realizar un preprocesamiento eficiente de la información. Además, se integrarán capacidades de reconfiguración de la carga útil, lo que permitirá su adaptación dinámica a distintas misiones según las necesidades operativas.
8.6.2. Protección defensiva frente a amenazas ASAT	Desarrollo de soluciones tecnológicas para la protección defensiva contra amenazas ASAT (*Anti-Satellite Activities*), que permitan garantizar la seguridad y libertad de operación en el dominio espacial. Estas soluciones incluirán sistemas de detección temprana y seguimiento de actividades hostiles, así como capacidades de neutralización electrónica que interrumpen o engañan los sistemas de control y comunicación de los satélites. Además, se contemplan medidas de protección pasiva diseñadas para endurecer los sistemas contra amenazas sin recurrir a contramedidas activas. Estas incluyen blindaje contra radiación y diseños redundantes con componentes duplicados, garantizando la operatividad del satélite ante posibles fallos de sistemas críticos, así como medidas de ciberseguridad que aseguren la confidencialidad y seguridad de las comunicaciones. Adicionalmente, se incluyen estrategias de elusividad operativa o el empleo de materiales absorbentes de radar para minimizar su firma electromagnética.

8. SISTEMAS ESPACIALES	
8.6. SOLUCIONES HABILITADORAS Y DE RESPUESTA RÁPIDA EN EL DOMINIO ESPACIAL	
8.6.3. Pequeños satélites	Desarrollo de pequeños satélites específicamente diseñados para misiones de defensa, tanto de forma individual como integrados en constelaciones, arquitecturas distribuidas o enjambres cooperativos, optimizados para operar sobre áreas geográficas concretas. Estas plataformas permiten reducir los costes y los tiempos de desarrollo y despliegue, incluyendo capacidades de industrialización, al tiempo que ofrecen mayor frecuencia de revisita, lo que incrementa la capacidad de vigilancia, monitorización y respuesta sobre una zona de interés. Además, aportan flexibilidad operativa y redundancia en entornos hostiles o degradados. Los pequeños satélites se conciben como capacidad complementaria a los grandes sistemas satelitales, integrándose en un ecosistema espacial resiliente y escalable al servicio de las necesidades de las FAS. Es parte del Objetivo "Soluciones innovadoras para defensa en el ámbito espacial".
8.6.4. Pseudo-satélites ubicados a elevada altitud	Desarrollo de plataformas estratosféricas de alta altitud (HAPS, *High Altitude Pseudo-Satellites*) orientadas a misiones de defensa, capaces de operar en la estratosfera durante largos periodos en zonas específicas, proporcionando capacidades persistentes de comunicaciones, observación y vigilancia en áreas de interés. Estas plataformas complementan a los satélites de órbita baja y media, ofreciendo respuesta rápida, cobertura localizada y mayor flexibilidad operativa, especialmente en entornos donde no se dispone de cobertura satelital o esta ha sido degradada. Su integración en operaciones permitirá reforzar las capacidades C4ISR, actuar como nodo de comunicaciones tácticas o facilitar el guiado de sistemas no tripulados y armas de precisión. Es parte del Objetivo "Soluciones innovadoras para defensa en el ámbito espacial".
8.6.5. Lanzadores de pequeños satélites	Desarrollo de soluciones tecnológicas para el lanzamiento ágil de pequeños satélites destinados a misiones de defensa, con el objetivo de acelerar los tiempos de despliegue y reducir costes operativos frente a los sistemas tradicionales. Se contemplan plataformas de lanzamiento versátiles, incluyendo cohetes propulsados por combustible sólido o líquido, así como lanzamientos aéreos desde aeronaves, sistemas aerotransportados como globos estratosféricos y lanzamiento marítimo desde plataformas móviles. Asimismo, se exploran configuraciones de multilanzamiento, aprovechando la reducción de tamaño y masa de las plataformas, para optimizar la carga útil y maximizar la eficiencia logística y económica del despliegue orbital. Es parte del Objetivo "Soluciones innovadoras para defensa en el ámbito espacial".

9. COMBATIENTE	
9.1. SISTEMA COMBATIENTE	
9.1.1. Sistemas de protección pasiva del combatiente	Desarrollo de tecnologías innovadoras competitivas, modulares y ergonómicas orientadas a incrementar la protección del soldado frente a proyectiles, fragmentos, cortes por arma blanca y otras amenazas, así como a minimizar el trauma causado por estos riesgos. Estas innovaciones constituirán la base para el diseño y la fabricación de sistemas y elementos de protección pasiva para el soldado, como chalecos antibalas, cascos y protecciones para extremidades, facilitando su posterior integración en el sistema del combatiente. Es parte del Objetivo "Materiales para aplicación en plataformas y combatiente".
9.1.2. Sistemas de reducción de firma del combatiente a través de materiales	Desarrollo de tecnologías destinadas a reducir la firma radar, infrarroja, visible, etc. del combatiente, favoreciendo su mimetización con el entorno y dificultando su detección por parte del potencial enemigo. Estos avances permitirán, además, garantizar que se mantengan niveles óptimos de movilidad y confort para el usuario. Es parte del Objetivo "Materiales para aplicación en plataformas y combatiente".
9.1.3. Sistemas de energía del combatiente	Desarrollo de una arquitectura común, con sus correspondientes interfaces y sistema de gestión inteligente, que permita incrementar la eficiencia energética de los subsistemas del combatiente a pie. Se contempla también la integración y validación de nuevos sistemas de almacenamiento y generación de energía que se adapten a los requisitos de misión del combatiente, tanto baterías de nueva generación como otras fuentes alternativas. Es parte del Objetivo "Tecnologías para el combatiente a pie".
9.1.4. Mejora del confort del combatiente	Desarrollo de soluciones innovadoras que mejoren el confort térmico del combatiente en todo tipo de condiciones medioambientales. Estas tecnologías estarán orientadas a regular la temperatura corporal en escenarios de calor y humedad extremos, así como en situaciones de frío intenso, con el fin de prevenir riesgos como golpes de calor o episodios de hipotermia. Estos avances no supondrán una merma significativa en las capacidades operativas, la movilidad ni el rendimiento del soldado durante el cumplimiento de sus misiones. Es parte del Objetivo "Tecnologías para el combatiente a pie".

9. COMBATIENTE	
9.1. SISTEMA COMBATIENTE	
9.1.5. Reducción de la carga del combatiente	Desarrollo de soluciones innovadoras como materiales ligeros, sistemas miniaturizados y dispositivos wearables integrados, orientadas a reducir la carga que el soldado transporta (armas, munición y equipos). Estas tecnologías buscan mejorar la movilidad y resistencia física, disminuyendo el cansancio y la fatiga que pueden derivar en lesiones y bajas operativas. Asimismo, se contempla el desarrollo de exoesqueletos activos y pasivos que asistan en la marcha, manipulación de cargas, transporte de equipamiento, desactivación de explosivos y manejo de armas, optimizando el rendimiento del combatiente. Es parte del Objetivo "Tecnologías para el combatiente a pie".
9.1.6. Sistema integrado del combatiente conectado	Desarrollo de arquitecturas modulares, escalables y seguras para el sistema del combatiente, concebido como un sistema de sistemas que integre comunicaciones, sensores, armamento, visualización aumentada y navegación autónoma. Se priorizará la interoperabilidad mediante arquitecturas abiertas y estándares, que permitan su integración en redes tácticas heterogéneas y su funcionamiento como nodo distribuido en misiones colaborativas. Se abordará la conectividad táctica en malla entre combatientes, con soluciones adaptativas, ciberseguras y resilientes frente a interferencias y *spoofing*, así como la compartición eficiente de datos y vídeo en tiempo real. También se incluirán tecnologías para garantizar la conciencia situacional: sensores portables, fusión de datos, visualización AR/VR, interacción con plataformas no tripuladas y algoritmos embebidos de análisis y filtrado, junto con capacidades de navegación autónoma en entornos GNSS-denegados integradas en el sistema personal de misión. Es parte del Objetivo "Tecnologías para el combatiente a pie".
9.1.7. Integración e interoperabilidad de armas individuales con el combatiente	Investigación y desarrollo de tecnologías para integrar armas individuales (rifles, pistolas, lanzagranadas) con el combatiente, mejorando la eficacia mediante dispositivos electromecánicos que optimicen funcionalidad, conciencia situacional e interoperabilidad con arquitecturas C2. El alcance incluye sistemas de puntería avanzados (ópticas digitales, visores AR con fusión de datos), interfaces hombre-máquina intuitivas, sensores para detección de amenazas y módulos de comunicación LPI/LPD para integración con redes tácticas. Los retos abarcan miniaturización, nuevos materiales para reducir tamaño, peso y consumo (SWaP), certificación de algoritmos de IA para priorización de blancos y resiliencia frente a contramedidas electrónicas en entornos GNSS-denegados. Es parte del Objetivo "Tecnologías para el combatiente a pie".

9. COMBATIENTE	
9.2. FACTORES HUMANOS	
9.2.1. Control y mejora del rendimiento del combatiente	Desarrollo de herramientas para monitorización y optimización de las capacidades físicas, psicológicas y cognitivas del combatiente: entrenamiento físico personalizado, evaluación y preparación psicológica, entrenamiento cognitivo, entrenamiento operativo mediante simulación, aprendizaje de aspectos socioculturales propios del teatro de operaciones, etc. Desarrollo de sistemas basados en sensores wearable de bajo coste energético, capaces de medir parámetros fisiológicos y enviar los datos en tiempo real para la monitorización del combatiente durante el entrenamiento y en operaciones reales, de modo que se pueda conocer su estado físico, psíquico y cognitivo en todo momento. Se incluye el desarrollo de neurotecnologías no invasivas orientado, tanto a la mejora de las funciones neuronales del usuario (atención, memoria, gestión del estrés, etc.) mediante entrenamiento del autocontrol de la actividad cerebral, como a la monitorización de la carga cognitiva para detectar situaciones de fatiga mental, prevenir errores, etc. Es parte del Objetivo “Tecnologías para el combatiente a pie”.
9.2.2. Interfaces hombre-máquina avanzados	Desarrollo de interfaces hombre-máquina que mejoren la conciencia situacional del combatiente y su habilidad para interactuar con los equipos y plataformas, que sean intuitivos, fáciles de usar y orientados a mitigar la sobrecarga de información. Se trata de obtener interfaces que permitan un control simplificado y eficiente, así como el aprendizaje con el uso, explorando nuevas tecnologías que faciliten la comunicación entre el humano y la máquina.
9.2.3. Interacción hombre-sistema no tripulado en misiones	Investigación y desarrollo de soluciones tecnológicas que faciliten el trabajo conjunto entre humanos y plataformas autónomas (o enjambres) como elementos integrantes de un equipo (*human-machine teaming*). Para ello, se debe avanzar en la integración de herramientas de inteligencia artificial explicable y confiable, que permitan una buena adaptación entre el sistema no tripulado y el operador. Asimismo, es necesario dotar a los robots de capacidades como conciencia situacional y toma de decisión, que les permitan comprender y ejecutar instrucciones complejas. El objetivo es lograr una interacción hombre-sistema no tripulado lo más eficiente posible, para una mayor introducción e implantación de estos sistemas en las misiones militares.
9.2.4. Integración de las personas en las plataformas	Investigación y desarrollo de soluciones que mejoren los aspectos físicos, fisiológicos y psicológicos relacionados con la integración de las personas en las diferentes plataformas de uso militar. Se incluyen aspectos como la ergonomía, la resistencia al mareo o a la desorientación, etc.

9. COMBATIENTE	
9.3. SALUD DEL COMBATIENTE	
9.3.1. Respuesta médica temprana	Herramientas y soluciones para atención médica táctica (TCCC), que permitan mitigar o reducir el impacto de lesiones graves producidas en zona de operaciones, como penetración de metralla, quemaduras o trauma derivado de explosiones, evitando las complicaciones asociadas a una espera prolongada (infección de heridas, hemorragias, necrosis, daño neurológico, etc.) antes de que el combatiente sea evacuado a una unidad de atención médica avanzada. Desarrollo de herramientas de entrenamiento que permitan a personal no especializado (no sanitario) llevar a cabo una actuación médica táctica efectiva. Se contemplan herramientas, tanto digitales basadas en realidad virtual, aumentada, etc., como de realidad física. Investigación y desarrollo de soluciones que permitan disponer de sangre, productos sanguíneos o portadores de oxígeno en el punto de lesión o puesto médico avanzado (role 2), como sistemas ligeros de transporte y almacenamiento refrigerado, productos que retrasen la caducidad o sangre sintética, productos sintéticos, etc., así como soluciones de producción y almacenamiento de oxígeno en role 2. Se incluye también el desarrollo de productos de terapia regenerativa, hemostáticos, etc.
9.3.2. Tecnologías de apoyo a la atención sanitaria en operaciones	Desarrollo de sistemas de apoyo al triaje médico en escenarios de bajas múltiples que combinen tecnologías de sensorización fisiológica y/o plataformas no tripuladas con algoritmos de inteligencia artificial para mejorar la toma de decisión informada y agilizar los procesos de triaje y evacuación. Desarrollo de equipos de telemedicina que integren comunicaciones seguras y robustas, así como equipos médicos *reach-back* que acerquen las capacidades y el conocimiento de la medicina especializada a las formaciones sanitarias avanzadas. Desarrollo de herramientas de apoyo a la decisión clínica basadas en inteligencia artificial, con capacidad de análisis de información clínica del paciente para diagnóstico y de recomendaciones para tratamiento médico. Soluciones tecnológicas que reduzcan tanto la carga logística sanitaria, como la dependencia de las formaciones sanitarias de la cadena de suministro (p. ej: fabricación aditiva de herramientas médicas, fabricación de medicamentos en zona desplegada, biofabricación, etc.)

10. NRBQe	
10.1. TECNOLOGÍAS PARA C-IED	
10.1.1. Teledetección inteligente de artefactos explosivos en entornos terrestres	Desarrollo de sistemas avanzados para la detección remota o a distancia de artefactos explosivos improvisados (IED), mediante tecnologías multisensor embarcables en plataformas aéreas y terrestres no tripuladas (UAV y UGV), con capacidades de procesamiento local y análisis de datos mediante inteligencia artificial (IA) y técnicas de aprendizaje automático profundo (*deep learning*) para identificar patrones, anomalías o indicios relevantes. Se contemplan tecnologías para la detección directa de componentes del IED (carga principal, iniciador, contenedor, etc.), y detección indirecta basada en la observación de alteraciones del entorno (movimientos de tierra, variaciones de densidad, cambios no-naturales en la vegetación), incluyendo la fusión de datos multiespectrales e hiperespectrales, radar de penetración terrestre (GPR) y sensores electroópticos y de infrarrojos (EO/IR). Es parte del Objetivo “Sistemas mejorados para la detección remota de IED terrestres”.
10.1.2. Detección remota de atmósferas explosivas con sistemas de alerta temprana	Desarrollo de sensores remotos de muy alta sensibilidad para la detección de vapores emitidos por sustancias explosivas, integrados en arquitecturas de sistemas de alerta temprana (EWS), con capacidad de fusión de datos de diferentes sensores y análisis automatizado mediante técnicas de inteligencia artificial (IA), incluyendo modelos de predicción. Se prevé la combinación de tecnologías como sensores basados en nanomateriales, espectrometría de movilidad iónica (IMS), espectrometría de movilidad iónica diferencial (DMA), espectroscopia de plasma inducido por láser (LIBS), espectroscopia Raman de superficie amplificada (SERS), terahercios (THz), detección de radiación gamma y sensores quimioresistivos, así como capacidades de conectividad en red, integración en plataformas no tripuladas y análisis distribuido de datos, para minimizar el riesgo operativo y mejorar la eficacia de las misiones de vigilancia y protección frente a amenazas explosivas ocultas. Es parte del Objetivo “Sistemas mejorados para la detección remota de IED terrestres”.
10.1.3. Técnicas avanzadas de análisis forense	Desarrollo de soluciones tecnológicas que mejoren la obtención, análisis y explotación de toda la información asociada a un incidente con artefactos explosivos, incluyendo la selección y recogida de evidencias en un escenario post-explosión minimizando los riesgos, de forma que todo ello pueda ser utilizado en la mejora de todas las etapas del proceso de lucha contra la amenaza IED y UAS (p.ej. medidas de mitigación de daños en plataformas y personas; lucha contra las redes responsables de la colocación de los artefactos, tácticas, técnicas y procedimientos, etc.).

10. NRBQe	
10.1. TECNOLOGÍAS PARA C-IED	
10.1.4. Detección y neutralización de amenazas explosivas en el entorno naval	Investigación y desarrollo de soluciones tecnológicas orientadas a la detección, seguimiento y neutralización de amenazas explosivas y asimétricas, incluyendo WBIED (*Water Borne Improvised Explosive Devices*), minas navales, buceadores porteadores de explosivos, así como vehículos no tripulados hostiles (UxV), de superficie, submarinos o aéreos, con capacidad kamikaze o de ataque dirigido. Estas soluciones deberán proporcionar protección integral a plataformas navales (de superficie y submarinas), infraestructuras marítimas, accesos e instalaciones portuarias, garantizando su eficacia en cualquier condición meteorológica y de la mar, y permitiendo una respuesta autónoma, coordinada y en tiempo real frente a amenazas emergentes Es parte del Objetivo Tecnológico "Tecnologías para la protección frente a amenazas basadas en vehículos marítimos no tripulados".
10.1.5. Soluciones tecnológicas integradas para la defensa contra amenazas aéreas (C-UAS/C-RAM)	Investigación y desarrollo de soluciones tecnológicas orientadas a la detección, identificación, seguimiento y neutralización de amenazas aéreas, tales como UAS de pequeño tamaño, munición merodeadora y proyectiles de alta velocidad (cohetes, artillería y morteros), que puedan comprometer la seguridad de bases, plataformas y tropas desplegadas. Estas tecnologías deberán aplicarse tanto en sistemas de protección activa para plataformas terrestres y navales, como en sistemas de defensa de áreas y puntos críticos, incluyendo capacidades tipo C-UAS (*Counter-Unmanned Aerial Systems*) y C-RAM (*Counter-Rocket, Artillery and Mortar*) para entornos fijos o desplegables. Se prioriza el desarrollo de algoritmos de procesamiento y fusión de datos procedentes de múltiples sensores, capaces de proporcionar una respuesta precisa y en tiempos extremadamente reducidos, habilitando la intervención eficaz antes del impacto. Además, deberán integrarse en arquitecturas de defensa aérea robustas y escalables, preparadas para operar en entornos complejos y frente a amenazas simultáneas o saturantes. Constituye el núcleo del Objetivo "Soluciones tecnológicas contra amenazas aéreas de baja cota".

10. NRBQe	
10.2. DEFENSA NRBQ	
10.2.1. Detección NRBQ remota o a distancia	Investigación, desarrollo y fusión de tecnologías con potencial aplicación en detección remota o a distancia de agentes NRBQ, así como en redes de sensores NRBQ de reducido coste económico y energético, con capacidad de detección, identificación y monitorización de nubes tóxicas y transmisión de la información al mando en tiempo real, para vigilancia continua de áreas de operaciones o espacios críticos. Desarrollo de plataformas aéreas no tripuladas sensorizadas, de gran autonomía y alcance, con capacidad de transmitir en tiempo real mapas de isointensidad química o radiológica para el control de grandes áreas contaminadas. Desarrollo de sistemas de detección química a distancia en matrices líquidas y sólidas, así como su integración sobre vehículos terrestres para evitar circular sobre terreno contaminado. Investigación y desarrollo de tecnologías para detección a distancia y localización de partículas alfa para evitar la exposición del personal operativo en intervenciones de reconocimiento. Investigación y desarrollo de tecnologías y sistemas para la detección a distancia automatizada de nubes de contaminación biológica. Es parte del Objetivo “Control de la amenaza NRBQ”.
10.2.2. Detección e identificación puntual NRBQ	Investigación y desarrollo de tecnologías para equipos de detección e identificación NRBQ portátiles o portables que mejoren las prestaciones de los equipos actuales: mayor precisión y menor requerimiento energético para agentes radiológicos; mayor sensibilidad y capacidad de identificación y menor tamaño y requerimiento energético para agentes químicos. En el caso de la detección/identificación biológica, además de lo anterior, se precisan tecnologías rápidas y automáticas que requieran poca o ninguna manipulación de muestra. Se contempla además el diseño y desarrollo de equipos analíticos de sobremesa para laboratorios de análisis NRBQ desplegables, así como sistemas para toma y gestión de muestras NRBQ para análisis forense.

