

Boletín

DE OBSERVACIÓN TECNOLÓGICA EN DEFENSA

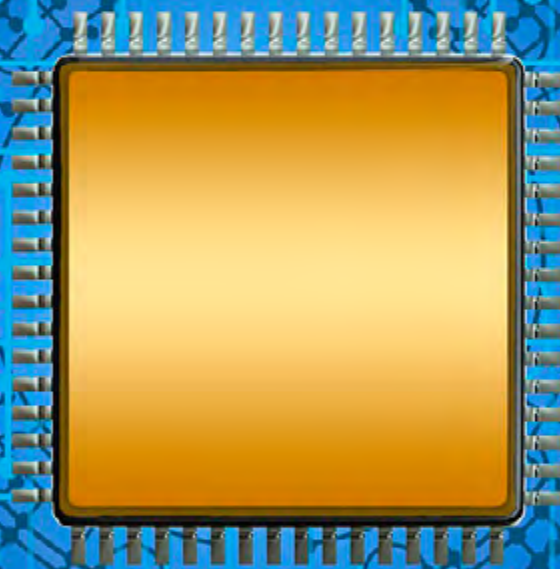


SUBDIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
Boletín de Observación Tecnológica en Defensa n.º 70 • 3.º trimestre de 2021

El problema global de los semiconductores

Alta velocidad en ala rotatoria, concepto de helicóptero compuesto

En busca de la invisibilidad: la reducción de la firma radar





Edita:



Paseo de la Castellana 109, 28046 Madrid

NIPO 083-15-183-4 (edición en línea)

NIPO 083-15-182-9 (impresión bajo demanda)

ISSN 2444-4839 (edición en línea)

Autor: Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT), Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación (SDG PLATIN) de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM), Paseo de la Castellana, 109, 28046 Madrid; teléfonos: 91 395 52 14 (Dirección), 91 395 52 80 (Redacción); observatecno@oc.mde.es.

Director: TCol. Juan Manuel González del Campo Martínez.

Consejo Editorial: Óscar Jiménez Mateo, José Agrelo Llaverol, Cte. Carlos Calderón. Stte. José María Martínez Benítez.

Asistencia Técnica de apoyo a la Redacción: Nodo Gestor: David García Dolla, Rosalía Vindel Román; Observatorio de Armamento (OT ARM): Óscar Rubio Gutiérrez; Observatorio de Electrónica (OT ELEC): Yolanda Benzi Rabazas; Observatorio de Energía y Propulsión (OT ENEP): Héctor Criado de Pastors; Observatorio de Materiales (OT MAT): Luis Miguel Requejo Morcillo; Observatorio de Defensa Nuclear, Biológica, Química y Radiológica (OT NBQR): Nuria Aboitiz Cantalapiedra; Observatorio de Óptica, Optrónica y Nanotecnología (OT OPTR): Pedro Carda Barrio; Observatorio de Plataformas Aéreas (OT PAER): Guillermo Carrera López; Observatorio de Plataformas Navales (OT PNAV): Cristina Mateos Fernández de Betoño, Jaime de la Parra Díaz; Observatorio de Plataformas Terrestres (OT PTER): Pablo Monasterio Albuerno; Observatorio de Satélites y Espacio (OT SATE): Ana Belén Lopezosa Ríos; Observatorio de Tecnologías de la Información, Comunicaciones y Simulación (OT TICS): Bernardo Martínez Reif, Isabel Iglesias Pallín.

Portada: *Computer chip* (fuente: pixabay.com, Imagen de Gerd Altmann).

El Boletín de Observación Tecnológica en Defensa es una publicación trimestral en formato electrónico del Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica orientado a divulgar y dar a conocer iniciativas, proyectos y tecnologías de interés en el ámbito de Defensa. El Boletín está abierto a cuantos deseen dar a conocer su trabajo técnico. Los artículos publicados representan el criterio personal de los autores, sin que el Boletín de Observación Tecnológica en Defensa comparta necesariamente las tesis y conceptos expuestos. Ningún material publicado en esta revista podrá ser reproducido, copiado o publicado sin el consentimiento por escrito de los autores, legítimos propietarios de los contenidos.