10. NRBQe	
10.2. DEFENSA NRBQ	
10.2.3. Descontaminación NRBQ	Investigación y desarrollo de nuevos sistemas para descontaminación NRBQ de zona, vehículos, equipos y personal, que resulten inocuos tanto para el personal como para el medio ambiente y permitan una recuperación rápida y segura del entorno afectado. Tecnologías de empleo universal y eficaz frente a la extensa gama de agentes NRBQ, que no requieran o minimicen el uso de líquidos, para aliviar el problema logístico que supone la dependencia de grandes volúmenes de agua o líquidos orgánicos. Tecnologías compatibles con material sensible (equipos electrónicos, plataformas, etc.), que permitan su uso efectivo tras la descontaminación. Se incluyen en este concepto soluciones capaces de abatir o neutralizar atmósferas NRBQ para evitar su dispersión. Integración de tecnologías o sistemas que permitan, por un lado, automatizar y acelerar los procesos de descontaminación y, por otro, controlar su eficacia, al objeto de hacer frente a crisis con gran número de bajas o de material afectado, reduciendo al máximo los tiempos de exposición y el personal operativo necesario. Asimismo, se contempla el desarrollo de sistemas robóticos para búsqueda y retirada de restos y escombros con contaminación radiológica, que eviten la exposición de operadores humanos. Es parte del Objetivo “Control de la amenaza NRBQ”.
10.2.4. Equipo de protección individual NRBQ inteligente	Investigación y desarrollo de nuevos materiales, nuevos diseños y nuevos mecanismos para la obtención de equipos de protección individual más ergonómicos, ligeros y que ofrezcan mayor protección NRBQ sin mermar el confort del combatiente. Integración de funciones avanzadas, como la capacidad auto-descontaminante, que incremente la protección del combatiente y evite que el propio traje se convierta en una fuente de contaminación secundaria, o como la capacidad sensora, no solo de amenazas NRBQ o tóxicos industriales, sino también del porcentaje de oxígeno y monóxido de carbono en el aire ambiente para informar sobre la necesidad de utilizar un equipo de respiración autónoma en intervenciones NRBQ. Se contempla también el diseño y la capacidad de producción rápida y masiva de equipos de protección individual para hacer frente a una crisis que afecte, no solo a la fuerza militar, sino también a la población civil, teniendo en cuenta aspectos como el tallaje infantil y el aumento del confort, especialmente de la máscara. Es parte del Objetivo “Control de la amenaza NRBQ”.

10. NRBQe	
10.2. DEFENSA NRBQ	
10.2.5. Protección colectiva NRBQ	Investigación y desarrollo de sistemas de filtración o eliminación de la amenaza ambiental que protejan el interior de plataformas e infraestructuras frente a agentes NRBQ y tóxicos industriales, permitiendo relajar el uso del equipo de protección individual. Se buscan diseños de sistemas modulares, de baja demanda energética y con filtros o dispositivos de eliminación de la amenaza de uso universal e intercambiable. Para potenciar la capacidad de protección de los sistemas, se pretende dotarlos de funciones de sensorización RBQ que active su puesta en marcha, o de auto-descontaminación. Asimismo, se persigue optimizar el uso de dichos sistemas mediante la integración de indicadores que monitoricen y alerten del agotamiento o saturación de los filtros para conocer su tiempo de vida útil o del grado de funcionamiento de los equipos. Es parte del Objetivo “Control de la amenaza NRBQ”.
10.2.6. Contramedidas médicas frente a agentes NRBQ	Investigación y desarrollo de tecnologías para nuevos tratamientos médicos terapéuticos y profilácticos (antídotos, vacunas, agentes decorporantes, etc.) y para diagnóstico rápido y precoz de intoxicaciones y exposiciones a radiación ionizante, así como de cuadros médicos infecciosos, principalmente los producidos por enfermedades contagiosas. Tecnologías que mejoren la actuación de las contramedidas médicas mediante un aumento de la biodisponibilidad, una entrega dirigida (nanoencapsulación, ligandos de direccionamiento…), la optimización de secuencias proteicas o ARNm, etc. Se incluye el desarrollo de procesos y sistemas para producción urgente y masiva de las contramedidas médicas, que incluyan formulaciones de administración pediátrica, para poder hacer frente a una crisis NRBQ. Es parte del Objetivo “Control de la amenaza NRBQ”.
10.2.7. Conciencia situacional NRBQ	Investigación y desarrollo de algoritmos de fusión e integración de datos en software de gestión de incidentes NRBQ. Desarrollo de sistemas de información para la gestión de este tipo de incidentes por parte del Mando y Control, herramientas de modelado y simulación que permitan predecir la evolución de una nube de contaminación y localizar el origen de la amenaza, integrando datos provenientes de fuentes civiles, como la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), la Red de Vigilancia Radiológica (REVIRA) o los Centros de Coordinación de Emergencias 112. Se incluyen en esta línea sistemas de vigilancia sanitaria, sintomatológica y epidemiológica, que gestionen la información de una manera global.

11. TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN, COMUNICACIONES Y SIMULACIÓN	
11.1. SISTEMAS DE INFORMACIÓN PARA C4I	
11.1.1. Funcionalidades C2 avanzadas para la planificación y conducción de operaciones	Investigación y desarrollo de nuevas funcionalidades para los sistemas de mando y control (C2) en los niveles estratégico, operacional y táctico. El objetivo es dotar a la Fuerza de herramientas inteligentes que automaticen y agilicen la planificación, conducción y sincronización de operaciones en todos los dominios, acelerando el ciclo de decisión (OODA) y potenciando una conciencia situacional compartida para lograr la superioridad en la información y ayuden a la toma de decisiones ágil.
11.1.2. Interoperabilidad de sistemas C4I	Implantación de nuevos estándares de interoperabilidad y herramientas que permitan la integración de datos e información JISR y la interconexión entre sistemas C4I nacionales de los distintos ejércitos e internacionales con los sistemas aliados. Se incluye también la creación de herramientas que permitan mantener la capacidad de interoperación entre simuladores y sistemas C2, aumentando la posibilidad de entrenamiento de fuerzas que empleen estos sistemas C2.
11.1.3. Explotación inteligente de múltiples fuentes de información	Desarrollo de soluciones tecnológicas que permitan realizar una fusión a nivel cognitivo de la información de múltiples fuentes heterogéneas, incluyendo fuentes OSINT, y la creación de inteligencia militar que ayude a la toma de decisiones en distintos dominios de interés para defensa. Se busca reproducir por medios computacionales un nivel de razonamiento cognitivo cercano al de la mente humana, para responder a preguntas complejas, más o menos abstractas o ambiguas, correlacionando múltiples variables o estableciendo relaciones entre ellas. Es parte del Objetivo “Aplicación de la inteligencia artificial a defensa”.

11.TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN, COMUNICACIONES Y SIMULACIÓN	
11.1. SISTEMAS DE INFORMACIÓN PARA C4I	
11.1.4. Arquitecturas y tecnologías para la nube táctica de combate	Investigación y desarrollo de la arquitectura digital, los servicios de datos y las tecnologías habilitadoras que constituyen la nube táctica de combate. Incluye el diseño de una infraestructura descentralizada, resiliente y segura para la captura, procesamiento y distribución de información en entornos operativos disputados. Contempla el desarrollo de soluciones de *edge computing* embarcadas en plataformas o en nodos distribuidos, mecanismos de sincronización y fusión de datos distribuidos, y la orquestación de servicios en el borde táctico para acelerar el ciclo de decisión. Se priorizará el uso de arquitecturas flexibles, modulares y escalables (SDN), la modularidad, la interoperabilidad con sistemas aliados y el uso de estándares abiertos para garantizar la integración de sensores y efectores en un ecosistema multidominio. Proporciona la infraestructura técnica sobre la que se apoyan capacidades como el mando y control distribuido en tiempo real. Es parte del Objetivo “Nube táctica de combate para defensa”
11.1.5. Arquitecturas de mando y control en tiempo real para sistemas de defensa interconectados	Diseño y desarrollo de arquitecturas funcionales y tecnológicas para mando y control (C2) distribuidos, adaptados a entornos de muy alta exigencia temporal, casi inmediata, como la defensa antiaérea frente a amenazas hipersónicas y balísticas. Estas arquitecturas deberán permitir el funcionamiento de sistemas de sistemas interconectados (sensores, centros de decisión y efectores) con capacidades de toma de decisión en tiempo real, interoperabilidad multinivel y resiliencia frente a disrupciones. Se abordará el desarrollo de modelos de referencia funcional para sistemas C2 con tiempos de ciclo reducidos, integración de capacidades de fusión multisensor adaptativa, algoritmos de predicción y asignación de recursos mediante IA explicable, y control distribuido con tolerancia a fallos. Se estudiará su despliegue sobre infraestructuras como la nube táctica de combate, con requisitos específicos de latencia, sincronización, disponibilidad y seguridad. Estas capacidades se consideran clave para mejorar la eficacia y supervivencia en escenarios de amenaza aérea compleja, operaciones multidominio y defensa de punto o de área ante ataques masivos, saturación o maniobras evasivas. Es parte del Objetivo “Nube táctica de combate para defensa”

11. TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN, COMUNICACIONES Y SIMULACIÓN	
11.2. COMUNICACIONES TÁCTICAS	
11.2.1. Radio definida por software y radio cognitiva	Investigación y desarrollo de nuevas formas de onda adaptadas a los entornos operativos específicos, que incrementen el rendimiento, la interoperabilidad y la seguridad de las comunicaciones tácticas radio. Se fomentará asimismo el desarrollo de equipos radio SDR con soberanía nacional para todos sus factores de forma y adaptados a los sistemas de comunicaciones de las FAS. Se impulsarán también soluciones basadas en radio cognitiva que mejoren la gestión dinámica del espectro electromagnético para disminuir la exposición a sufrir intentos de guerra electrónica o interferencias con otros sistemas de comunicación radio. Es parte del Objetivo "Comunicaciones militares en entornos complejos".
11.2.2. Enlaces de datos tácticos digitales y su integración en las plataformas	Desarrollo de soluciones basadas en el empleo de enlaces de datos tácticos (TDL – *Tactical Data Link*) para el intercambio de información en operaciones cooperativas y la mejora de la interoperabilidad entre plataformas y aliados, conforme a estándares OTAN. Se abordará la integración eficiente en redes multilink desplegadas en teatros de operaciones, así como el desarrollo de capacidades de gestión táctica del enlace y adaptabilidad al entorno radioeléctrico. Se incluirán también soluciones basadas en el protocolo VMF para la interoperación digital entre fuerzas terrestres, navales y aéreas, fomentando su despliegue en plataformas tripuladas y no tripuladas. Se impulsará la integración de estos enlaces en arquitecturas modulares, seguras y adaptadas a la nube táctica de combate.
11.2.3. Comunicaciones inalámbricas para la interconexión de sensores	Investigación, desarrollo e implantación de tecnologías de comunicación inalámbrica que permitan la interconexión de gran cantidad de sensores remotamente localizados, tanto estáticos como en movimiento, garantizando el intercambio seguro de información en tiempo real. Se priorizarán soluciones que ofrezcan resiliencia frente al fallo de alguno o varios nodos de la red, con capacidades de auto-organización, reconfiguración dinámica y automática. Estas comunicaciones deberán integrarse en arquitecturas de información distribuidas, facilitando la fusión de datos y su explotación inteligente en la nube de combate, así como su interoperabilidad con nodos C2 y sistemas aliados.

11. TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN, COMUNICACIONES Y SIMULACIÓN	
11.2. COMUNICACIONES TÁCTICAS	
11.2.4. Redes móviles de nueva generación	Desarrollo de soluciones tecnológicas basadas en redes móviles de nueva generación (5G, 6G), orientadas al despliegue rápido de redes tácticas interconectadas, seguras, de baja latencia y alta capacidad, incluso en entornos hostiles o degradados. Se priorizarán arquitecturas distribuidas con capacidades de *edge computing*, *network slicing*, comunicaciones M2M y compatibilidad con servicios de la nube táctica de combate. Estas tecnologías deberán ser adaptables a plataformas móviles y nodos de mando, con integración segura en redes multinivel y capacidades avanzadas de gestión del espectro. Es parte del Objetivo "Comunicaciones militares en entornos complejos".
11.2.5. Comunicaciones submarinas	Investigación y desarrollo de tecnologías para comunicaciones eficaces en el dominio submarino, abordando desde el uso eficiente de bandas de baja frecuencia hasta técnicas de modulación robustas, adaptativas y de baja distorsión. Se incluirán soluciones para la mitigación de interferencias, desvanecimientos y variabilidad del canal acústico, así como la evaluación de tecnologías híbridas (acústicas, ópticas y RF) para comunicaciones entre plataformas tripuladas y no tripuladas (UUV, USV). Estas capacidades deberán ser compatibles con redes de vigilancia marítima distribuidas y con infraestructuras navales C4ISR. Es parte del Objetivo "Vehículos submarinos y de superficie no tripulados para misiones de defensa".
11.2.6. Comunicaciones ópticas en el espacio libre	Investigación y desarrollo de sistemas de comunicaciones ópticas láser que cubran enlaces espacio-espacio (inter-satélite) y espacio-tierra, así como enlaces aire-espacio y aire-aire en plataformas tácticas. Estos sistemas deberán aprovechar su alto ancho de banda, baja detectabilidad y resistencia al ruido electromagnético, superando retos como la adquisición y seguimiento de haces (ATP), la compensación de turbulencia atmosférica, la miniaturización de terminales para pequeños satélites y la robustez ante condiciones meteorológicas adversas. Se fomentará su integración en arquitecturas híbridas RF-ópticas y cuánticas, incluyendo protocolos de comunicación segura, como la distribución de claves cuánticas (QKD), para proteger la información frente a interceptaciones.

11. TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN, COMUNICACIONES Y SIMULACIÓN	
11.3. SIMULACIÓN	
11.3.1. Adiestramiento avanzado mediante simulación	Desarrollo de soluciones innovadoras basadas en el uso de sistemas de simulación que permitan una óptima preparación y adiestramiento del personal de las Fuerzas Armadas en sus dimensiones cognitivas, físicas y psicológicas, abarcando lo relacionado con la doctrina para la ejecución de las operaciones, lo relativo a la utilización de los medios materiales (plataformas, armamento, etc.) o la recreación de condiciones cercanas a las de las operaciones reales, en los dominios de tierra, mar y aire y ciberespacio. Es parte del Objetivo "Adiestramiento avanzado y ayuda a la toma de decisión mediante simulación".
11.3.2. Interoperabilidad entre simuladores	Desarrollo de soluciones tecnológicas basadas en estándares de interoperabilidad que permitan interactuar a diferentes simuladores funcionando conjuntamente y de manera combinada en ejercicios. La implementación de estándares de interoperabilidad en los sistemas de simulación facilita la extensión de las capacidades de adiestramiento de los sistemas, así como la conjunción de distintos tipos de simulación (LVC), permitiendo reunir en un único ejercicio de simulación las distintas audiencias objetivo de cada uno de esos sistemas que inicialmente operaban de forma aislada. Es parte del Objetivo "Adiestramiento avanzado y ayuda a la toma de decisión mediante simulación".
11.3.3. Simulación como herramienta para la toma de decisiones	Desarrollo de soluciones tecnológicas basadas en simulación (gemelos digitales, *wargaming*, entornos sintéticos, simulaciones numéricas) para el apoyo a la resolución de problemas, elaboración de protocolos y la toma de decisión en torno a la adquisición y el desarrollo de capacidades, la gestión de procesos operativos, el análisis de requisitos, el desarrollo y experimentación de conceptos y doctrina, la planificación operativa (planificación de crisis y anticipada) y estratégica o el apoyo a las operaciones y ensayo de misión, entre otros. Es parte del Objetivo "Adiestramiento avanzado y ayuda a la toma de decisión mediante simulación".

11. TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN, COMUNICACIONES Y SIMULACIÓN	
11.4. SEGURIDAD DE SISTEMAS E INFORMACIÓN	
11.4.1. Automatización de acciones ante ciberataques	Desarrollo de herramientas avanzadas para automatizar la respuesta ante ciberataques adaptadas a las particularidades operativas del entorno de defensa, garantizando tiempos de reacción mínimos ante la aparición de ciberincidentes y la continuidad operativa de los sistemas en escenarios de alta complejidad. Estas soluciones estarán orientadas a la protección tanto de sistemas de información como de sistemas de armas, integrando capacidades defensivas en el ámbito cibernético que permitan una detección y actuación temprana ante ciberincidentes mediante mecanismos de recuperación ante incidentes, técnicas de análisis forense y atribución técnica de ciberataques, detección y análisis de nuevas amenazas avanzadas persistentes (APT). Se fomentará también la adopción de arquitecturas de seguridad basadas en modelos Zero Trust, reforzando la protección y resiliencia frente a ciberamenazas.
11.4.2. Ciberinteligencia para el análisis predictivo de vulnerabilidades	Desarrollo de soluciones tecnológicas para recopilar y analizar información que permita generar inteligencia sobre ciberamenazas emergentes, identificando patrones, correlaciones con indicadores globales de amenazas y tendencias que faciliten la detección temprana de vulnerabilidades y la anticipación, mediante algoritmos de predicción, ante posibles ciberataques futuros. Estas soluciones estarán orientadas a la integración de técnicas avanzadas de análisis predictivo y aprendizaje automático para reforzar la capacidad de respuesta y apoyar la toma de decisiones, la aplicación de IA para el filtrado y priorización de eventos de ciberdefensa, el apoyo al análisis de amenazas e incidentes, así como la identificación de patrones y la atribución técnica de los ciberincidentes. Incluye el desarrollo de soluciones que permitan reducir la superficie de ataque mejorando la resiliencia operativa. Es parte del Objetivo “Soluciones tecnológicas para ciberoperaciones”.

11. TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN, COMUNICACIONES Y SIMULACIÓN	
11.4. SEGURIDAD DE SISTEMAS E INFORMACIÓN	
11.4.3. Tecnologías en apoyo a ciberoperaciones	Desarrollo de soluciones tecnológicas avanzadas que faciliten una respuesta activa, equilibrada y proporcional ante ciberataques, conforme al principio de legítima defensa. Se impulsará el desarrollo de capacidades para ejecutar ciberoperaciones ofensivas (CNA, *Computer Network Attack*) orientadas a perturbar, denegar, degradar o destruir información crítica en infraestructuras enemigas, mediante herramientas específicas que permitan actuar en el ciberespacio de forma controlada, precisa y conforme a los marcos legales aplicables. Es parte del Objetivo "Soluciones tecnológicas para ciberoperaciones".
11.4.4. Sistemas criptográficos para defensa	Investigación y desarrollo de sistemas criptográficos que garanticen la confidencialidad, integridad y autenticidad de la información en entornos militares, reforzando la seguridad de redes tácticas, estratégicas e infraestructuras críticas. Esta línea prioriza la mejora continua de los mecanismos criptográficos clásicos, esenciales para la protección de las comunicaciones, e incorpora progresivamente técnicas postcuánticas, resistentes a ataques con ordenadores cuánticos, así como tecnologías cuánticas como la distribución de clave cuántica (QKD). En este contexto, la disponibilidad de entropía verificable, proporcionada por generadores cuánticos de números aleatorios (QRNG), constituye un elemento clave para reforzar la base de confianza de los sistemas criptográficos, tanto clásicos como cuánticos. Se promoverá la exploración de arquitecturas híbridas, que integren soluciones tradicionales, postcuánticas y cuánticas de forma coordinada, permitiendo una transición segura y gradual hacia infraestructuras resilientes frente a amenazas futuras. Es parte del Objetivo "Tecnologías cuánticas aplicadas a defensa".

11. TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN, COMUNICACIONES Y SIMULACIÓN	
11.5. APLICACIÓN A DEFENSA DE AVANCES EN TECNOLOGÍAS TIC	
11.5.1. Mitigación de los riesgos y limitaciones en el empleo de la IA en defensa	Investigación y desarrollo en algoritmos y herramientas para reducir o mitigar los riesgos y limitaciones asociados al uso extensivo de la IA en sistemas de defensa, así como al uso malintencionado que otras partes puedan hacer de estas tecnologías. Entre ellos destacan la falta de claridad y explicabilidad en la lógica de decisión de muchos algoritmos, especialmente los de aprendizaje profundo; la dificultad para detectar contenidos multimedia falsos generados a partir de otros similares; la falta de robustez o la introducción intencionada de datos de entrenamiento que alteran o sesgan el aprendizaje; el aseguramiento y la privacidad de los datos durante todo el proceso; el comportamiento impredecible ante situaciones para las que no han sido preparados; los posibles fallos en cascada al integrar múltiples módulos de IA en un sistema complejo; la necesidad de grandes volúmenes de datos para entrenar los algoritmos o la complejidad de incorporar criterios éticos en los procesos de decisión, entre otros. Es parte del Objetivo “Aplicación de la inteligencia artificial a defensa”.
11.5.2. Aplicación de las tecnologías de análisis del habla y texto a defensa	Aplicaciones de las tecnologías de análisis del habla y texto en apoyo a las operaciones y sistemas de información de defensa, incorporando avances en IA generativa para comprensión semántica, traducción automática, síntesis de voz y generación de contenidos útiles en escenarios operativos, incluyendo también extracción de información, detección de desinformación y apoyo a la toma de decisiones en tiempo real. Es parte del Objetivo “Aplicación de la inteligencia artificial a defensa”.
11.5.3. Aplicación de capacidades de supercomputación (HPC) a defensa	Desarrollo y aplicación de capacidades de computación de alto rendimiento (HPC) para resolver problemas complejos en el ámbito de la defensa, aprovechando las infraestructuras nacionales e internacionales ya disponibles. Se priorizará la investigación en el uso de supercomputadores para modelado y simulación de escenarios operativos, optimización logística, análisis de grandes volúmenes de datos, IA y diseño de materiales avanzados. Esta línea fomentará la integración de métodos y algoritmos específicos para defensa en arquitecturas HPC, el desarrollo de software eficiente y seguro para entornos paralelos y la experimentación en condiciones realistas. Las actuaciones deberán maximizar la interoperabilidad con sistemas existentes y explorar sinergias con otras tecnologías emergentes, como la computación híbrida cuántico-clásica o la computación heurística o probabilística, así como la investigación en computación cuántica para complementar y potenciar las capacidades de HPC existentes.