Colaboraciones y suscripciones:

observatecno@oc.mde.es

<http://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/es-es/Presentacion/Paginas/SOPT.aspx>

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:

<https://cpage.mpr.gob.es>

Catálogo de Publicaciones de Defensa:

<https://publicaciones.defensa.gob.es>

 **SOPT**



DGAM
Subdirección General de Planificación,
Tecnología e Innovación

CONTENIDOS

Editorial

Actualidad

- 4 ¿Dónde hemos estado?
- 6 Primer *workshop* para la industria espacial europea organizado por el Grupo de Trabajo Ad-Hoc de Espacio (*AHWG Space*) de la EDA

Tecnologías Emergentes

- 8 Alta velocidad en ala rotatoria, concepto de helicóptero compuesto

En Profundidad

- 12 El problema global de los semiconductores
- 16 En busca de la invisibilidad: la reducción de la firma radar

PLAN DE RECUPERACIÓN, TRANSFORMACIÓN Y RESILIENCIA

A lo largo del último año, diferentes departamentos ministeriales han estado trabajando para poner en marcha una ambiciosa colección de proyectos innovadores en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, iniciativa para aprovechar el importante volumen de inversión derivado del Fondo de Recuperación europeo, dirigido a relanzar la economía española y acelerar la transformación del modelo productivo hacia un crecimiento sostenible e inclusivo.

En línea con las prioridades marcadas por la UE para las próximas décadas, existen dos ámbitos complementarios que se van a beneficiar muy especialmente de estas inversiones: la sostenibilidad energética a través de la puesta en marcha temprana de tecnologías limpias, el uso de energías renovables y la mejora de la eficiencia energética, así como la transformación digital de todos los procesos productivos y de las AA.PP.

Se trata de ámbitos con un marcado carácter horizontal cuyos avances pueden impulsar el desarrollo del conjunto de sectores productivos del país, favoreciendo su adecuación a los retos de las próximas décadas. El sector de la defensa no es ajeno a este impacto, estando tanto la sostenibilidad energética como la transformación digital claramente presentes en las prioridades y objetivos tecnológicos que establece la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID 2020).

Dentro del conjunto de inversiones previstas, destacan especialmente los denominados PERTE o Proyectos Estratégicos para la Recuperación y Transformación Económica. Se trata de proyectos tractoros con un impacto transformador estructural sobre sectores estratégicos o con fases de investigación e innovación disruptivas y ambiciosas, con un importante potencial de arrastre para el resto de la economía, y que exigen la colaboración entre administraciones, empresas y centros de investigación para conseguir que escalen sus operaciones en nuestro país. Entre los PERTE que se están preparando, resultan de especial interés por sus posibles sinergias con defensa los relativos al ámbito aeroespacial y al vehículo eléctrico y conectado.

El elevado uso dual de todo este conjunto de inversiones supone una oportunidad para el aprovechamiento por defensa de los avances tecnológicos de estas inversiones, en los casos de mayor comunalidad tecnológica entre el uso civil y militar, así como para su adaptación a los requisitos específicos de defensa, en los casos en los que las diferencias sean más acusadas.

Estos beneficios constituyen una razón de peso para considerar ya desde la concepción de estos proyectos sus posibilidades de uso dual, promoviendo efectos multiplicadores en las inversiones públicas en I+D+i y un mayor crecimiento e internacionalización de la base tecnológica e industrial nacional.

Actualidad

¿Dónde hemos estado?

29 - 30 de junio y 1- 2 de julio de 2021

- **1st EDA AHWG Space Industry Workshop Meeting**

En este evento virtual de cuatro días de duración, organizado por el recientemente creado grupo AHWG Space de la EDA, se trataron importantes temas relacionados con las necesidades de I+D de las tecnologías espaciales de los 18 países que, en esa fecha, formaban el grupo (siendo actualmente 19), representados por Ministerios de Defensa, industria, centros de investigación y universidades de dichos países. España tuvo una gran participación activa, siendo el 2º país más representado, por detrás de Italia, exponiendo además desde su MoD las necesidades de I+D del sector para España, basándose en la ETID de 2020 y el Plan Director de Obtención de Capacidades Espaciales. Se pudieron destacar importantes actores, como las multinacionales AIRBUS DS, THALES ALENIA SPACE, DEIMOS, TELESPAZIO y ATOS, nacionales como SAFRAN, GMV, INDRA, SENER, SATLANTIS, FLYSIGHT, OHB y SKYLABS y centros de investigación como IMEC y Politécnico di Milano, entre otros.



30 de junio - 2 de julio de 2021

- **OPTOEL 2021: XII Reunión Nacional de Optoelectrónica**

El Congreso Bienal de Optoelectrónica, organizado por la Sociedad Española de Óptica (SEDOPTICA), tiene la finalidad de constituir un foro de debate sobre los avances realizados y las nuevas tendencias en el campo de la optoelectrónica, incluyendo todas sus áreas, así como para fomentar la colaboración y cohesión de los distintos agentes tecnológicos y aportar visibilidad a la industria y grupos de investigación nacionales. La OPTOEL de 2021 fue organizada por