Listado de líneas de I+D+i

1.	**ARMAS Y MUNICIONES**
1.1.	**LETALIDAD DE PRECISIÓN Y ALCANCE EXTENDIDO**
1.1.1.	Guiado terminal de bajo coste y espoletas programables
1.1.2.	Propulsión avanzada para fuego indirecto (Alcance extendido y MLRS)
1.1.3.	Navegación robusta para munición
1.1.4.	Municiones de efectos escalables y selectivos
1.2.	**SISTEMAS AVANZADOS Y MUNICIONES INTELIGENTES**
1.2.1.	Buscadores (*seekers*) multimodales e IA para ATR
1.2.2.	Autonomía, colaboración en enjambres y enlaces de datos
1.2.3.	Propulsión no hipersónica para misiles tácticos y municiones merodeadoras
1.3.	**TECNOLOGÍAS Y APLICACIONES ESPECÍFICAS PARA ARMAMENTO**
1.3.1.	Armas de energía dirigida mediante láser de alta potencia
1.3.2.	Armas de energía dirigida de RF
1.3.3.	Tecnologías para armas electromagnéticas cinéticas (*railguns*)
1.3.4.	Minas inteligentes
1.4.	**SISTEMAS DE DEFENSA ASIMÉTRICA Y CONTRAMEDIDAS**
1.4.1.	Efectores de bajo coste para C-UAS /C-RAM
1.4.2.	Efectores para contraminado robótico y asimétrico
1.5.	**TECNOLOGÍAS DE APOYO AL CICLO DE VIDA DE ARMAS Y MUNICIONES**
1.5.1.	Ciclo de vida de municiones
1.5.2.	Reducción de impacto en procesos de armas y municiones

2.	**SENSORES Y SISTEMAS ELECTRÓNICOS**
2.1.	**TECNOLOGÍAS ELECTRÓNICAS**
2.1.1.	Antenas, dispositivos y módulos de RF de altas prestaciones
2.1.2.	Aplicación de tecnología fotónica a sistemas de RF
2.1.3.	Arquitectura SMRF
2.2.	**RADAR**
2.2.1.	Nuevas arquitecturas radar y algoritmos de procesado
2.2.2.	Sistemas radar de defensa aérea
2.2.3.	Sistemas SAR/MTI
2.3.	**SENSORES Y SISTEMAS OPTRÓNICOS**
2.3.1.	Sistemas basados en detectores EO/IR
2.3.2.	Sistemas de visión nocturna
2.3.3.	Sistemas basados en tecnología láser para telemetría, LIDAR, guiado y designación de objetivos
2.4.	**SENSORES ACÚSTICOS**
2.4.1.	Sensores acústicos submarinos
2.4.2.	Sensores acústicos atmosféricos
2.5.	**TECNOLOGÍAS PNT Y SENSORES EMERGENTES**
2.5.1.	Tecnologías para PNT robusto en ausencia de GNSS
2.5.2.	Sensores cuánticos para aplicaciones de defensa
2.6.	**COMPUTACIÓN, FUSIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE SENSORES**
2.6.1.	Fusión sensorial
2.6.2.	Hardware embarcado para procesamiento intensivo con IA
2.6.3.	Análisis automático e inteligente de grandes volúmenes de datos de sensores
2.7.	**CONTRAMEDIDAS OPTRÓNICAS**
2.7.1.	Protección mediante DIRCM en plataformas aéreas
2.7.2.	Señuelos pirotécnicos, bengalas, botes de humo
2.8.	**GUERRA ELECTRÓNICA**
2.8.1.	Sistemas de guerra electrónica de no comunicaciones
2.8.2.	Sistemas de guerra electrónica de comunicaciones
2.8.3.	Guerra electrónica multiplataforma y cooperativa
2.8.4.	Inhibidores contra RC-IED

3. TECNOLOGÍAS COMUNES A SISTEMAS DE DEFENSA
3.1. CICLO DE VIDA
3.1.1. Mantenimiento de plataformas
3.1.2. Inteligencia de datos aplicada al mantenimiento predictivo de plataformas
3.1.3. Arquitecturas modulares abiertas, ingeniería digital y simulación para el ciclo de vida
3.1.4. Protección frente a procesos de corrosión y degradación
3.1.5. Incorporación de procesos de economía circular
3.1.6. Desarrollo de soluciones tecnológicas para la reducción del uso de materiales críticos en defensa
3.1.7. Resiliencia industrial y escalado de producción de sistemas militares
3.2. MATERIALES
3.2.1. Reducción del peso en plataformas
3.2.2. Sistemas de protección pasiva de plataformas
3.2.3. Reducción de firma de plataformas a través de materiales
3.2.4. Materiales para aplicaciones a alta temperatura
3.3. ENERGÍA
3.3.1. Sistemas de energía de alta potencia
3.3.2. Sistemas de captación de energía ambiental (*energy harvesting*)
3.3.3. Sistemas de microgeneración de energía eléctrica
3.3.4. Sistemas de pilas de combustible para su uso en entorno militar
3.3.5. Sistemas de almacenamiento de energía eléctrica para su uso en entorno militar
3.3.6. Sistemas de transmisión inalámbrica de energía
3.4. LOGÍSTICA
3.4.1. Sistemas de gestión del agua
3.4.2. Procesos de gestión de residuos
3.4.3. Combustibles alternativos no fósiles

4.	**BASES E INSTALACIONES**
4.1.	**PROTECCIÓN DE BASES E INSTALACIONES**
4.1.1.	Redes de sensores para protección de instalaciones y despliegues terrestres
4.1.2.	Redes de sensores para la protección de zonas marítimas
4.1.3.	Protección frente a amenazas explosivas en infraestructuras
4.2.	**ENERGÍA EN BASES E INSTALACIONES**
4.2.1.	Sistema energético en bases e instalaciones
4.2.2.	Redes inteligentes de energía eléctrica para defensa
4.2.3.	Autoproducción de combustibles
4.2.4.	Climatización y ACS integrada y eficiente
4.3.	**MODERNIZACIÓN DE BASES E INSTALACIONES**
4.3.1.	Incorporación de tecnologías 4.0 a bases e instalaciones y procesos del Departamento
4.3.2.	Edificaciones inteligentes y eficientes para bases y campamentos
4.3.3.	Instalaciones de ensayo para defensa

5.	**PLATAFORMAS TERRESTRES**
5.1.	**DISEÑO DE PLATAFORMAS TERRESTRES**
5.1.1.	Diseño de plataformas terrestres de nueva generación
5.1.2.	Arquitectura e integración en plataformas terrestres
5.2.	**ENERGÍA Y MOVILIDAD DE PLATAFORMAS TERRESTRES**
5.2.1.	Propulsión híbrida y eléctrica y electrificación de plataformas terrestres
5.2.2.	Propulsión convencional y sistemas de transmisión
5.2.3.	Sistemas de movilidad avanzados
5.3.	**SISTEMAS INTEGRADOS**
5.3.1.	Conciencia situacional de la tripulación de la plataforma
5.3.2.	Integración e interoperabilidad de armas con plataformas terrestres
5.3.3.	Sistemas de protección activa y reactiva
5.4.	**ROBÓTICA TERRESTRE**
5.4.1.	Conversión de plataformas o grupos de plataformas en sistemas no tripulados
5.4.2.	Funcionalidades avanzadas en UGV basadas en autonomía robótica
5.4.3.	Robótica para misiones específicas de defensa
5.4.4.	Robótica biomimética

6.	**PLATAFORMAS NAVALES**
6.1.	**DISEÑO DE PLATAFORMAS NAVALES**
6.1.1.	Diseño de plataformas navales de superficie
6.1.2.	Diseño de plataformas navales submarinas
6.2.	**CONTROL, ENERGÍA Y PROPULSIÓN NAVAL**
6.2.1.	Sistemas de propulsión para plataformas navales
6.2.2.	Sistemas propulsivos en submarinos
6.2.3.	Sistemas de generación de energía en plataformas navales
6.2.4.	Maniobrabilidad de plataformas navales
6.3.	**SISTEMAS INTEGRADOS EN PLATAFORMAS NAVALES**
6.3.1.	Evolución de los sistemas de combate de las plataformas navales
6.3.2.	Buque digital
6.3.3.	Integración de vehículos no tripulados en plataformas de superficie
6.4.	**VEHÍCULOS MARINOS NO TRIPULADOS**
6.4.1.	Vehículos submarinos no tripulados
6.4.2.	Vehículos de superficie no tripulados
6.4.3.	Enjambres de vehículos navales no tripulados y barcos nodriza

7.	**PLATAFORMAS AÉREAS**
7.1.	**DISEÑO DE PLATAFORMAS AÉREAS**
7.1.1.	Desarrollo de plataformas aéreas tripuladas de ala fija
7.1.2.	Desarrollo de plataformas aéreas tripuladas de ala rotatoria
7.1.3.	Desarrollo de vehículos para vuelo hipersónico
7.2.	**ENERGÍA Y PROPULSIÓN**
7.2.1.	Sistemas de energía y propulsión de las plataformas aéreas
7.2.2.	Propulsión para régimen hipersónico
7.3.	**SISTEMAS INTEGRADOS EN PLATAFORMAS AÉREAS**
7.3.1.	Sistemas de aviónica aérea
7.3.2.	Sistemas de misión
7.3.3.	Sistemas de armas en plataformas aéreas
7.3.4.	Soluciones de reabastecimiento en vuelo de aeronaves militares
7.3.5.	Integración de UAS en el espacio aéreo
7.4.	**UAS**
7.4.1.	Sistemas aéreos no tripulados
7.4.2.	Sistemas aéreos multipropósito no tripulados
7.4.3.	Sistemas aéreos logísticos no tripulados
7.4.4.	Enjambres de sistemas aéreos no tripulados

8.	**SISTEMAS ESPACIALES**
8.1.	**CONOCIMIENTO DEL DOMINIO ESPACIAL (SDA)**
8.1.1.	Soluciones tecnológicas en apoyo al Conocimiento del Dominio Espacial (SDA)
8.1.2.	Sistemas para la gestión espacial (STM)
8.2.	**COMUNICACIONES SATCOM**
8.2.1.	Tecnologías satelitales para comunicaciones por satélite (SATCOM)
8.2.2.	Terminales SATCOM de usuario
8.3.	**INTELIGENCIA, VIGILANCIA Y RECONOCIMIENTO (ISR)**
8.3.1.	Carga útil para ISR
8.3.2.	Explotación de datos para ISR
8.4.	**CAPACIDADES GNSS**
8.4.1.	Capacidades GNSS en órbitas LEO/VLEO
8.4.2.	Receptores GNSS de altas prestaciones
8.5.	**OTRAS APLICACIONES ESPACIALES PARA DEFENSA**
8.5.1.	Capacidades espaciales de alerta temprana
8.5.2.	Capacidades METOC en órbitas LEO
8.5.3.	Mantenimiento de satélites en órbita
8.6.	**SOLUCIONES HABILITADORAS Y DE RESPUESTA RÁPIDA EN EL DOMINIO ESPACIAL**
8.6.1.	Dispositivos y sistemas que componen la estructura de un satélite
8.6.2.	Protección defensiva frente a amenazas ASAT
8.6.3.	Pequeños satélites
8.6.4.	Pseudo-satélites ubicados a elevada altitud
8.6.5.	Lanzadores de pequeños satélites

9. COMBATIENTE
9.1. SISTEMA COMBATIENTE
9.1.1. Sistemas de protección pasiva del combatiente
9.1.2. Sistemas de reducción de firma del combatiente a través de materiales
9.1.3. Sistemas de energía del combatiente
9.1.4. Mejora del confort del combatiente
9.1.5. Reducción de la carga del combatiente
9.1.6. Sistema integrado del combatiente conectado
9.1.7. Integración e interoperabilidad de armas individuales con el combatiente
9.2. FACTORES HUMANOS
9.2.1. Control y mejora del rendimiento del combatiente
9.2.2. Interfaces hombre-máquina avanzados
9.2.3. Interacción hombre-sistema no tripulado en misiones
9.2.4. Integración de las personas en las plataformas
9.3. SALUD DEL COMBATIENTE
9.3.1. Respuesta médica temprana
9.3.2. Tecnologías de apoyo a la atención sanitaria en operaciones

10.	**NRBQe**
10.1.	**TECNOLOGÍAS PARA C-IED**
10.1.1.	Teledetección inteligente de artefactos y sustancias explosivas en entornos terrestres
10.1.2.	Detección remota de atmósferas explosivas con sistemas de alerta temprana
10.1.3.	Técnicas avanzadas de análisis forense
10.1.4.	Detección y neutralización de amenazas explosivas en el entorno naval
10.1.5.	Soluciones tecnológicas integradas para la defensa contra amenazas aéreas (C-UAS/C-RAM)
10.2.	**DEFENSA NRBQ**
10.2.1.	Detección NRBQ remota o a distancia
10.2.2.	Detección e identificación puntual NRBQ
10.2.3.	Descontaminación NRBQ
10.2.4.	Equipo de protección individual NRBQ inteligente
10.2.5.	Protección colectiva NRBQ
10.2.6.	Contramedidas médicas frente a agentes NRBQ
10.2.7.	Conciencia situacional NRBQ

11.	**TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN, COMUNICACIONES Y SIMULACIÓN**
11.1.	**SISTEMAS DE INFORMACIÓN PARA C4I**
11.1.1.	Funcionalidades C2 avanzadas para la planificación y conducción de operaciones
11.1.2.	Interoperabilidad de sistemas C4I
11.1.3.	Explotación inteligente de múltiples fuentes de información
11.1.4.	Arquitecturas y tecnologías para la nube táctica de combate
11.1.5.	Arquitecturas de mando y control en tiempo real para sistemas de defensa interconectados
11.2.	**COMUNICACIONES TÁCTICAS**
11.2.1.	Radio definida por software y radio cognitiva
11.2.2.	Enlaces de datos tácticos digitales y su integración en las plataformas
11.2.3.	Comunicaciones inalámbricas para la interconexión de sensores
11.2.4.	Redes móviles de nueva generación
11.2.5.	Comunicaciones submarinas
11.2.6.	Comunicaciones ópticas en el espacio libre
11.3.	**SIMULACIÓN**
11.3.1.	Adiestramiento avanzado mediante simulación
11.3.2.	Interoperabilidad entre simuladores
11.3.3.	Simulación como herramienta para la toma de decisiones
11.4.	**SEGURIDAD DE SISTEMAS E INFORMACIÓN**
11.4.1.	Automatización de acciones ante ciberataques
11.4.2.	Ciberinteligencia para el análisis predictivo de vulnerabilidades
11.4.3.	Tecnologías en apoyo a ciberoperaciones
11.4.4.	Sistemas criptográficos para defensa
11.5.	**APLICACIÓN A DEFENSA DE AVANCES EN TECNOLOGÍAS TIC**
11.5.1.	Mitigación de los riesgos y limitaciones en el empleo de la IA en defensa
11.5.2.	Aplicación de las tecnologías de análisis del habla y texto a defensa
11.5.3.	Aplicación de capacidades de supercomputación (HPC) a defensa

Tabla 7. Listado completo del conjunto de Líneas de I+D+i

Relación entre las Áreas de la ETID 2026 y las Capacidades Esenciales para la Defensa de la EID 2023

	1. Armas y municiones	2. Sensores y sistemas electrónicos	3. Tecnologías comunes a sistemas de defensa	4. Bases e Instalaciones	5. Plataformas terrestres	6. Plataformas navales	7. Plataformas aéreas	8. Sistemas espaciales	9. Combatiente	10. NRBQe	11. Tecnologías de la Información, Comunicaciones y Simulación
Municiones guiadas y misiles	■										
Sistemas de navegación y control	■										
Sistemas antimisiles	■	■									■
Sensores		■									
Guerra electrónica		■									
Sistemas de propulsión					■	■	■				
Plataformas Terrestres, D&D, integración					■						
Plataformas Navales, D&D, integración						■					
Plataformas Aéreas, D&D, integración y certificación							■				
Sistemas de combate / misión					■	■	■				
Vehículos no tripulados					■	■	■				
Sistemas satelitales de observación y comunicaciones								■			
C-UVS										■	
Sistemas de mando y control											■
Nube de combate											■
Comunicaciones tácticas											■
Simuladores											■
Ciberdefensa											■
Cifrado y criptografía											■

Tabla 8. Trazabilidad de las Áreas de la ETID 2026 con las Capacidades Esenciales para la Defensa de la EID 2023

Anexo B. Objetivos tecnológicos

En este anexo se describe el alcance de cada uno de los objetivos tecnológicos incluidos en la ETID, así como los principales retos tecnológicos presentes en cada uno de ellos y las actuaciones que se ha previsto poner en marcha durante los próximos años (ver Tabla 9).

Como se ha explicado en el Capítulo 3 de la Estrategia, estos objetivos tecnológicos se organizan en tres niveles, en función de la dimensión y características de los sistemas y tecnologías involucradas y el tipo de actuaciones previstas para su consecución (ver Figura 22).

Figura 22. Niveles de organización de los objetivos tecnológicos

Mientras que en el primer y tercer nivel se ha incluido una sola ficha descriptiva (la primera y última respectivamente), la cual sintetiza el alcance y finalidad de los objetivos tecnológicos considerados en cada nivel, en el caso del nivel intermedio, dada la mayor heterogeneidad de los objetivos que incluye, se ha incluido una ficha por cada uno de ellos[40].

La siguiente tabla incluye el conjunto de objetivos tecnológicos incluidos en este anexo.

[40] Todas las fichas de los objetivos tecnológicos incluyen una imagen generada por IA, representativa del objetivo.

Ámbito específico de actuación	Objetivos tecnológicos
Desarrollo de tecnologías avanzadas para las futuras grandes plataformas y sistemas de armas de defensa	Tecnologías para el desarrollo de las futuras grandes plataformas y sistemas de armas utilizados por las FAS
Aplicaciones de defensa con elevada exigencia tecnológica	Tecnologías de guiado y control avanzado de municiones
	Tecnologías electrónicas de altas prestaciones
	Soluciones de guerra electrónica adaptadas al ambiente electromagnético actual y futuro
	Comunicaciones militares en entornos complejos
	Nube táctica de combate para defensa
	Tecnologías para PNT robusto
	Soluciones tecnológicas para ciberoperaciones
Defensa contra amenazas asimétricas	Sistemas mejorados para la detección remota de IED terrestres
	Tecnologías para la protección frente a amenazas basadas en vehículos marítimos no tripulados
	Soluciones tecnológicas contra amenazas aéreas de baja cota
	Control de la amenaza NRBQ
Aprovechamiento del empuje tecnológico civil	Aplicación de la inteligencia artificial a defensa
	Tecnologías para el apoyo al ciclo de vida de los sistemas militares
	Mejora de los procesos productivos de la industria de defensa
	Plataformas terrestres no tripuladas para misiones de defensa
	Vehículos submarinos y de superficie no tripulados para misiones de defensa
	UAS para misiones de defensa
	Materiales para aplicación en plataformas y combatiente
	Soluciones innovadoras para defensa en el ámbito espacial
Potenciación de las capacidades de las personas	Tecnologías para el combatiente a pie
	Adiestramiento avanzado y ayuda a la toma de decisiones mediante simulación
Sostenibilidad energética	Generación, almacenamiento y eficiencia energética en bases e infraestructuras aisladas
	Nuevas formas de propulsión para plataformas tripuladas y sistemas no tripulados
Capacitación tecnológica inicial	Tecnologías para el desarrollo de armas de energía dirigida y electromagnéticas
	Tecnologías para vehículos hipersónicos
	Tecnologías cuánticas aplicadas a defensa
Seguimiento de tecnologías emergentes	Tecnologías emergentes con potencial aplicación futura a defensa

Tabla 9. Objetivos tecnológicos según ámbitos específicos

DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS AVANZADAS PARA LAS FUTURAS GRANDES PLATAFORMAS Y SISTEMAS DE ARMAS DE DEFENSA
Tecnologías para el desarrollo de las futuras grandes plataformas y sistemas de armas utilizados por las FAS
Desarrollo de tecnologías avanzadas para su incorporación en las futuras grandes plataformas y sistemas de armas utilizados por las FAS en los ámbitos terrestre, naval, aéreo, espacial y ciberespacial, los cuales se derivan de necesidades incluidas en el Objetivo de Capacidad Militar (OCM) y el Objetivo de Fuerza a Largo Plazo (OFLP), y cuyo desarrollo actúa como elemento tractor de la capacitación tecnológica de sectores industriales muy amplios, así como motor de empleo de calidad en estos sectores.

Dadas las características y complejidad de las amenazas a las que deben hacer frente las Fuerzas Armadas, resulta imprescindible disponer de grandes plataformas y sistemas de armas en los dominios terrestre, naval, aéreo y espacial, capaces de integrar avances tecnológicos de última generación y ofrecer capacidades superiores en entornos altamente disputados. Estos desarrollos, por su naturaleza, implican programas de gran envergadura, con inversiones económicas significativas, plazos de desarrollo prolongados y, en muchos casos, cooperación internacional para garantizar la interoperabilidad y la sostenibilidad tecnológica.

Al tratarse de sistemas concebidos para permanecer en servicio durante varias décadas, es necesario anticipar los programas tecnológicos mediante iniciativas que permitan incorporar las tecnologías más avanzadas en las funciones críticas del sistema. Para ello, se recurre a demostradores tecnológicos que validan la madurez de los desarrollos y reducen el riesgo de su integración en los sistemas finales, asegurando que las capacidades alcanzan los niveles requeridos antes de su industrialización.

En el ámbito europeo, se están impulsando proyectos colaborativos en el marco del EDF y otras iniciativas multinacionales para desarrollar plataformas y sistemas de armas de nueva generación en todos los dominios. Entre ellos destacan los sistemas de sistemas aéreos, que integran aeronaves tripuladas y no tripuladas en arquitecturas de combate colaborativo; los nuevos diseños de plataformas terrestres modulares, con exigentes requisitos de protección, integración de sistemas y movilidad, así como plataformas navales de nueva generación orientadas a la guerra en red, la interoperabilidad y la integración de sistemas no tripulados para operaciones en entornos litorales y oceánicos. Adicionalmente, se abordan sistemas europeos de comunicaciones seguras, esenciales para garantizar la conectividad resiliente en escenarios multidominio, y capacidades de defensa frente a amenazas hipersónicas, que incluyen sensores avanzados, interceptores y arquitecturas de alerta temprana.

También a nivel nacional se han puesto en marcha en los últimos años programas tecnológicos y proyectos vinculados a los Programas Especiales de Modernización (PEM), dentro del *Plan Industrial y Tecnológico para la Seguridad y la Defensa*, para reducir los riesgos tecnológicos de las futuras plataformas y grandes sistemas en todos los dominios de operación.

En el marco de este objetivo se contemplan tanto los proyectos en los que participe España que se desarrollen en programas de cooperación internacional, como aquellos proyectos desarrollados a nivel nacional que sean aplicables a esas futuras grandes plataformas o sistemas de armas.

APLICACIONES DE DEFENSA CON ELEVADA EXIGENCIA TECNOLÓGICA
Tecnologías de guiado y control avanzado de municiones
Mejorar las prestaciones de las municiones mediante la incorporación de sistemas de guiado, navegación y control, incluidos actuadores, electrónica embarcada, capacidades de procesamiento a bordo e integración de sensores (C4I), con el fin de maximizar la eficacia del apoyo de fuegos y minimizar daños colaterales.

La creciente relevancia de las municiones guiadas e inteligentes obedece a su capacidad para combinar precisión, letalidad proporcional y reducción de la carga logística. Gracias a la integración de subsistemas de guiado inercial y satelital, actuadores compactos de alta dinámica y algoritmos de control adaptativo, una sola munición puede neutralizar un objetivo con menos disparos, una cabeza de guerra más ligera y mayor certidumbre en el punto de impacto. La electrónica de misión y los microsensores embebidos permiten funciones avanzadas como el aborto de misión en vuelo, el reconocimiento del entorno antes del impacto o la confirmación de efectos tras la detonación; todo ello en tiempo real y con capacidad de resistencia frente a la denegación de señales GNSS. Esta capacidad de adaptación dinámica durante el vuelo amplía significativamente las posibilidades operativas en escenarios impredecibles, especialmente en entornos urbanos, montañosos o con alta interferencia electromagnética.

El avance hacia municiones con inteligencia embarcada plantea retos tecnológicos en varios frentes: miniaturización de sensores inerciales y optoelectrónicos; fusión de datos robusta ante señuelos o interferencias; actuadores ligeros capaces de soportar aceleraciones extremas; enlaces de comunicaciones seguros y de baja latencia para la reprogramación en vuelo; y algoritmos de aprendizaje que posibiliten la replanificación autónoma de trayectoria en función de nueva información sobre el blanco o el entorno. A ello se suma la necesidad de adaptar cada solución a distintos calibres, entornos de lanzamiento y perfiles balísticos, lo que exige campañas intensivas de pruebas en campos de tiro instrumentados. La integración de estas tecnologías debe contemplar un enfoque modular y escalable que facilite su reutilización en distintas familias de munición.

A partir de los desarrollos tecnológicos emprendidos en los últimos años, se impulsará un conjunto de actuaciones orientadas a consolidar las capacidades alcanzadas y a desarrollar soluciones con mayores niveles de autonomía, precisión y resiliencia. Adicionalmente, se abordarán líneas específicas para el desarrollo de municiones destinadas a neutralizar amenazas aéreas de nueva generación, incluidas capacidades C-UAS y C-RAM, así como municiones merodeadoras o “kamikaze”, que exigen un equilibrio coste-eficacia particularmente exigente. Estas soluciones están llamadas a convertirse en elementos clave del fuego inteligente en el corto plazo, mejorando la capacidad de disuasión, la proporcionalidad en el uso de la fuerza y la efectividad operativa tanto en escenarios híbridos como convencionales.

Las actuaciones previstas combinarán esfuerzos del Ministerio de Defensa con programas de cooperación nacional e internacional, orientados a acelerar la transición de la I+D a sistemas plenamente operativos. Asimismo, se fomentará la colaboración industrial para facilitar la transferencia de tecnologías duales, optimizar la cadena de suministro y reducir la dependencia de componentes críticos de origen externo.

APLICACIONES DE DEFENSA CON ELEVADA EXIGENCIA TECNOLÓGICA
Tecnologías electrónicas de altas prestaciones
Mejorar las prestaciones de los dispositivos y componentes que forman parte de los sistemas de radiofrecuencia (RF) militares mediante el empleo de tecnologías y desarrollos aplicables a dichos elementos para lograr funcionalidades avanzadas en radar, guerra electrónica y sistemas de comunicaciones.

Los sistemas de RF proporcionan capacidades esenciales para los modernos sistemas de defensa, con exigencias técnicas muy superiores a las de aplicaciones civiles. Las mejoras en sus dispositivos se traducen directamente en un aumento de prestaciones de los sistemas completos, ofreciendo una ventaja tecnológica que puede ser decisiva en el teatro de operaciones. Además, su implementación impacta significativamente en la reducción de tamaño, peso y consumo (SWaP), aspecto crítico en plataformas aéreas (principalmente UAS), terrestres y municiones complejas, donde estas restricciones son especialmente relevantes.

Dentro del alcance del objetivo se contemplan actuaciones de I+D+i dirigidas al desarrollo de antenas de apuntamiento electrónico (AESA), módulos de transmisión/recepción (T/R), amplificadores de estado sólido (principalmente basados en nitruro de galio, GaN), componentes y subsistemas de tecnología fotónica, integración híbrida de tecnologías electrónicas y fotónicas, dando lugar a soluciones más compactas, eficientes y resistentes, así como tecnologías avanzadas de antenas (compactas de baja frecuencia, conformables, etc.) y metamateriales (aplicados a componentes de RF). Aunque algunas de estas tecnologías presentan hoy una madurez limitada, tienen un alto potencial para transformar los sistemas militares en el medio y largo plazo.

Los retos tecnológicos de las antenas AESA incluyen lograr capacidad multihaz y simultánea para seguimiento de múltiples blancos, gran agilidad en el apuntamiento e incluso capacidad adaptativa para cancelación de interferencias. Los módulos T/R asociados deberán ser compactos, de alta potencia y gran ancho de banda, lo que justifica la apuesta por GaN. En paralelo, los componentes de RF basados en tecnología fotónica permitirán superar barreras actuales asociadas al ancho de banda, pérdidas, tamaño o interferencias electromagnéticas.

Por último, resulta de interés el desarrollo de tecnologías electrónicas aptas para su integración en vehículos sometidos a altas solicitaciones dinámicas, como plataformas no tripuladas de gran maniobrabilidad, misiles o municiones, garantizando la supervivencia de los sistemas embarcados. En este sentido, se fomentarán tecnologías de rugerización electromagnética para proteger componentes y circuitos frente a amenazas como pulsos de microondas de alta potencia.

Durante el periodo de vigencia de la ETID, van a coexistir desarrollos en el ámbito de las antenas AESA / módulos TR / GaN, que habrán alcanzado una cierta madurez, así como aquellos de menor madurez en torno a tecnologías como metamateriales, antenas compactas de baja frecuencia o conformables, con otros futuros desarrollos que se espera promover relacionados con los retos tecnológicos antes mencionados, compatibilizando para ello inversiones del Departamento con otras externas al mismo, en el marco de programas nacionales y europeos.

APLICACIONES DE DEFENSA CON ELEVADA EXIGENCIA TECNOLÓGICA
Soluciones de guerra electrónica adaptadas al ambiente electromagnético actual y futuro
Desarrollar soluciones avanzadas de guerra electrónica en los ámbitos de comunicaciones y no comunicaciones, incluyendo capacidades de apoyo electrónico (ESM) y de contramedidas electrónicas (ECM), adaptadas al entorno electromagnético actual y emergente, e integrando avances en antenas multifunción, tecnologías de radiofrecuencia y algoritmos cognitivos de alerta e inteligencia.

El objetivo principal de la guerra electrónica (GE) es el control del espectro electromagnético, garantizando su uso por parte de las fuerzas propias para desplegar todo su potencial de combate, al tiempo que se impide su utilización por parte del adversario.

Estas capacidades se han revelado como fundamentales en los conflictos actuales, lo que hace crítico mantener actualizados los sistemas de GE y de autoprotección en todas las plataformas empleadas en defensa. Asimismo, resulta imprescindible disponer de autonomía nacional en este ámbito, y extender estas capacidades desde el nivel estratégico y operacional hasta el nivel táctico.

Debido a que la evolución de la amenaza es cada día más compleja, la tendencia apunta hacia sistemas de GE tanto de no comunicaciones como de comunicaciones, con bandas de frecuencia compartidas, lo que se traduce en retos tecnológicos relacionados con las aperturas compartidas (shared aperture) entre los distintos sistemas de RF y su adaptación a las plataformas, dando lugar al inicio de sistemas multifuncionales. Las funciones y características propias de los sistemas de no comunicaciones y comunicaciones hacen además que cada uno tenga retos tecnológicos específicos y diferentes. Es también reseñable que la aplicación de los importantes avances de la inteligencia artificial en los futuros desarrollos va jugar un papel relevante en los próximos años para dar lugar a una GE cognitiva.

En plataformas aéreas se impulsará la modularidad de los sistemas a través del desarrollo de POD tanto de reconocimiento como de perturbación electrónica que eviten el uso de plataformas dedicadas. Por otra parte, existe un creciente interés en las actividades de GE en el ámbito espacial, cubriendo tanto el desarrollo de sistemas SIGINT embarcados principalmente en pequeños satélites y constelaciones, así como sistemas para la monitorización del espectro satelital y posibles contramedidas asociadas.

El desarrollo de este objetivo se va a beneficiar de los avances que se logren a nivel de componente o subsistema en el objetivo «tecnologías electrónicas de altas prestaciones», lo que permitirá dirigir los esfuerzos de este objetivo a lograr desarrollos completos con niveles de madurez tecnológica medios o altos.

En los próximos años se tiene previsto compatibilizar la ejecución de un conjunto de proyectos de I+D+i ya iniciados en los dominios, terrestre, naval, aéreo, para sistemas tripulados y no tripulados con el desarrollo de nuevos proyectos de sistemas de GE, incluyendo el ámbito satelital, sobre los que se aplicarán los últimos avances tecnológicos que mejoren las prestaciones de los mismos o incorporen nuevas capacidades.

APLICACIONES DE DEFENSA CON ELEVADA EXIGENCIA TECNOLÓGICA
Comunicaciones militares en entornos complejos
Desarrollar soluciones avanzadas de comunicaciones tácticas capaces de operar con fiabilidad y seguridad en entornos complejos y electromagnéticamente disputados, mediante la adaptación dinámica del espectro, la incorporación de tecnologías de radio definida por software, y el despliegue de redes 5G para el intercambio ágil de grandes volúmenes de información. El objetivo es reforzar la resiliencia, interoperabilidad y autonomía tecnológica en sistemas críticos de comunicaciones para el entorno operativo multidominio.

La transformación del entorno operativo hacia una mayor digitalización y conectividad está impulsando la necesidad de redes de comunicaciones tácticas más robustas, resilientes y adaptativas. El despliegue masivo de sensores, la proliferación de nodos distribuidos de computación y la creciente necesidad de compartir información en tiempo real entre plataformas y sistemas requieren soluciones que garanticen la disponibilidad y seguridad de las comunicaciones incluso en escenarios electromagnéticamente disputados.

Las operaciones militares actuales se desarrollan en entornos caracterizados por una elevada congestión espectral, donde las interferencias, la degradación de infraestructuras o los intentos deliberados de denegación de servicio comprometen seriamente la continuidad de las comunicaciones. En este contexto, resulta imprescindible incorporar tecnologías que permitan operar de forma fiable y segura, optimizando el uso del espectro y adaptándose dinámicamente a las condiciones del entorno.

La radio definida por software (SDR) se consolida como una tecnología habilitadora clave, gracias a su capacidad de reconfiguración en tiempo real, eficiencia espectral y resistencia a interferencias. El desarrollo de nuevas formas de onda adaptadas a los entornos operativos específicos, así como la investigación en técnicas avanzadas de modulación, codificación y procesamiento de señales, permitirá aumentar el rendimiento, interoperabilidad y seguridad de las comunicaciones tácticas. Además, el desarrollo de radios cognitivas facilitará la gestión dinámica del espectro, permitiendo identificar huecos disponibles, evitar interferencias y responder con rapidez a ataques de guerra electrónica.

En paralelo, el despliegue de redes 5G tácticas ofrecerá nuevas capacidades de transmisión de datos a gran velocidad y baja latencia, habilitando aplicaciones como la nube de combate, la conexión masiva de sensores en entornos IoT, o la integración de nodos *edge computing* para el tratamiento distribuido de la información. Estas capacidades permitirán aumentar la conciencia situacional, acelerar los ciclos de decisión y mejorar la eficacia operativa de las unidades desplegadas.

Durante el periodo de vigencia de la estrategia, se pondrán en marcha actuaciones de I+D+i orientadas a madurar estas capacidades, con el objetivo de reforzar la autonomía nacional en tecnologías críticas de radiocomunicaciones y garantizar su integración efectiva en las infraestructuras de defensa. Las inversiones del Departamento se complementarán con iniciativas de cooperación nacional y europea, asegurando la alineación con los estándares OTAN y las necesidades operativas futuras.

APLICACIONES DE DEFENSA CON ELEVADA EXIGENCIA TECNOLÓGICA
Nube táctica de combate para defensa
Potenciar la capacidad de la Fuerza a nivel estratégico, operacional y táctico mediante la captura, procesamiento y distribución segura de información en tiempo real, habilitando un entorno operativo sincronizado, hiperconectado e interoperable que permita una respuesta más eficaz y coordinada ante amenazas en operaciones multidominio, tanto nacionales como en coalición.

La transformación del entorno operativo y el avance de tecnologías como la IA, las redes 5G, la computación en el borde (*edge computing*) y la sensórica distribuida están impulsando un nuevo modelo de conducción de operaciones basado en la gestión eficiente y descentralizada de la información. En este contexto surge el concepto de nube táctica de combate, que representa un entorno digital de alto rendimiento donde datos, servicios y aplicaciones pueden ser compartidos de forma ágil, cercana al tiempo real, segura y ubicua entre sensores, nodos de mando y control, y plataformas de respuesta, generando una red operativa adaptativa en todos los niveles del combate.

Este nuevo paradigma busca romper las barreras entre dominios terrestre, marítimo, aéreo, espacial y cibernético, y entre escalas de mando, promoviendo la integración completa de sistemas heterogéneos como satélites, plataformas tripuladas y no tripuladas, sensores de campo y unidades desplegadas. La nube de combate permitirá construir una imagen operacional común y dinámica, reducir los tiempos del ciclo OODA (Observar, Orientar, Decidir y Actuar) y dotar a la Fuerza de una superioridad decisiva basada en la información. Además, contribuirá a mejorar la resiliencia operativa frente a escenarios de denegación del espectro, asegurando la continuidad del mando y control incluso en condiciones de interferencia o saturación de redes.

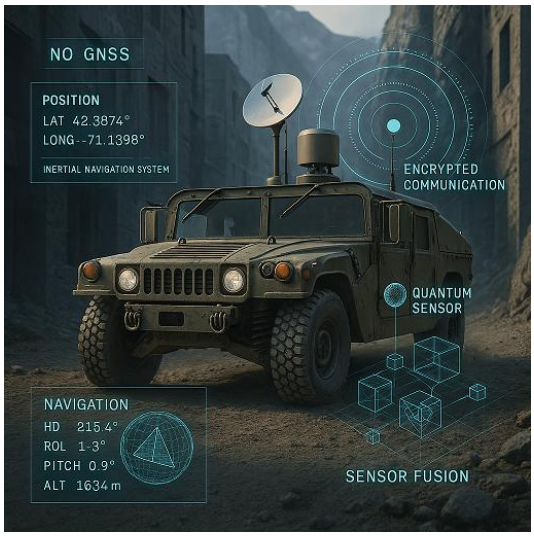
El desarrollo de esta capacidad requerirá impulsar tecnologías clave que garanticen la conectividad en entornos disputados, como redes tácticas resilientes, soluciones *edge computing* embarcadas, mecanismos de sincronización distribuida y algoritmos de priorización y fusión de datos. Asimismo, se fomentará el uso de arquitecturas abiertas e interoperables, que permitan integrar sistemas nacionales y aliados bajo marcos normativos y de ciberseguridad comunes, garantizando la protección de los datos y su disponibilidad operativa en todo momento.

La visión a futuro es que una nube de combate multidominio actúe como eje vertebrador del sistema de sistemas de las FAS, permitiendo compartir la información crítica en el momento adecuado y facilitando la planificación y ejecución conjunta de operaciones. Su desarrollo progresivo permitirá avanzar hacia modelos de operación más distribuidos, colaborativos y adaptativos, alineados con los nuevos conceptos de combate multidominio que están adoptando las principales organizaciones internacionales de defensa.

Durante la vigencia de la estrategia, se pondrán en marcha actuaciones de I+D+i que combinen el esfuerzo inversor del Departamento con programas de cooperación nacional en tecnologías duales y marcos internacionales, especialmente aquellos promovidos en el ámbito de la UE y la OTAN, con el fin de acelerar la maduración de capacidades y asegurar su integración efectiva en los sistemas de mando y control de las FAS.

APLICACIONES DE DEFENSA CON ELEVADA EXIGENCIA TECNOLÓGICA
Tecnologías para PNT robusto
Desarrollar soluciones innovadoras para garantizar capacidades de posicionamiento, navegación y sincronización (PNT) robustas, seguras y adaptadas a los requisitos operativos del entorno de defensa, tanto mediante la mejora de receptores GNSS, en particular basados en la señal PRS de Galileo, como mediante tecnologías alternativas que aseguren la operatividad en entornos GNSS denegados o degradados.

La creciente dependencia de los sistemas militares respecto a las señales GNSS para funciones críticas como la navegación táctica, la georreferenciación de sensores, la sincronización de sistemas o el guiado de plataformas representa una vulnerabilidad operativa significativa. Esta dependencia resulta especialmente crítica ante escenarios donde la señal GNSS puede ser degradada, bloqueada o suplantada mediante interferencia o spoofing. A ello se suman contextos intrínsecamente complejos, como zonas urbanas densas, entornos subterráneos, regiones de alta latitud o bajo el agua, donde el acceso fiable a la señal GNSS resulta limitado o inexistente.



En este escenario, resulta esencial disponer de capacidades PNT resilientes, versátiles y autónomas que garanticen la continuidad operativa en todo tipo de misiones. Para ello, este objetivo tecnológico impulsa el desarrollo de soluciones complementarias centradas en dos líneas principales.

La primera se orienta al desarrollo de receptores GNSS avanzados, optimizados para señales gubernamentales como el PRS (Public Regulated Service) de Galileo, con capacidad de operar en entornos electromagnéticos hostiles y bajo condiciones tácticas exigentes. Estos receptores deberán ofrecer mayor inmunidad frente a interferencias y spoofing, capacidades de detección y mitigación de ciberataques, y compatibilidad con otros sistemas GNSS aliados. Se prestará especial atención a su miniaturización, bajo consumo energético y adaptabilidad a factores de forma restringidos, como radios portátiles, equipos de comunicaciones, drones ligeros o munición inteligente, así como a aspectos de interoperabilidad con las arquitecturas de misión existentes y opciones de configuración segura y gestión criptográfica, entre otras prestaciones avanzadas.

La segunda línea se centra en el desarrollo de soluciones tecnológicas alternativas o complementarias al GNSS, diseñadas para proporcionar capacidades de PNT autónomas y fiables sin necesidad de señal satelital. Estas incluirán tecnologías como navegación inercial avanzada, sensores magnéticos y gravimétricos, navegación visual basada en inteligencia artificial, fusión multifuente, señales de oportunidad y mapas digitales del entorno. Estas soluciones deberán priorizar la autonomía operativa, escalabilidad, modularidad y resistencia al compromiso cibernético, con posibilidad de integración en sistemas tripulados, no tripulados o portables por el combatiente.

Las actuaciones previstas en este objetivo combinarán inversiones propias del Ministerio de Defensa con programas de cooperación nacional en tecnologías duales, así como con iniciativas europeas y transatlánticas, contribuyendo a reforzar la autonomía estratégica y la soberanía tecnológica en un dominio clave para la operatividad militar.

APLICACIONES DE DEFENSA CON ELEVADA EXIGENCIA TECNOLÓGICA
Soluciones tecnológicas para ciberoperaciones
Desarrollar herramientas y soluciones tecnológicas avanzadas que refuercen la capacidad de ciberinteligencia de las FAS, contribuyan a asegurar la libertad de acción en el ciberespacio y permitan ejecutar respuestas activas y proporcionadas frente a acciones hostiles, dentro del marco de la legítima defensa.

La creciente digitalización de las operaciones militares, junto con la evolución hacia un entorno multidominio y una hiperconectividad generalizada, han ampliado de forma sustancial la superficie de exposición en el ciberespacio. No solo las redes y sistemas de información están en riesgo, sino también sistemas de armas, sensores, plataformas no tripuladas y todo tipo de capacidades que dependen del ciberespacio para operar. A su vez, la elevada velocidad de evolución tecnológica, la diversidad de amenazas y la dificultad de atribución convierten el ciberespacio en un dominio operativo singular, donde resulta esencial disponer de capacidades adaptativas, resilientes y tecnológicamente avanzadas.

Este objetivo tecnológico impulsa el desarrollo de soluciones para mejorar la ciberinteligencia militar, es decir, la capacidad para observar, comprender, anticipar y evaluar amenazas en el ciberespacio. Se promoverán tecnologías que permitan la obtención de información desde múltiples fuentes, su análisis mediante técnicas avanzadas, incluyendo inteligencia artificial, y la elaboración de una imagen operativa ciber completa, en tiempo casi real, que sirva de apoyo a la toma de decisiones del comandante operativo.

Asimismo, se fomentará el desarrollo de capacidades activas de ciberdefensa, habilitando respuestas rápidas y proporcionadas que limiten la libertad de acción del adversario en el ciberespacio, bajo el principio de una respuesta proporcional y equilibrada a los ataques recibidos. Estas respuestas podrán incluir medidas preventivas o de neutralización frente a ciberataques, desinformación o acciones hostiles de carácter híbrido que afecten a las capacidades propias.

Los sistemas desarrollados deberán ser escalables, interoperables y estar preparados para operar en entornos de conflicto persistente, incorporando tecnologías emergentes y disruptivas de forma segura. También deberán ser capaces de evolucionar rápidamente para adaptarse a nuevas técnicas, vectores de ataque o cambios en el entorno operativo. Se prestará especial atención a la automatización de tareas repetitivas, la detección de anomalías, la caracterización técnica de campañas hostiles y el entrenamiento continuo de los sistemas de inteligencia artificial con datos específicos del entorno militar.

Durante el periodo de vigencia de la estrategia, se pondrán en marcha actuaciones de I+D+i que combinen la inversión del Departamento con programas nacionales e internacionales de cooperación, fomentando el desarrollo de una base industrial y tecnológica que proporcione autonomía y resiliencia en el ámbito de las ciberoperaciones.

DEFENSA CONTRA AMENAZAS ASIMÉTRICAS
Sistemas mejorados para la detección remota de IED terrestres
Desarrollo de soluciones avanzadas para la detección remota de artefactos explosivos improvisados (IED), incorporando sensores avanzados, tecnologías multisensor, inteligencia artificial, análisis de grandes volúmenes de datos y sistemas de alerta temprana. Estas capacidades están orientadas a optimizar la protección de las unidades militares en escenarios de guerra asimétrica, mejorar la eficacia operativa y reducir el riesgo para el personal.

La amenaza que suponen los IED continúa siendo una de las principales preocupaciones en operaciones de carácter asimétrico e híbrido, donde actores no convencionales emplean medios de bajo coste con alto impacto operativo. La detección temprana y remota de estos dispositivos constituye una capacidad crítica para la protección de la Fuerza y la población civil, exigiendo soluciones tecnológicas cada vez más precisas, rápidas y fiables. La evolución tecnológica permite avanzar hacia sistemas que no solo identifiquen de manera más eficaz las amenazas, sino que mejoren la toma de decisiones y reduzcan la exposición del personal.

La aplicación combinada de plataformas no tripuladas terrestres y aéreas, dotadas de sensores heterogéneos, proporciona una capacidad de exploración distribuida que incrementa significativamente el alcance y la cobertura de los sistemas de detección. Estos sistemas pueden operar en modo cooperativo, escaneando el terreno desde distintas perspectivas y elevando la calidad de la información recopilada. El uso de algoritmos de IA y aprendizaje profundo permite detectar patrones anómalos y clasificar amenazas potenciales con mayor precisión, reduciendo significativamente el número de falsas alarmas y facilitando la respuesta automatizada ante indicios de artefactos explosivos.

El desarrollo de arquitecturas multisensor se configura como un elemento clave para mejorar la fiabilidad de la detección. Tecnologías como el radar de penetración terrestre (GPR), la imagen hiperespectral, la detección infrarroja y los sensores de firma espectral pueden combinarse para identificar anomalías asociadas a IED, tanto enterrados como ocultos en el entorno. Además, técnicas de detección química y espectroscópica, basadas en nanomateriales, espectrometría de movilidad iónica, LIBS, SERS, THz o sensores gamma, permiten reconocer la presencia de compuestos explosivos o sus vapores en condiciones operativas adversas.

La integración de capacidades de big data y análisis predictivo habilita, por otra parte, la correlación de datos históricos y en tiempo real para identificar patrones recurrentes en la colocación de IED y anticipar zonas de mayor riesgo. Los sistemas de alerta temprana basados en análisis de vídeo, visión multiespectral y algoritmos de detección de cambios dinámicos en el terreno completan este enfoque, facilitando la generación automática de avisos y la actualización constante del conocimiento situacional.

Durante el periodo de la estrategia, se impulsarán proyectos de I+D+i orientados a validar estas soluciones en condiciones realistas, combinando desarrollos propios con cooperación nacional e internacional, para incrementar la madurez y la operatividad de estas capacidades críticas de protección.

DEFENSA CONTRA AMENAZAS ASIMÉTRICAS
Tecnologías para la protección frente a amenazas basadas en vehículos marítimos no tripulados
Desarrollar soluciones tecnológicas integradas para la detección, protección y neutralización efectiva de vehículos marítimos no tripulados hostiles con el fin de defender buques, puertos, bases navales y otras infraestructuras marítimas críticas ante ataques asimétricos.

Los vehículos marítimos no tripulados, en especial los de superficie (USV), representan una amenaza creciente en entornos navales críticos. Se trata de plataformas de bajo coste, difícil detección y alta maniobrabilidad, capaces de portar cargas útiles ofensivas con elevada precisión. Su reducido tamaño, firma radar limitada y capacidad para operar a baja velocidad entre el oleaje dificultan su localización y seguimiento, especialmente en condiciones nocturnas o de baja visibilidad. Esta amenaza se incrementa cuando los USV actúan por saturación, bien en enjambre, bien de forma coordinada con otros vectores, como drones aéreos o ataques electrónicos.

Para contrarrestar este tipo de amenazas se requiere una arquitectura defensiva escalonada, que integre capacidades de detección avanzada, respuesta cinética y neutralización no cinética. La detección exige desplegar redes sensoriales multisistema que combinen radares costeros y navales de corto alcance, sensores ópticos e infrarrojos, dispositivos acústicos y capacidades de vigilancia satelital o aérea, todo ello integrado en sistemas de mando y control que permitan el seguimiento en tiempo real. Asimismo, la monitorización del espectro electromagnético y la identificación de patrones de comportamiento anómalos se perfilan como herramientas clave para detectar USV hostiles y las posibles naves nodriza responsables de su despliegue.

En cuanto a las medidas de neutralización, se contempla el empleo combinado de medios convencionales, como artillería naval, armamento portátil y sistemas de protección perimetral, con otras tecnologías que aporten mayor eficacia y sostenibilidad operativa. En este sentido, la guerra electrónica adquiere especial relevancia para perturbar los sistemas de navegación y comunicaciones de los USV. A más largo plazo, se prevé el desarrollo de sistemas de energía dirigida, como láseres de alta potencia, capaces de interceptar objetivos de baja firma con tiempos de reacción muy reducidos y coste operativo mínimo.

A este desafío se suma la amenaza submarina derivada de vehículos no tripulados subacuáticos (UUV), difíciles de detectar y potencialmente letales frente a infraestructuras críticas. Su contramedida requiere capacidades especializadas de vigilancia subacuática, como sonares activos y pasivos, redes de sensores acústicos, vehículos de patrulla autónomos y tecnologías avanzadas de procesamiento de señal para identificar patrones anómalos en entornos altamente dinámicos.

En su conjunto, los retos tecnológicos asociados a este objetivo abarcan desde el desarrollo de sensores adaptados a plataformas navales hasta la mejora de los algoritmos de fusión de datos y la integración eficiente en los sistemas de combate existentes. Dado el marcado carácter dual de muchas de estas tecnologías, se impulsará el desarrollo de demostradores y prototipos mediante programas de I+D+i propios del Departamento, en coordinación con iniciativas de cooperación tecnológica nacional y europea, con especial énfasis en la participación del tejido industrial y tecnológico nacional.

DEFENSA CONTRA AMENAZAS ASIMÉTRICAS
Soluciones tecnológicas contra amenazas aéreas de baja cota
Desarrollo de soluciones tecnológicas para la detección, seguimiento y neutralización de amenazas aéreas de baja y muy baja cota, abarcando tanto amenazas clásicas (cohetes, artillería, morteros) como nuevas amenazas derivadas de vehículos aéreos no tripulados (UAS), municiones merodeadoras o kamikazes. El objetivo es facilitar su integración en los sistemas de protección de la Fuerza (capacidad C-UAS y C-RAM) y en la autoprotección de plataformas terrestres, navales y aéreas, dentro del ámbito de los sistemas de protección activa (APS).

En los escenarios actuales de conflicto, las amenazas aéreas han evolucionado con rapidez, combinando medios tradicionales como cohetes, artillería y morteros con vehículos aéreos no tripulados (UAS), especialmente los de pequeño tamaño, baja o muy baja cota y velocidad (LSS). Este tipo de amenazas, que incluye drones kamikaze y municiones merodeadoras con capacidad de operar de forma autónoma o en enjambre, plantea importantes retos para la defensa, dada su baja firma, capacidad de maniobra y bajo coste relativo frente a los sistemas de neutralización convencionales.

Esta transformación del entorno operativo exige capacidades de detección temprana, seguimiento y neutralización altamente precisas, escalables y adaptables. El objetivo tecnológico se orienta al desarrollo de soluciones con capacidad C-UAS y C-RAM que mejoren la capacidad de detección, alerta y neutralización frente a este espectro creciente de amenazas aéreas. Estas soluciones deberán basarse en la combinación inteligente de tecnologías como radares de vigilancia aérea, sensores electroópticos e infrarrojos (EO/IR) y sensores acústicos, permitiendo así una localización, clasificación y confirmación eficaz de objetivos, incluso en condiciones adversas o de alta saturación.

La interoperabilidad de los sensores, su integración en arquitecturas abiertas de mando y control, y su conexión con los sistemas de neutralización tanto cinéticos como no cinéticos (hard-kill y soft-kill), será clave para una respuesta coordinada y eficaz. La implementación de sistemas de protección activa en plataformas militares también requiere una integración fluida con los sistemas de autoprotección existentes, garantizando tiempos de reacción mínimos y alta fiabilidad operativa.

Un aspecto crítico será el uso de IA para aumentar la capacidad de respuesta, mejorar la discriminación entre amenazas reales y falsas alarmas, y facilitar la adaptación dinámica ante nuevas tácticas empleadas por los adversarios. Estas herramientas permitirán automatizar parte del ciclo de decisión, reducir la carga cognitiva sobre los operadores y aumentar la eficacia de la defensa frente a ataques simultáneos o saturados.

El desarrollo de estas soluciones se llevará a cabo mediante la combinación de inversiones del Departamento con iniciativas de cooperación nacional y europea, prestando especial atención a la madurez de las tecnologías, su integración en sistemas existentes y la generación de demostradores adaptados a las necesidades operativas reales.

DEFENSA CONTRA AMENAZAS ASIMÉTRICAS
Control de la amenaza NRBQ
Desarrollar tecnologías que mejoren las capacidades de detección, identificación y monitorización (DIM), protección física, descontaminación y desarrollo de contramedidas médicas específicas, con el fin de mitigar o neutralizar de forma rápida y eficaz los efectos de amenazas NRBQ, minimizando su impacto en las operaciones militares y la población civil.

El control de la amenaza NRBQ sigue siendo una prioridad estratégica para garantizar la seguridad de las fuerzas desplegadas y de las infraestructuras críticas, así como para asegurar una respuesta rápida y eficaz ante incidentes intencionados o accidentales. No obstante, persisten limitaciones en la capacidad para preservar áreas afectadas o actuar en entornos contaminados, especialmente en detección y alerta temprana, protección individual y colectiva, descontaminación eficiente y diagnóstico y tratamiento médico de bajas.

Los avances en tecnologías de sensorización RBQ y su integración con sistemas de comunicaciones, fusión de datos, inteligencia artificial y vehículos autónomos están permitiendo desarrollar sistemas portátiles y remotos de alta precisión. Estos permiten identificar y caracterizar amenazas a distancia, reduciendo la exposición del personal y mejorando el conocimiento situacional en tiempo real. Además, el uso de sensores embarcados en plataformas terrestres o aéreas no tripuladas aporta una ventaja operativa en tareas de reconocimiento NRBQ. A nivel nacional existen capacidades destacadas en sensores quimioresistivos, biosensores, tecnologías láser o híbridos metalorgánicos, entre otras.

En cuanto a descontaminación, se están desarrollando soluciones que minimizan el uso de líquidos, especialmente útiles sobre equipos sensibles, o soluciones optimizadas para aplicación directa sobre las personas. Entre las más prometedoras se encuentran el plasma frío, luz ultravioleta, generación de ozono, vaporización de oxidantes, recubrimientos basados en nanomateriales, agentes catalíticos y fluidos supercríticos. Existe asimismo una creciente tendencia a la integración de algunas de estas tecnologías en sistemas robóticos ya que esto permite actuaciones más rápidas, seguras y controladas.

La protección individual y colectiva también debe evolucionar hacia sistemas más inteligentes. Se busca el desarrollo de equipos de protección individual (EPI) con capacidades de autodescontaminación, que reduzcan el riesgo de contaminación secundaria. La integración de sensores en trajes, filtros o sistemas de ventilación permitirá detectar de forma continua la presencia de agentes NRBQ y el agotamiento del material filtrante.

En el ámbito médico, es necesario avanzar en contramedidas específicas, incluyendo antídotos, vacunas, agentes decorporantes y herramientas de diagnóstico precoz que puedan desplegarse con rapidez en operaciones. Su estabilidad en condiciones variables y la capacidad de producción a gran escala serán factores clave para su disponibilidad operativa.

Dado el alto valor dual de estas tecnologías, este objetivo apoyará su desarrollo mediante cooperación nacional e internacional, dirigiendo las inversiones del Departamento a su adaptación al entorno militar, el desarrollo de demostradores y la validación en ejercicios operativos que permitan alcanzar altos niveles de madurez tecnológica.

APROVECHAMIENTO DEL EMPUJE TECNOLÓGICO ACTUAL
Aplicación de la Inteligencia Artificial a defensa
Impulsar el desarrollo de capacidades basadas en Inteligencia Artificial (IA) para su aplicación ética, eficiente y responsable en defensa, como tecnología habilitadora para la mejora de la conciencia situacional, la automatización de funciones críticas, la toma de decisiones y el apoyo a operaciones multidominio en todos los niveles.

La IA se está consolidando como un habilitador esencial en la transformación digital del sector de la defensa, permitiendo nuevas formas de operar, analizar entornos complejos y coordinar sistemas interconectados en tiempo real. Su capacidad para identificar patrones en grandes volúmenes de datos, integrar fuentes heterogéneas de información y generar modelos predictivos proporciona una ventaja significativa en tareas críticas como el mando y control, la vigilancia, el apoyo a la decisión o la gestión de recursos. En este sentido, la IA no es una tecnología aislada, sino una capacidad transversal que afecta a todos los dominios operativos y a todos los niveles de la conducción militar, desde el estratégico hasta el táctico.

Su integración en los sistemas de defensa puede suponer un salto cualitativo en términos de eficiencia, adaptabilidad y superioridad operativa. La IA permite automatizar el procesamiento de información procedente de sensores distribuidos, anticipar comportamientos adversarios mediante análisis multifuente, optimizar el despliegue logístico y generar recomendaciones de decisión en escenarios caracterizados por alta incertidumbre y velocidad del conflicto. Esta capacidad de actuar con agilidad en entornos altamente dinámicos resulta clave para mantener la iniciativa y reducir la carga cognitiva de los operadores humanos.

Entre sus aplicaciones más prometedoras se encuentran la mejora de la conciencia situacional, mediante representaciones dinámicas del entorno operacional; el guiado autónomo de plataformas individuales o en enjambre; la predicción de movimientos enemigos a partir de inteligencia integrada; la coordinación de sensores y efectores en arquitecturas de combate en red; o la generación de simulaciones avanzadas para planificación y adiestramiento. Además, en sistemas de defensa activa, la IA permite priorizar amenazas, adaptar respuestas en tiempo real y coordinar el uso eficiente de recursos cinéticos y no cinéticos.

El despliegue efectivo de estas capacidades requiere superar barreras tecnológicas como la escasez de datos operativos en ciertos escenarios, las limitaciones en el uso de datos clasificados, o las restricciones computacionales en plataformas embarcadas. En este contexto, tecnologías como la generación de datos sintéticos, el aprendizaje federado, la IA generativa o los modelos explicables jugarán un papel clave. Asimismo, el desarrollo deberá garantizar el cumplimiento de principios éticos y de normas que aseguren soluciones transparentes, auditables y compatibles con los valores de las FAS.

Dado su carácter habilitador y transversal, este objetivo se abordará en coordinación con los distintos ámbitos del Departamento, priorizando las aplicaciones de mayor impacto operativo, en base a la combinación de inversiones del propio Departamento, con esfuerzos nacionales en tecnologías duales, así como con iniciativas europeas y transatlánticas, con el fin de consolidar un ecosistema robusto y soberano de IA aplicada a defensa.

APROVECHAMIENTO DEL EMPUJE TECNOLÓGICO ACTUAL
Tecnologías para el apoyo al ciclo de vida de los sistemas militares
Desarrollo y aplicación de tecnologías avanzadas que apoyen a la gestión del ciclo de vida de los sistemas militares en todos sus dominios (terrestre, marítimo, aéreo y espacial), con el objetivo de asegurar la operatividad y disponibilidad de los mismos, prolongar su vida útil y optimizar los recursos y medios empleados hasta la finalización de su vida útil.

La gestión del ciclo de vida de los sistemas militares constituye un eje estratégico para mantener la operatividad y eficacia de las Fuerzas Armadas, al tiempo que se optimizan recursos y se reduce la dependencia de materiales estratégicos. Este enfoque abarca todas las fases del sistema: desde su desarrollo y fabricación, pasando por su mantenimiento en operación, hasta su baja al finalizar su vida útil.

En las etapas iniciales de diseño y desarrollo, se persigue obtener las mejores prestaciones posibles, incorporar criterios de sostenibilidad y eficiencia, priorizando el uso de materiales accesibles y de bajo impacto estratégico, así como configuraciones que favorezcan la mantenibilidad y la modularidad de los sistemas. En este contexto, se impulsará la investigación y desarrollo en Arquitecturas Modulares Abiertas (MOSA) e Ingeniería Basada en Modelos de Sistemas (MBSE), junto con el uso de gemelos digitales, para facilitar el diseño ágil, la integración modular y la interoperabilidad de sistemas complejos, reduciendo costes de ciclo de vida y acelerando la incorporación de nuevas capacidades.

Durante la fase operativa, el mantenimiento eficiente es esencial. Tecnologías emergentes como la sensorización avanzada, los gemelos digitales, el mantenimiento predictivo, nuevas técnicas de reparación e inspección o las plataformas de diagnóstico autónomo permiten anticipar fallos, optimizar recursos logísticos y reducir tiempos de inactividad. Estas capacidades se están integrando progresivamente en plataformas militares, habilitando operaciones de mantenimiento tanto en bases nacionales como en zonas de despliegue. La inteligencia artificial potencia este ecosistema, permitiendo análisis en tiempo real, priorización de intervenciones y automatización de decisiones de sostenimiento.

La digitalización del ciclo de vida también permite una trazabilidad completa de componentes, materiales y subsistemas mediante sistemas de gestión interconectados, lo que facilita un inventariado dinámico, mejora la logística operativa y permite una mejor planificación del reemplazo o actualización de equipos.

En la fase final, se promueve la incorporación de criterios de economía circular que permitan la actualización de sistemas, recuperación de piezas útiles y reciclaje de materiales críticos, con el fin de reducir la demanda de recursos estratégicos y minimizar el impacto ambiental. Este enfoque también contribuye a una mayor autonomía tecnológica.

Durante los próximos años, se impulsarán proyectos tecnológicos orientados a madurar estas capacidades, validarlas en entornos simulados y operativos, así como a promover su integración en el sostenimiento de sistemas de defensa. Dado su marcado carácter dual, se fomentará la colaboración con el tejido industrial civil, el acceso a financiación nacional, y la coordinación con programas internacionales, maximizando el retorno estratégico y económico de estas iniciativas.

APROVECHAMIENTO DEL EMPUJE TECNOLÓGICO ACTUAL
Mejora de los procesos productivos de la industria de defensa
Desarrollo y aplicación de tecnologías avanzadas que permitan impulsar la transformación de la BITD para mejorar la rapidez, flexibilidad y resiliencia de los procesos productivos. El objetivo es evolucionar los procesos productivos desde modelos optimizados para la eficiencia y el coste reducido hacia ecosistemas industriales ágiles, escalables y digitalizados, capaces de responder a escenarios de alta demanda y mantener la superioridad tecnológica.

El contexto estratégico actual, marcado por la aceleración tecnológica y la posibilidad de conflictos de alta intensidad, exige una transformación profunda de los procesos productivos de la BITD.

El objetivo es evolucionar desde modelos tradicionales, centrados en la eficiencia y el coste, hacia ecosistemas industriales ágiles, escalables y digitalizados, capaces de responder rápidamente a escenarios de alta demanda, mantener la superioridad tecnológica y asegurar la soberanía sobre el ciclo de vida de los sistemas de defensa.

Un reto específico es la necesidad de bifurcar el modelo productivo: mantener la capacidad de producir plataformas complejas y de alto valor, a la vez que se desarrollan procesos optimizados para la producción en masa de sistemas de bajo coste (como sistemas autónomos).

Esta transformación se articula en torno a la adopción de nuevos paradigmas productivos, como la ingeniería digital integrada, que conecta todas las fases del ciclo de vida mediante modelos de datos unificados; la producción distribuida y expedicionaria, que permite fabricar en el punto de necesidad y refuerza la resiliencia logística; las arquitecturas modulares abiertas, que reducen dependencias y facilitan la actualización tecnológica; y la Industria 5.0, que fomenta la colaboración avanzada entre humanos y máquinas, potenciando tanto la producción como el mantenimiento en campo.

El despliegue de estos paradigmas se apoya en un conjunto de tecnologías habilitadoras clave, entre las que destacan los gemelos digitales y la simulación avanzada para optimizar procesos y anticipar escenarios de alta demanda; la fabricación definida por software, que posibilita líneas de producción flexibles y reconfigurables; la fabricación aditiva, que facilita la producción rápida de componentes incluso en entornos remotos; la robótica avanzada y colaborativa, que automatiza y asiste en tareas críticas; la IA aplicada, esencial para la logística predictiva y el control de calidad en tiempo real; y las redes de datos seguras, que garantizan la transmisión fiable y confidencial de información crítica.

Las actuaciones de este objetivo se desarrollarán en cooperación con otros Departamentos, maximizando la dualidad y el aprovechamiento de la innovación civil, y alineándose con la EID. El fin último es catalizar la evolución de la BITD hacia un modelo basado en la resiliencia estratégica, la velocidad de adaptación y la capacidad de escalado bajo demanda, asegurando que la industria de defensa pueda mantener y reponer material a un ritmo adecuado ante cualquier escenario.

APROVECHAMIENTO DEL EMPUJE TECNOLÓGICO ACTUAL
Plataformas terrestres no tripuladas para misiones de defensa
Desarrollar nuevos vehículos terrestres robotizados capaces de ejecutar misiones en modo no tripulado, integrando funcionalidades específicas según los requisitos de cada operación y el nivel de autonomía deseado, con el objetivo de reducir la exposición del personal a los riesgos inherentes a los escenarios de operación.

Determinadas misiones militares conllevan un alto nivel de riesgo para el personal, como ocurre en operaciones C-IED, EOD o NRBQ, el reconocimiento en zonas remotas, la evacuación de heridos, acciones de combate o tareas propias de zapadores. A ello se suman otras funciones que exigen un gran esfuerzo físico, como el transporte de materiales. En este contexto, el uso de vehículos terrestres no tripulados (UGV) permite reducir la exposición humana y aumentar la eficiencia operativa.

El desarrollo de estas capacidades plantea diversos retos tecnológicos, entre los que destacan la necesidad de sistemas de percepción y navegación autónoma robustos en entornos hostiles, la coordinación segura entre múltiples plataformas, la protección cibernética de los enlaces de control, la integración de cargas útiles complejas y la toma de decisiones autónoma en situaciones de alta incertidumbre. A ello se suma la dificultad de diseñar soluciones modulares y versátiles, capaces de adaptarse a escenarios operativos variados y exigentes.

En los últimos años se han desarrollado en el ámbito nacional distintos UGV con aplicaciones militares específicas y niveles crecientes de autonomía. Partiendo de estos avances, el objetivo tecnológico se centra en ampliar las capacidades actuales mediante la creación de nuevas plataformas para misiones no cubiertas y la mejora de los sistemas existentes. Las actuaciones previstas incluirán tanto la robotización de vehículos tripulados en servicio como el desarrollo o adaptación de plataformas no tripuladas específicas, en función de los requerimientos operativos.

Para cubrir un amplio abanico de misiones, se contempla el diseño de UGV con distintas prestaciones de movilidad, tamaño y carga útil, desde plataformas pesadas hasta miniaturizadas. A partir de estas bases modulares, se desarrollarán versiones especializadas para aplicaciones concretas como operaciones C-IED y NRBQ, vigilancia, combate, apoyo logístico, evacuación médica, ingeniería u operaciones en entornos urbanos. Estas plataformas podrán operar de forma individual o coordinada, incluyendo configuraciones cooperativas como el trabajo en enjambre. Se abordará tanto la automatización de la conducción como la gestión autónoma de cargas de pago, con niveles de autonomía ajustados a cada perfil de misión. Será fundamental considerar las condiciones específicas del entorno militar: terrenos desestructurados, navegación sin GNSS o la necesidad de evitar sensores activos. En todo caso, el uso de armamento sobre UGV requerirá siempre intervención humana.

La obtención de estos sistemas requerirá una participación activa del Ministerio de Defensa, incluyendo la realización de pruebas de campo que validen las capacidades operativas de las plataformas en entornos reales. Dado el marcado carácter dual de esta tecnología, se contempla la posibilidad de que parte de los desarrollos pueda beneficiarse de fuentes de financiación externas al Departamento, tanto nacionales como europeas.

APROVECHAMIENTO DEL EMPUJE TECNOLÓGICO ACTUAL
Vehículos submarinos y de superficie no tripulados para misiones de defensa
Desarrollar vehículos marinos no tripulados con capacidades avanzadas de autonomía, interoperabilidad y versatilidad operativa, que permitan ejecutar misiones de forma segura y eficiente, reduciendo la intervención humana en las fases de despliegue, operación y recuperación, y ampliando su uso a un espectro más amplio de escenarios tácticos.

Los vehículos marinos no tripulados, tanto submarinos (UUV) como de superficie (USV), están adquiriendo un papel estratégico creciente en el ámbito de la defensa. Conflictos recientes han demostrado su utilidad operativa, destacando el uso de enjambres de USV en ataques a plataformas navales y de UUV en tareas de reconocimiento. Su contribución en misiones de vigilancia, disuasión y combate refuerza la necesidad de seguir desarrollando estas capacidades.

En los últimos años, el Ministerio de Defensa ha puesto en marcha diversas iniciativas que han permitido identificar directamente las necesidades de las Fuerzas Armadas y orientar el desarrollo tecnológico hacia su aplicación real. Superada la fase inicial centrada en misiones de vigilancia (ISR), medidas contra minas (MCM) y evaluación ambiental rápida (REA), el objetivo es ampliar el empleo de UxV a nuevos ámbitos como la guerra antisubmarina (ASW), guerra de superficie (ASuW), protección de infraestructuras críticas, operaciones anfibias, contramedidas avanzadas o análisis del fondo marino.

Este salto operativo exige abordar retos tecnológicos significativos. La cooperación efectiva entre plataformas tripuladas y no tripuladas será esencial, así como su integración plena en los sistemas de combate de los buques de la Armada y su interoperabilidad con sistemas aliados. La mejora de los sistemas de lanzamiento y recuperación (LARS), orientada a soluciones automatizadas y versátiles, será clave para facilitar la operatividad desde buques convencionales o incluso desde otras plataformas no tripuladas.

La inteligencia artificial constituirá un pilar fundamental en esta evolución, al facilitar la navegación autónoma, la evasión de obstáculos, la identificación de amenazas en entornos cambiantes y el apoyo a la toma de decisiones en tiempo real. Será necesario, además, avanzar en tecnologías de navegación sin GNSS y en comunicaciones submarinas de alta fiabilidad, para garantizar precisión y seguridad en operaciones donde las señales tradicionales son limitadas o inexistentes.

Se contempla igualmente impulsar el desarrollo de plataformas ligeras, como los gliders, y de vehículos submarinos extra grandes, capaces de operar a mayor profundidad y con mayor autonomía. Frente a escenarios asimétricos, se prevé aumentar las capacidades ofensivas de estos sistemas para aportar mayor versatilidad operativa.

Estas actuaciones se articularán mediante iniciativas de I+D promovidas por el Ministerio de Defensa, complementadas por programas de cooperación nacional y europea, con el fin de acelerar la madurez tecnológica e incrementar la autonomía estratégica en este ámbito clave.

APROVECHAMIENTO DEL EMPUJE TECNOLÓGICO ACTUAL
UAS para misiones de defensa
Desarrollar una nueva generación de sistemas aéreos no tripulados (UAS) para misiones de defensa, mediante la potenciación de las capacidades nacionales para obtener sistemas versátiles, inteligentes y resilientes, capaces de operar de forma autónoma o colaborativa en múltiples escenarios, desde la logística hasta el combate, garantizando el máximo nivel de soberanía tecnológica nacional en este ámbito.

Los UAS se han consolidado como un elemento transformador en los conflictos modernos, aportando una ventaja significativa en operaciones multi-dominio. Su capacidad para operar de forma persistente sobre zonas de interés, con un reducido riesgo para la vida humana y un menor coste operativo, les confiere un papel central en la obtención de la superioridad de la información y en la proyección de fuerza. Por ello, su evolución constante exige superar el rol tradicional de las misiones de inteligencia, vigilancia y reconocimiento (ISR) y avanzar hacia soluciones tecnológicamente soberanas que garanticen la máxima eficacia y resiliencia en entornos hostiles y degradados.

El alcance de este objetivo tecnológico abarca desde la mejora de los sistemas de clase I, extendiendo el rango de aplicaciones de defensa en las que se vienen utilizando hasta la fecha, hasta el desarrollo de plataformas de clase II/III de medio y largo alcance tanto de ala fija como rotatoria. Se promoverá la investigación en nuevos diseños de plataformas que mejoren las prestaciones de velocidad, alcance y techo de vuelo, incluyendo capacidades de despegue y aterrizaje vertical (VTOL).

Para ello, se abordan varios retos tecnológicos clave. En primer lugar, se busca un salto cualitativo en la autonomía y la inteligencia artificial, desarrollando una aviónica modular e integral que reduzca la carga del operador y permita una gestión de misión más eficiente. Esto incluye sistemas de navegación robustos, capaces de operar en entornos de señal GNSS denegada, y una mayor capacidad de procesamiento a bordo para mejorar la conciencia situacional. Otro reto fundamental es el diseño de arquitecturas de sistema flexibles que permitan la creación de UAS multipropósito, capaces de integrar cargas de pago intercambiables para ejecutar misiones variadas, desde el apoyo a la decisión hasta el ataque cinético. Se investigarán también nuevas aplicaciones, como el desarrollo de sistemas aéreos no tripulados para el transporte y la logística en zona de operaciones.

La colaboración entre plataformas es un eje central, por lo que se impulsará el desarrollo de conceptos de operación Manned-Unmanned Teaming (MUM-T) y, de forma disruptiva, el diseño de sistemas de enjambres aéreos. Estos enjambres deberán operar de forma coordinada y autónoma como un único sistema, abordando los desafíos de su despliegue, control y recuperación.

Dado el fuerte carácter dual de muchas de las tecnologías vinculadas a los UAS, se impulsará su desarrollo combinando las inversiones del Departamento con las promovidas en iniciativas de cooperación nacional y europea, con énfasis en lograr el máximo nivel de capacitación del ecosistema tecnológico e industrial nacional y en el alineamiento de los desarrollos con las necesidades de las FAS.

APROVECHAMIENTO DEL EMPUJE TECNOLÓGICO ACTUAL
Materiales para aplicación en plataformas y combatiente
Desarrollar nuevos materiales que permitan mejorar la supervivencia de las plataformas y del personal militar mediante sistemas de protección pasiva más eficaces y tecnologías de reducción de firma, integrables tanto en las plataformas terrestres, navales y aéreas, como en los equipos de protección individual del combatiente.

La protección del combatiente y de las plataformas frente a amenazas hostiles sigue siendo uno de los pilares fundamentales de la investigación en defensa. A pesar de los avances en detección temprana o neutralización preventiva, mientras exista riesgo de bajas humanas, el desarrollo de soluciones tecnológicas que minimicen su vulnerabilidad seguirá siendo prioritario. Esta protección puede abordarse desde dos enfoques complementarios: por un lado, a través de la mejora de los sistemas de protección pasiva, y por otro, mediante la reducción de la detectabilidad.

La mejora de la protección pasiva implica el desarrollo de nuevos materiales que ofrezcan una mayor capacidad de resistencia frente a impactos balísticos, explosiones o ataques con armas blancas, al tiempo que mantengan un peso reducido. Esta necesidad es especialmente crítica en el caso del combatiente, donde el equilibrio entre protección, movilidad, ergonomía y confort resulta clave para mantener la operatividad. En el caso de las plataformas, el desafío radica en reforzar su protección estructural sin penalizar la maniobrabilidad o el consumo energético. Para ello, es necesario investigar en nuevos materiales, estructuras multicapa y soluciones avanzadas de absorción de energía.

Simultáneamente, se deben desarrollar materiales que reduzcan la firma de las plataformas y del personal en distintos rangos del espectro electromagnético. Disminuir la visibilidad radar, infrarroja, visual o acústica permite mejorar la capacidad de ocultamiento y actuar con mayor efectividad táctica, además de dificultar la identificación precisa por parte del adversario. La innovación en recubrimientos absorbentes, metamateriales, materiales estructurales de baja emisividad o soluciones multiespectrales capaces de actuar sobre varias firmas simultáneamente constituye un área de alto valor estratégico.

El desarrollo de estos materiales plantea importantes retos tecnológicos. No solo deben alcanzar los niveles de desempeño requeridos, sino que deben poder ser fabricados a escala industrial, con procesos reproducibles y compatibles con su integración en sistemas existentes. Además, se requiere asegurar su resistencia ante condiciones extremas de temperatura, humedad, desgaste o agentes químicos, tanto en entornos operacionales como en su almacenamiento y transporte.

En los próximos años, se impulsará la maduración de tecnologías ya iniciadas en ejercicios anteriores, promoviendo su validación mediante demostradores integrados. A su vez, se fomentará la aparición de nuevos desarrollos disruptivos en materiales avanzados, apoyando la transición desde fases de laboratorio hasta aplicaciones prácticas. Estas actuaciones se alinearán con programas de cooperación tecnológica nacional y europea, especialmente en el marco de tecnologías duales, combinando las inversiones del Departamento con financiación externa para maximizar su impacto operativo e industrial.

APROVECHAMIENTO DEL EMPUJE TECNOLÓGICO ACTUAL
Soluciones innovadoras para defensa en el ámbito espacial
Desarrollar capacidades disruptivas y resilientes en el dominio espacial mediante la aplicación de tecnologías *new space* para potenciar las principales aplicaciones de defensa, garantizar el acceso autónomo al espacio, mejorar el conocimiento del dominio espacial y proteger los activos propios, respondiendo con agilidad a las necesidades de las Fuerzas Armadas.

El dominio espacial se ha consolidado como un escenario estratégico donde la superioridad en la información y las comunicaciones constituye un multiplicador de fuerzas, y en el que cualquier merma de servicios repercute de inmediato en múltiples capacidades de defensa. La creciente dependencia de los activos espaciales coincide con la aparición de nuevas amenazas, como las interferencias, las maniobras hostiles o los ciberataques, y un entorno orbital congestionado, lo que exige disponer de capacidades soberanas que garanticen la libertad de acción y la protección de los intereses nacionales, en particular la del acceso a la órbita desde territorio español.

Este objetivo tecnológico se orienta a dar una respuesta innovadora a esta necesidad, aprovechando las importantes capacidades industriales del sector espacial civil y la agilidad de las tecnologías *new space*. El enfoque principal será el desarrollo de soluciones para las aplicaciones críticas de defensa: la obtención de Inteligencia, Vigilancia y Reconocimiento (ISR) mediante cargas de pago ópticas y de radiofrecuencia, las comunicaciones por satélite (SATCOM) resilientes mediante cargas de pago reconfigurables, regenerativas y con capacidad de comunicación intersatelital, y la mejora de las capacidades de navegación por satélite (GNSS), así como la alerta temprana ante misiles. Estas soluciones se materializarán en cargas de pago específicas, integradas en pequeños satélites que operarán en constelaciones LEO, permitiendo la dispersión frente a ataques, una reposición ágil y una mayor frecuencia de revisita, reduciendo costes y tiempos de puesta en servicio.

El desarrollo de este objetivo implica superar retos tecnológicos significativos. Entre ellos destacan la miniaturización de sensores de alto rendimiento, el desarrollo de una capacidad de respuesta rápida (*responsive space*), que abarque desde la fabricación aditiva a los micro-lanzadores, y la creación de tecnologías para la protección de activos frente a amenazas físicas, electromagnéticas y ciberespaciales, incluyendo el blindaje y la capacidad de reconfigurar órbitas en tiempo real, así como el impulso de sistemas de mantenimiento en órbita, plataformas estratosféricas persistentes y redes de satélites cooperativos. De forma transversal, es crucial potenciar el Conocimiento del Dominio Espacial (SDA), empleando procesado basado en IA para detectar riesgos como aproximaciones no cooperativas y sentar las bases de un futuro sistema de mando y control espacial.

Durante los próximos años, las actuaciones de I+D+i impulsadas en este objetivo buscarán desplegar y madurar estas capacidades, asegurando la convergencia con la futura arquitectura espacial de la OTAN y la UE. Estas soluciones no solo dotarán a las FAS de un acceso al espacio más resiliente y autónomo, sino que también consolidarán a la BITD como un actor relevante en un mercado global de alto valor estratégico.

POTENCIACIÓN DE LAS CAPACIDADES DE LAS PERSONAS
Tecnologías para el combatiente a pie
Desarrollar tecnologías que mejoren las prestaciones de los distintos equipos y sistemas avanzados que porta el combatiente a pie, con el fin de incrementar sus capacidades operativas, especialmente en términos de eficacia de fuego, conciencia situacional e integración con sensores y sistemas externos, así como reforzar su supervivencia, sostenimiento, movilidad y capacidad de entrenamiento en entornos exigentes.

El combatiente a pie se enfrenta a misiones de gran complejidad, a menudo en entornos hostiles que imponen altas exigencias físicas, psíquicas y cognitivas. Para afrontar estos desafíos con garantías, es necesario dotarlo de sistemas avanzados que potencien su rendimiento, aumenten su protección y mejoren su integración con el resto de medios del entorno táctico. Las nuevas tecnologías permiten mejorar significativamente las prestaciones de los equipos personales, y uno de los objetivos clave es incorporarlas de forma progresiva a las FAS.

El desarrollo tecnológico debe orientarse hacia arquitecturas modulares, abiertas y escalables, alineadas con los estándares internacionales en evolución. Esta orientación facilitará la actualización de subsistemas, la interoperabilidad entre plataformas y la reducción de dependencias tecnológicas externas. Se priorizará el diseño de una arquitectura digital segura que integre sensores, comunicaciones, armamento, visualización y navegación, y permita al combatiente actuar como nodo distribuido en redes tácticas colaborativas. Esta arquitectura deberá cumplir estándares OTAN, ser resiliente frente a amenazas cibernéticas y electrónicas e interoperar con plataformas no tripuladas. Paralelamente, se requiere optimizar el peso, volumen, consumo y funcionalidad de los subsistemas del combatiente.

Las líneas de avance previstas incluyen la mejora de la conciencia situacional mediante la integración con sensores remotos, sistemas C2 y plataformas no tripuladas, así como el uso de tecnologías de realidad aumentada y soluciones de posicionamiento en entornos sin cobertura GNSS. Se impulsará también el empleo de visión nocturna y sensores electroópticos/infrarrojos (EO/IR), junto con capacidades de explotación local de la información. En el ámbito energético, se priorizará una alimentación más eficiente mediante baterías avanzadas, pilas de combustible o células solares integradas, y se fomentará el uso de exoesqueletos que faciliten la movilidad y el transporte de cargas. Asimismo, se promoverá el desarrollo de textiles inteligentes, electrónica vestible y sistemas de regulación térmica corporal adaptados a condiciones ambientales extremas. Finalmente, la disponibilidad de sistemas de monitorización fisiológica en tiempo real puede transformar tanto el entrenamiento como la gestión operativa del personal, permitiendo decisiones informadas en situaciones de estrés o fatiga extrema. Estos datos pueden acelerar los procesos de triaje y atención médica en caso de bajas, mejorando la eficiencia de la respuesta sanitaria en el campo de operaciones, con pleno respeto a la normativa sobre protección de datos de salud.

Dado el fuerte carácter dual de muchas de estas tecnologías, se impulsará su desarrollo combinando inversiones del Departamento con iniciativas de cooperación nacional y europea, con énfasis en la participación del ecosistema tecnológico e industrial nacional para maximizar el retorno estratégico y operativo.

AVANCES TECNOLÓGICOS CON POTENCIAL DISRUPTIVO PARA DEFENSA
Adiestramiento avanzado y ayuda a la toma de decisiones mediante simulación
Desarrollar y obtener herramientas tecnológicas que permitan el adiestramiento, la preparación y la evaluación de unidades, así como el análisis y la ayuda a la toma de decisiones ante situaciones complejas con múltiples alternativas, con el fin de mejorar el desempeño de las fuerzas armadas en entornos operativos reales.

La simulación avanzada se ha consolidado como una herramienta esencial para las Fuerzas Armadas, al permitir representar de forma controlada y segura procesos, fenómenos, dispositivos o sistemas reales, con diversos niveles de fidelidad, para fines de entrenamiento, análisis de comportamiento y evaluación operativa. Su valor reside en su capacidad para preparar al combatiente de manera realista, repetible, segura y económica, facilitando la preparación con escenarios teóricos, el perfeccionamiento de habilidades, la adquisición de lecciones aprendidas y la mejora continua del desempeño.

La incorporación de nuevos avances tecnológicos está transformando las capacidades de simulación tradicionales hacia nuevos modelos más inmersivos, adaptativos y colaborativos. Los avances en realidad virtual, aumentada y mixta están permitiendo construir entornos de simulación multidominio más realistas, en los que distintos usuarios pueden interactuar de forma simultánea en escenarios complejos, integrando plataformas aéreas, navales, terrestres, espaciales y cibernéticas. Este tipo de entornos ofrecen un entrenamiento inmersivo que refuerza la preparación física, técnica y cognitiva del personal, simulando situaciones de alta exigencia operativa.

La hiperconectividad, basada en tecnologías como 5G, permite potenciar la simulación distribuida, con arquitecturas interoperables que facilitan el entrenamiento remoto y el acceso ubicuo a los entornos simulados. Esto permite la ejecución de ejercicios coordinados desde distintas localizaciones geográficas, el trabajo conjunto y cooperativo entre unidades o la simulación de una nube de combate con participación simultánea de múltiples plataformas.

El uso de la IA ofrece nuevas posibilidades en la construcción de escenarios adaptativos, capaces de modificar dinámicamente su dificultad y características en función del usuario. Asimismo, la integración de técnicas biométricas permite medir parámetros físicos y cognitivos durante el entrenamiento, evaluando las capacidades, el nivel de estrés, la carga mental o la atención, facilitando la asignación de misiones en función del perfil y rendimiento de la persona.

En paralelo, la utilización de gemelos digitales y sistemas de *wargaming* contribuye al análisis táctico, operacional y estratégico, ofreciendo una base sólida para el apoyo a la toma de decisiones en contextos de incertidumbre. Por otro lado, el fortalecimiento de la interoperabilidad entre sistemas de simulación en vivo, virtuales y constructivos (LVC) permitirá una integración más eficaz de los distintos niveles de entrenamiento, fomentando la reutilización de componentes, el uso de estándares comunes y la eficiencia en el desarrollo.

Durante los próximos años, las actuaciones de I+D+i impulsadas en este objetivo buscarán desplegar y madurar estas capacidades, combinando la inversión del Departamento con programas de cooperación nacional e internacional, e integrando al ecosistema industrial y científico en el desarrollo de soluciones específicas para las necesidades del entorno operativo militar.

SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA
Generación, almacenamiento y eficiencia energética en bases e infraestructuras aisladas
Reducir la dependencia de combustibles fósiles y mejorar la seguridad energética en bases, campamentos y otras infraestructuras aisladas del entorno militar mediante el desarrollo, adaptación y validación de tecnologías energéticas sostenibles, seguras y eficientes.

La generación de energía eléctrica en bases y campamentos desplegados en zona de operaciones depende, en gran medida, del uso de grupos electrógenos diésel, ante la falta o escasa fiabilidad de redes eléctricas locales. Aunque estos equipos ofrecen ciertas ventajas tácticas, como su disponibilidad inmediata o su robustez, su uso implica una elevada huella logística, costes operativos significativos, riesgos para la seguridad en la cadena de suministro, necesidades constantes de mantenimiento y baja eficiencia energética. Esta problemática se extiende también a otras infraestructuras militares aisladas, tanto en territorio nacional como en misiones internacionales, donde la autonomía energética resulta crítica.

Para reducir esta dependencia y mejorar la resiliencia energética, es necesario avanzar hacia soluciones más eficientes, sostenibles y adaptadas al entorno operativo. Una de las principales líneas de actuación será la integración de sistemas de generación renovable *in situ*, como solar fotovoltaica o eólica de pequeña escala, que permitan disminuir sustancialmente el consumo de combustible y reducir la vulnerabilidad logística. Complementariamente, se impulsará el despliegue de sistemas de almacenamiento energético avanzados, capaces de asegurar un suministro continuo, incluso ante la intermitencia de las fuentes renovables, y de optimizar el funcionamiento de los generadores.

La implementación de microredes inteligentes será otro eje clave, al permitir una gestión automatizada del consumo, priorización de cargas críticas, integración eficiente de diversas fuentes de energía y monitorización remota del sistema. Estas redes deberán incorporar criterios exigentes de ciberseguridad, interoperabilidad y resistencia frente a amenazas propias del entorno militar, como interferencias electromagnéticas o ataques deliberados a sistemas de control. Otras áreas de mejora es la producción de combustibles sintéticos o biocombustibles *in situ* a pequeña escala, la optimización de sistemas de climatización y agua caliente sanitaria, y el uso de soluciones constructivas y materiales con alto rendimiento térmico, capaces de reducir la demanda energética en infraestructuras desplegadas en entornos extremos.

Se trata de un ámbito claramente dual, donde muchas tecnologías ya están maduras en el sector civil. No obstante, su aplicación en defensa requiere una adaptación específica para garantizar su robustez en condiciones ambientales adversas, facilidad de transporte e instalación, bajo mantenimiento y capacidad de integración rápida en escenarios operativos complejos.

Durante los próximos años, se impulsarán proyectos de validación técnico-operativa y adaptación de soluciones existentes, especialmente en almacenamiento energético, microredes inteligentes y sistemas integrados. En paralelo, se fomentará el acceso a capacidades civiles mediante cooperación nacional e internacional, con el objetivo de reforzar la autonomía estratégica en este ámbito clave.

SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA
Nuevas formas de propulsión para plataformas tripuladas y sistemas no tripulados
Desarrollar sistemas de propulsión híbrida y eléctrica para plataformas tripuladas y sistemas no tripulados, con el fin de reducir la dependencia tecnológica exterior de la UE en este ámbito y mejorar, al mismo tiempo, las capacidades de movilidad, eficiencia energética y furtividad de los sistemas de defensa.

Las exigencias operativas actuales impulsan la necesidad de modernizar los sistemas de propulsión en plataformas militares, tanto tripuladas como no tripuladas. En el caso de las plataformas tripuladas, factores como el incremento del peso debido a protecciones adicionales, la demanda de mayor movilidad táctica, la necesidad de generar energía para sistemas embarcados cada vez más electrificados o la exigencia de operar en modo furtivo, reduciendo firmas térmica y acústica, plantean nuevos desafíos tecnológicos.

En paralelo, los sistemas no tripulados de todos los dominios (terrestre, aéreo, naval y submarino) requieren nuevas soluciones de propulsión que superen las limitaciones actuales. Existe un amplio margen para desarrollar sistemas híbridos o totalmente eléctricos que empleen tecnologías avanzadas de almacenamiento energético, como baterías de alta densidad o pilas de combustible, cubriendo el espacio intermedio entre plataformas pequeñas con propulsión eléctrica y grandes vehículos que aún dependen de motores de combustión. Adicionalmente, los sistemas de propulsión química con combustible sólido o líquido complementan estas necesidades en las aplicaciones de alta dinámica o gran velocidad.

Para garantizar la operatividad en entornos aislados o de difícil acceso, será también necesario desarrollar soluciones de recarga adaptadas a los distintos vectores energéticos (electricidad, hidrógeno, combustibles sintéticos, etc.). Estas estaciones deberán ser móviles, seguras y compatibles con los estándares militares, permitiendo así una autonomía funcional equivalente a la de los sistemas actuales.

El impulso de estas capacidades se verá favorecido por el fuerte desarrollo de tecnologías duales en el ámbito civil, especialmente en almacenamiento electroquímico y pilas de combustible, con importantes programas previstos en el próximo marco presupuestario europeo. Aprovechar esta evolución permitirá acelerar el desarrollo de capacidades propias y reducir la dependencia estratégica.

En los próximos años, los esfuerzos se centrarán en el desarrollo de demostradores que permitan validar la viabilidad técnica y operativa de las nuevas formas de propulsión. En el ámbito terrestre, se aprovechará la experiencia acumulada en proyectos anteriores como base para avanzar en soluciones híbridas o completamente eléctricas. En cuanto a las plataformas no tripuladas, se impulsará el desarrollo de sistemas con propulsión eléctrica o híbrida, con especial atención a los ámbitos aéreo y naval. Paralelamente, se analizará la conveniencia de desarrollar estaciones de recarga adaptadas a los distintos vectores energéticos, así como de impulsar tecnologías emergentes con menor grado de madurez, como las pilas de combustible para aplicaciones duales o, en el caso de plataformas navales, la aplicación de la superconductividad o la magnetohidrodinámica en sistemas de propulsión.

CAPACITACIÓN TECNOLÓGICA INICIAL
Tecnologías para el desarrollo de armas de energía dirigida y electromagnéticas
Diseño, desarrollo e integración de sistemas de armas de energía dirigida y armas electromagnéticas cinéticas (*railguns*) para su uso en defensa y seguridad. Se incluyen sistemas de alimentación capaces de suministrar energía mediante elevados pulsos de potencia eléctrica y tecnologías para la gestión energética asociada a efectos cinéticos de alta velocidad.

Las armas de energía dirigida basadas en láser de alta potencia (LDEW) y radiofrecuencia (DEW-RF), junto con las armas electromagnéticas cinéticas (railguns), están experimentando un rápido desarrollo en el ámbito global. La versatilidad de este tipo de armas, su bajo coste y reducida huella logística, unido a su creciente capacidad de destrucción y neutralización de objetivos, las convierten en una tecnología militar cada vez más relevante.

Las LDEW son especialmente eficaces para aplicaciones C-RAM y C-UAS y se utilizan para proteger plataformas terrestres y escenarios o instalaciones críticas. Por su parte, la aplicación de las DEW-RF es amplia, tanto para defensa ante amenazas aéreas (UAS, misiles y munición compleja, y aeronaves convencionales), como para combate terrestre y apoyos de fuego indirectos (neutralización de sistemas y equipos electrónicos de plataformas terrestres, centros de C2, etc.). En cuanto a los *railgun*, proporcionan efectos cinéticos de alta velocidad para neutralizar amenazas asimétricas, como enjambres de UxV y sistemas hipersónicos, así como reforzar capacidades en entornos A2/AD mediante respuestas proporcionales y de bajo coste por disparo.

No obstante, el avance de estos sistemas presenta desafíos tecnológicos significativos. En LDEW, se requiere desarrollar medios activos del láser más eficientes, evitando dependencias internacionales, y optimizar parámetros críticos como la calidad del haz a larga distancia. En DEW-RF, el reto es generar señales de RF de alta potencia (osciladores, amplificadores, moduladores) y voltajes elevados (generadores Marx), además de elementos relacionados con la emisión de pulsos de RF de amplio ancho de banda (UWB), como antenas, entre otros. En armas electromagnéticas, los desafíos incluyen la durabilidad del cañón frente al desgaste por fricción electromagnética, la gestión energética para cadencias sostenidas y proyectiles ajustables para efectos escalables. Estas armas también precisan pulsos de alta potencia en intervalos breves, lo que puede provocar caídas de tensión en la plataforma, afectando a equipos electrónicos sensibles. Por ello, se deben desarrollar sistemas específicos de almacenamiento y electrónica de potencia que satisfagan estos requerimientos sin comprometer otros subsistemas.

Por ello, de cara a los próximos años se espera promover el desarrollo de demostradores tecnológicos y prototipos que permitan fortalecer la capacidad del sector tecnológico nacional en LDEW, DEW-RF y railguns, así como su participación en alianzas internacionales enfocadas en el desarrollo integral de sistemas con funcionalidades avanzadas.

CAPACITACIÓN TECNOLÓGICA INICIAL
Tecnologías para vehículos hipersónicos
Impulsar el conocimiento, diseño y maduración de las tecnologías habilitadoras necesarias para el desarrollo de futuros vehículos hipersónicos, capaces de operar sostenidamente a velocidades superiores a Mach 5 en régimen atmosférico o exoatmosférico, tanto con fines ofensivos como defensivos, incluyendo el desarrollo de interceptores hipersónicos para la neutralización de amenazas avanzadas.

Los vehículos hipersónicos representan un vector tecnológico con alto potencial disruptivo, que impacta directamente en el equilibrio estratégico, la disuasión y la defensa aérea y espacial. Su desarrollo plantea desafíos científicos y técnicos extremos, derivados de operar en regímenes donde la aerodinámica, la termodinámica y la propulsión convencional alcanzan sus límites. Abordar estos retos requiere un enfoque integral, multidisciplinar y cooperativo.

Uno de los mayores desafíos es la propulsión hipersónica sostenida, que demanda el desarrollo de *scramjets*, estatorreactores avanzados o sistemas híbridos. Esto implica avances fundamentales en aerotermodinámica, transferencia de calor y cinética química bajo condiciones extremas, así como simulaciones fluidodinámicas y de combustión de alta fidelidad.

La aerodinámica interna y externa de estos vehículos presenta dificultades añadidas por fenómenos como ondas de choque, ionización del aire o formación de capas de plasma. Estos factores condicionan el diseño de tomas dinámicas, superficies de control y carenados, que deben equilibrar eficiencia aerodinámica, resistencia térmica y compatibilidad con el sistema propulsivo. En paralelo, se requieren materiales estructurales avanzados y recubrimientos que soporten temperaturas extremas, solicitaciones mecánicas intensas y ciclos térmicos rápidos.

El control y guiado de estos sistemas exige precisión en escalas de tiempo extremadamente reducidas. La velocidad implica que las funciones de detección, decisión y neutralización se deban ejecutar en segundos. En este sentido, es clave investigar arquitecturas de mando y control distribuidas, sensores ultrarrápidos, algoritmos asistidos por inteligencia artificial y sistemas de comunicación capaces de operar a través del plasma generado en vuelo, lo que requiere revisar las actuales tecnologías de radiofrecuencia y láser.

Finalmente, una limitación estructural en Europa es la escasez de infraestructuras de ensayo específicas para estos regímenes: túneles de viento hipersónicos, bancos de combustión o cámaras de vacío dinámicas. La dimensión y coste de estas instalaciones exige un enfoque cooperativo y compartido a escala internacional.

En su conjunto, el objetivo apuesta por fomentar un ecosistema nacional que pueda integrarse en los grandes programas tecnológicos internacionales. Se promoverán proyectos de investigación aplicada, demostradores tecnológicos y la cualificación de capacidades clave, con énfasis en la maduración de tecnologías de propulsión, aerodinámica, materiales, sensores, control y comunicaciones. Las iniciativas se coordinarán con programas europeos de I+D, esquemas de cooperación multinacional en el ámbito OTAN y esfuerzos nacionales en tecnologías duales, asegurando la complementariedad de inversiones públicas y privadas.

CAPACITACIÓN TECNOLÓGICA INICIAL
Tecnologías cuánticas aplicadas a defensa
Impulsar el desarrollo y la adaptación progresiva de tecnologías cuánticas emergentes al ámbito de la defensa, con el fin de habilitar nuevas capacidades en comunicaciones seguras, detección avanzada, sincronización precisa, simulación compleja y, a medio plazo, computación cuántica aplicada, sentando las bases tecnológicas que permitan a las FAS anticiparse a los futuros desafíos estratégicos y operativos.

Las tecnologías cuánticas están emergiendo como una de las áreas de mayor potencial disruptivo para la defensa como acelerador de capacidades críticas. Aunque muchas están en fases iniciales, su desarrollo se ha acelerado por iniciativas civiles y el creciente interés de actores estratégicos, lo que exige posicionar al ecosistema nacional de defensa para incorporar y aprovechar estas tecnologías en ámbitos clave para la seguridad nacional.

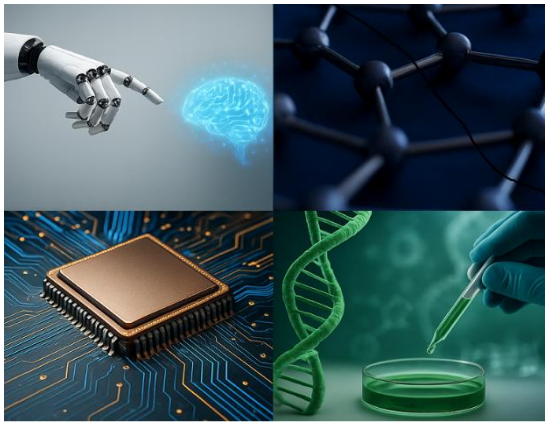
En comunicaciones seguras, se prioriza la protección de información sensible y comunicaciones críticas frente a amenazas actuales y futuras, como los ordenadores cuánticos, mediante criptografía postcuántica (PQC) y cuántica, especialmente la distribución de clave cuántica (QKD), que garantiza inviolabilidad física, y los generadores cuánticos de números aleatorios (QRNG), que aportan aleatoriedad física de alta calidad y confianza verificable para la creación segura de claves. Estas soluciones permiten arquitecturas híbridas *quantum-safe* que integran algoritmos clásicos, técnicas postcuánticas y mecanismos QKD, reforzando la ciberseguridad. Se prevé impulsar el despliegue de redes híbridas para entrega y renovación segura de claves por fibra, RF o enlaces satelitales, junto con el avance en estandarización, certificación e interoperabilidad que permita su integración en arquitecturas C4ISR y entornos multinacionales.

En lo relativo a los sensores cuánticos, desarrollo de dispositivos de extrema sensibilidad para detectar campos magnéticos, gravitacionales, eléctricos, térmicos o NRBQ, con aplicaciones como vigilancia, localización o detección submarina, entre otras. Destacan los magnetómetros NV en diamante, que operan a temperatura ambiente; acelerómetros y giroscopios cuánticos para navegación autónoma sin GNSS, y relojes atómicos portátiles y ópticos para sincronización y posicionamiento de plataformas críticas. Su desarrollo requerirá tecnologías habilitadoras como electrónica y control en tiempo real, miniaturización y packaging robusto, estabilización mecánica, aislamiento vibracional, sistemas de sincronización y comunicación seguros, y procesamiento de señal avanzado. Con TRL más bajos, se prevé explorar los sensores ópticos cuánticos para vigilancia y navegación de precisión y los sensores de RF cuánticos, incluyendo radares cuánticos, para detección de señales y objetivos con baja detectabilidad.

Otras áreas con alto potencial son la computación y simulación cuántica, que pueden resolver problemas complejos como simulación de materiales, optimización táctica o criptoanálisis. Además, la integración con IA o supercomputación facilitará diseño, entrenamiento y validación de arquitecturas híbridas, acelerando la maduración de capacidades significativas de defensa.

Las actuaciones de este objetivo se centrarán en el desarrollo de demostradores tecnológicos, experimentación en entornos operativos simulados y maduración de capacidades clave, en colaboración con el tejido científico, tecnológico e industrial nacional, alineadas con la Estrategia de Tecnologías Cuánticas de España y coordinadas con iniciativas europeas y OTAN, para maximizar las sinergias y el acceso a infraestructuras compartidas de validación y ensayo.

SEGUIMIENTO DE TECNOLOGÍAS EMERGENTES
Tecnologías emergentes con potencial aplicación futura a defensa
Vigilancia tecnológica en torno a los avances en tecnologías emergentes o de baja madurez tecnológica, cuyo desarrollo futuro podría abrir nuevas posibilidades para a I+D+i de defensa o tener importantes implicaciones, incluso causar efectos disruptivos, en el contexto de seguridad y defensa.



Existe un amplio abanico de tecnologías que actualmente se encuentran en una fase emergente, aunque con elevado potencial para provocar cambios significativos en el sector de defensa. Son tecnologías que se desarrollan principalmente en el ámbito académico e investigador.

Dada su baja o muy baja madurez tecnológica, presentan un claro carácter dual. En principio, el Ministerio de Defensa no prevé realizar inversiones específicas para su desarrollo, salvo casos concretos, existiendo ya instrumentos en el Plan Estatal de I+D+i orientados a ello. El objetivo es mantener una vigilancia tecnológica activa sobre los avances del tejido investigador nacional, actuando como vínculo con las oportunidades que puedan surgir en organizaciones internacionales de I+D+i en las que España participa.

Asimismo, se aspira a prestar apoyo y orientación a estas entidades sobre las posibles aplicaciones de sus desarrollos en el ámbito de defensa. A continuación, se apuntan algunas sobre las que se va a realizar seguimiento, siendo previsible extender esta lista durante el periodo de vigencia de la Estrategia:

- **Tecnologías cuánticas emergentes.** Las tecnologías cuánticas constituyen un ámbito con un alto potencial disruptivo para el sector defensa, si bien muchas de sus capacidades se encuentran todavía en fase temprana de desarrollo. En comunicaciones cuánticas, es clave desarrollar repetidores cuánticos para extender redes QKD en entornos distribuidos como C4ISR o plataformas espaciales, junto con memorias cuánticas, HD-QKD, fotónica integrada y protocolos avanzados de entrelazamiento y sincronización, todos componentes esenciales para garantizar la sincronización, escalabilidad, seguridad y operatividad de futuras redes cuánticas distribuidas. En sensórica, sensores ópticos cuánticos avanzados, con aplicaciones en vigilancia y navegación de precisión; sensores de radiofrecuencia cuánticos, incluyendo radares cuánticos, para detección y localización de señales y objetivos con baja detectabilidad; gradiometría e interferometría de átomos fríos, con aplicaciones en geolocalización precisa y detección de anomalías gravitatorias; sensores cuánticos híbridos emergentes, combinando átomos fríos y óptica cuántica, para medición de campos débiles y señales débiles de RF o THz. En computación, avances en arquitecturas NISQ y tecnologías con tolerancia a fallos, usando simuladores cuánticos para diseñar materiales militares avanzados y optimizar sistemas electrónicos. En criptografía, desarrollo de infraestructuras *quantum-safe*, combinando algoritmos postcuánticos, QKD y QRNG, para garantizar comunicaciones y operaciones militares seguras frente a amenazas futuras. Su implementación requerirá el desarrollo de hardware especializado de alto rendimiento capaz de ejecutar operaciones criptográficas complejas de forma eficiente y segura, con tiempos de respuesta compatibles con tráfico IP sensible en tiempo real.

- **Robótica bioinspirada y blanda.** Investigación en nuevos conceptos de robots inspirados en organismos vivos, fabricados con materiales blandos, flexibles y adaptativos, capaces de desplazarse, manipular y operar en entornos complejos, confinados o extremos donde los robots tradicionales resultan ineficaces. Estas tecnologías emergentes exploran principios biomecánicos y neuromusculares presentes en animales como pulpos, insectos o serpientes, aplicados a sistemas robóticos con gran versatilidad y capacidad de interacción segura con humanos y con su entorno. Sus potenciales aplicaciones en defensa incluyen exploración de infraestructuras subterráneas o colapsadas, infiltración discreta, desactivación de explosivos, vigilancia encubierta o intervención en entornos contaminados, con mínima firma acústica y electromagnética. Actualmente en un estado incipiente de desarrollo, estas soluciones prometen ampliar las capacidades operativas allí donde las plataformas rígidas convencionales no pueden actuar.

- **Computación avanzada y energética ultrabaja.** Investigación en tecnologías emergentes de computación con potencial disruptivo para aplicaciones militares, orientadas a reducir drásticamente el consumo energético, aumentar la eficiencia y habilitar nuevas capacidades en entornos operativos exigentes. Esta línea abarca la exploración de arquitecturas reversibles, neuromórficas, probabilísticas, ópticas y moleculares, así como técnicas de computación ultraeficiente y persistente en el borde, todas ellas actualmente en fases muy tempranas de desarrollo. Estas soluciones podrían contribuir, a largo plazo, a desplegar sistemas autónomos, sensores distribuidos, plataformas de procesamiento energéticamente sostenibles y dispositivos críticos con firmas mínimas, permitiendo nuevas formas de operar y mantener superioridad tecnológica en escenarios complejos.

- **Radar Cognitivo**. Desarrollo de tecnologías para arquitecturas radar cognitivas, capaces de percibir, aprender y adaptarse al entorno electromagnético en tiempo real. Incluye la definición de formas de onda adaptativas, la gestión dinámica de recursos y el análisis cognitivo del entorno para optimizar las prestaciones del sistema. La inteligencia artificial (IA) y técnicas de autoaprendizaje son clave tanto en el procesado de señal como en la toma de decisiones para seleccionar parámetros de operación óptimos en cada escenario. Estos sensores podrán actuar con mayor autonomía, incrementando su capacidad de detección, seguimiento y localización de amenazas, al tiempo que mejoran su robustez frente a contramedidas electrónicas y escenarios de interferencia o congestión espectral. Además, permitirán optimizar el uso del espectro y colaborar con otros sensores y plataformas para ofrecer una conciencia situacional más precisa y resiliente.

- **Nanofotónica**. Consiste en la manipulación y control de la luz a escala nanométrica, donde las propiedades ópticas de los materiales y estructuras difieren significativamente de las convencionales. Es de especial interés por las prestaciones únicas de los componentes fabricados en esta escala, como los detectores cuánticos QWIP (*Quantum Well Infrared Photodetectors*), capaces de alcanzar tiempos de respuesta muy cortos y que permiten fabricar cámaras de alta velocidad en el infrarrojo. Además de su aplicación en detectores EO/IR, la nanofotónica permite desarrollar nuevos tipos de ópticas planas, recubrimientos con propiedades específicas, espejos con comportamiento selectivo o materiales con índices de refracción controlables, abriendo la puerta a sensores más compactos, eficientes y especializados. A nivel nacional existe capacidad de I+D+i significativa en varios de estos ámbitos, especialmente en el diseño y caracterización, aunque la fabricación industrial de detectores y otros dispositivos aún no está consolidada, lo que representa una oportunidad estratégica para el desarrollo futuro.

- **Tecnologías emergentes en el ámbito espacial.** Investigación en un conjunto de tecnologías con alto potencial para transformar las capacidades militares en el espacio. Destacan la fabricación y ensamblaje en órbita de grandes estructuras (antenas,

plataformas modulares) y el uso de materiales inteligentes y adaptativos, que permitirían desplegar sistemas más flexibles y potentes. Asimismo, se exploran nuevas formas de propulsión, combustibles avanzados y sistemas de energía de alta eficiencia, para posibilitar misiones de mayor duración y alcance. Estas líneas son fundamentales para garantizar la resiliencia y superioridad de las futuras arquitecturas satelitales.

- **Biotecnología.** La explotación de sistemas biológicos para el desarrollo de productos y procesos, aplicando técnicas como la ingeniería genética y la biología molecular, tiene un alto interés para defensa en los ámbitos de la bioseguridad, la detección/identificación NRBQ, el desarrollo de contramedidas médicas NRBQ, la medicina personalizada, los tratamientos médicos regenerativos y el diagnóstico precoz. Algunas de las tecnologías involucradas en dichos ámbitos tienen ya una larga trayectoria y un nivel de madurez medio-alto, pero existe aún un amplio margen de desarrollo tecnológico que aumentará las capacidades de defensa NRBQ y asistencia sanitaria. Por otra parte, existe un potencial más incipiente en áreas como la biomanufactura descentralizada de materiales (recursos sanitarios, productos alimentarios, biocombustibles, etc.) mediante biorreactores desplegados en zona de operaciones para reducir la dependencia logística; la biología sintética, que permite el diseño de sistemas biológicos con diferentes fines, como la producción de materiales avanzados (resistentes, autorreparables...), la sensorización y biodegradación de sustancias explosivas y NRBQ, o la generación de energía eléctrica a baja escala en ubicaciones remotas (bioelectrogénesis); la bio-computación, basada la utilización de moléculas de DNA para almacenamiento y procesado de datos de alto rendimiento; los sistemas bio-híbridos, que fusionan componentes biológicos con sistemas electrónicos para crear sensores y actuadores avanzados; así como aplicaciones para el incremento del rendimiento humano, ya sean físico o cognitivo. Si bien este último ámbito presenta claros dilemas éticos, es necesario conocer a fondo las tecnologías involucradas y los desarrollos de otros países para poder contrarrestar sus efectos llegado el caso. A nivel nacional hay capacidad de I+D+i en los ámbitos médicos y de bioseguridad, pero la capacidad en el resto de los ámbitos está más limitada.

- **Interfaces Cerebro-Máquina (BCI) no invasivas:** Las Interfaces Cerebro-Máquina de nueva generación (TRL 2-3) buscan conectar directamente la mente del operador con drones u otros sistemas, permitiendo el control de múltiples elementos a la "velocidad del pensamiento", lo que reduciría drásticamente la latencia y aumentaría la capacidad cognitiva del soldado para gestionar escenarios saturados de información. El empleo de estas interfaces requiere un alto ancho de banda y un entrenamiento intensivo del usuario. El principal foco es desarrollar sensores neuronales no invasivos (cascos, parches) con alta resolución para decodificar las señales neuronales con precisión bajo estrés fisiológico y movimiento, evitando riesgos quirúrgicos y resolviendo los dilemas éticos sobre la privacidad de los datos neuronales y la responsabilidad en la toma de decisiones.

- **Tecnologías de fusión nuclear compacta.** Aunque en niveles de TRL inicial, se trata de un ámbito tecnológico de carácter dual centrado en sistemas de alta densidad de potencia para transformar la autonomía estratégica y la proyección de fuerza. Esta línea prioriza el seguimiento de reactores de pequeña escala para el despliegue de micro-redes resilientes e "islas energéticas" en bases expedicionarias, eliminando la vulnerabilidad logística de los combustibles fósiles y reforzando la protección de infraestructuras críticas. En el dominio espacial, constituye un habilitador disruptivo para motores de fusión directa, permitiendo maniobrabilidad persistente y defensa de activos frente a amenazas ASAT. Su maduración será clave para satisfacer los picos de demanda de las armas de energía dirigida y el procesamiento masivo de IA en el borde en teatros de operaciones aislados. También se incluyen los superconductores y materiales resistentes a flujos neutrónicos extremos, con especial interés en los avances de proyectos como IFMIF-DONES.

Anexo C. Niveles de madurez tecnológica

El término TRL (*Technology Readiness Levels*) o nivel de madurez tecnológica, hace referencia a una métrica que permite cuantificar de una manera aproximada el nivel de madurez de una tecnología (materiales, componentes, dispositivos, sistemas, etc.) con el objeto de valorar su posible incorporación en un sistema complejo. La utilización de esta métrica servirá de apoyo en la toma de decisiones ante la utilización de nuevas tecnologías o sistemas al determinar que se encuentran en un estado de investigación, experimentación y desarrollo adecuado para la totalidad del proyecto o misión.

Aunque existen diferentes definiciones que han sido realizadas por diferentes agencias, casi todas de ellas son similares, siendo las más importantes las realizadas por el Departamento de Defensa de Estados Unidos (DoD) y por la Agencia Espacial Norteamericana (NASA). Los niveles definidos por la NASA son los que se muestran en la figura anterior y se describen en la tabla de la página siguiente.

Figura 23. Niveles de madurez tecnológica (TRL)

Nivel TRL (Technology Readiness Level)	Descripción
TRL1. Están identificados y se han observado los principios básicos de la tecnología.	Se empiezan a identificar los principios básicos de la tecnología y su aplicación en la I+D
TRL2. Se ha formulado el concepto o la aplicación de la tecnología.	Una vez que se han identificado los principios básicos, se pueden definir las aplicaciones prácticas. La aplicación de la tecnología es teórica y no dispone de experimentación o análisis detallado con la que se pueda demostrar.
TRL3. Existe una analítica y experimentación de la funcionalidad crítica o una prueba del concepto característica.	Este nivel incluye estudios analíticos y pruebas en laboratorio para validar de manera tangible que las predicciones analíticas son correctas. Estos estudios y experimentaciones deberían formar parte de la validación mediante "prueba de concepto" de las aplicaciones/conceptos formulados en el TRL-2.
TRL4. Los componentes de la tecnología son validados en un entorno de laboratorio.	Después del éxito obtenido con la realización de la "prueba de concepto", los elementos tecnológicos básicos deben ser integrados para comprobar que funcionan correctamente todos juntos para lograr el concepto que establezca los niveles de rendimiento deseados para un determinado componente. Esta validación debe diseñarse para apoyar el concepto que se formuló anteriormente, y también debería ser afín con los requisitos de aplicaciones de un potencial sistema que utilice dicha tecnología.
TRL5. Los componentes de la tecnología son validados en un entorno relevante.	En este nivel, la fidelidad del componente que se está probando tiene que aumentar de forma significativa. Los elementos tecnológicos básicos deben integrarse de forma razonablemente realista con elementos de apoyo a fin de que la tecnología pueda ser probada en un entorno simulado o en un entorno realista.
TRL6. Se realiza una demostración de un modelo o prototipo de sistema/subsistema en un entorno relevante.	En este nivel ha de existir un modelo o prototipo representativo del sistema/subsistema, que van mucho más allá del modelo testeado en el TRL 5, se pondrá a prueba en un entorno más realista. Para poder representar un TRL 6 la prueba ha de ser totalmente satisfactoria.
TRL7. Se realiza una demostración de un prototipo de sistema en un entorno operativo.	Es un paso significativo con respecto a TRL 6 que requiere la demostración de un prototipo del sistema real en un entorno operativo, como pueda ser una plataforma o como parte integrante de un sistema complejo.
TRL8. El sistema real es probado mediante test y demostraciones.	La tecnología ha sido probada en su forma final bajo condiciones controladas. En casi todos los casos, este nivel representa el final del desarrollo del sistema real para la mayoría de los elementos de una tecnología. En este nivel se podría realizar la integración de la nueva tecnología en sistemas existentes.
TRL9. El sistema real es probado satisfactoriamente en operaciones reales.	La tecnología ha sido probada en su forma final en misiones reales. En casi todos los casos, este nivel es el resultado de la última "corrección de errores" del desarrollo del sistema real. En este nivel se podría realizar la integración de la nueva tecnología en sistemas existentes.

Tabla 10. Descripción de los niveles TRL

Anexo D. Glosario de términos

Término	Descripción
A2 / AD	*Anti-access/area denial*
ACS	Agua caliente sanitaria
AEE	Agencia Espacial Española
AEI	Agencia Estatal de Investigación
AESA	Antena de Barrido Electrónico Activo
AIP	*Air Indendent Propulsion*
ASAT	*Anti-Satellite Activities*
ATR	Reconocimiento autónomo de blancos
AUV	*Autonomous Underwater Vehicle* (Vehículo Submarino Autónomo)
BITD	Base Industrial y Tecnológica nacional de la Defensa
C4I / C4ISR	*Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance*
CapTech	*Capability Technology* (Grupo de expertos tecnológicos de la EDA)
CARD	*Coordinated Annual Review on Defence*
CDTI	Centro para el Desarrollo Tecnológico y la Innovación
CETEDEX	Centro Tecnológico de Desarrollo y Experimentación
CFD	*Computational Fluid Dynamics*
CIED	Capacidades Industriales Estratégicas de la Defensa
COINCIDENTE	Cooperación en Investigación Científica y Desarrollo en Tecnologías Estratégicas
CPI	Compra Pública Innovadora
CNA	*Computer Network Attack*
C-RAM	*Counter Rocket, Artillery and Mortar*
C-UAS	*Counter Unmanned Aerial System*
CUD	Centro Universitario de la Defensa
DDN	Directiva de Defensa Nacional
DEW-RF	*Directed Energy Weapon* - Radiofrecuencia
DIANA	*Defence Innovation Accelerator for the North Atlantic* (OTAN)
DIRCM	*Directed Infrared Counter Measures*
DPD	Directiva de Política de Defensa
ECF	*European Competitiveness Fund*
ECM	Contramedidas Electrónicas
EDA	*European Defence Agency*
EDF	*European Defence Fund*
EDIP	*European Defence Industry Programme*
EDT	*Emerging Disruptive Technologies*
EECTI	Estrategia Española de Ciencia, Tecnología e Innovación
ELINT	Inteligencia Electrónica
EMAD	Estado Mayor de la Defensa

Término	Descripción
ESM	Medidas de Apoyo Electrónico
ETID	Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa
EUDIS	*European Defence Innovation Scheme*
FAS	Fuerzas Armadas
FOB	*Forward Operating Base* (Base Operativa Avanzada)
GNSS	*Global Navigation Satellite System*
HAPS	*High Altitude Pseudo-Satellites*
HEDI	*Hub for EU Defence Innovation*
HPC	*High-Performance Computing*
I+D+i	Investigación, desarrollo e innovación
IA	Inteligencia Artificial
IED	*Improvised Explosive Device* (Artefacto Explosivo Improvisado)
INTA	Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial
ISR/ISTAR	*Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance*
LEO/MEO/GEO/VLEO	Órbitas satelitales: baja, media, geoestacionaria, muy baja
LDEW	*Laser Directed Energy Weapon*
LIDAR	*Light Detection and Ranging*
MEDEVAC	*Medical Evacuation*
METOC	*Meteorología y Oceanografía*
MLRS	Multiple Launch Rocket System
NIF	*NATO Innovation Fund*
NRBQ/NRBQe	Nuclear, Radiológica, Biológica y Química (y explosivos)
OCM	Objetivo de Capacidad Militar
OFLP	Objetivo de Fuerza a Largo Plazo
OPEX	*Operational Experimentation*
OPI	Organismo Público de Investigación
PEM	Programas Especiales de Modernización
PEICTI	Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación
PESCO	*Permanent Structured Cooperation*
PNT	Posicionamiento, Navegación y sincronización
PQC	*Post-quantum cryptography*
PRS	*Public Regulated Service* (servicio regulado de Galileo)
QKD	*Quantum Key Distribution*
QRNG	*Quantum Random Number Generator*
RAM	*Rocket, Artillery, and Mortar*
RF	Radiofrecuencia
S3	*Smart Specialisation Strategies*
SAR/MTI	Synthetic Aperture Radar / Moving Target Indicator
SEOT	Sistema Español de Observación por Satélite
SIGINT	*Signals Intelligence*
SMRF	*Scalable Multifunction RF systems*
STO	*Science & Technology Organization* (OTAN)

Término	Descripción
SWaP	*Size, Weight and Power*
TCCC	*Tactical Combat Casualty Care*
TIC	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
TRL	*Technology Readiness Level*
TQC	*Transatlantic Quantum Community*
UAS	*Unmanned Aerial System* (Sistema Aéreo No Tripulado)
UGV	*Unmanned Ground Vehicle*
USV	*Unmanned Surface Vehicle*
UUV	*Unmanned Underwater Vehicle*

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE DEFENSA
DIRECCIÓN GENERAL DE ESTRATEGIA E INNOVACIÓN DE LA INDUSTRIA DE DEFENSA
SUBDIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN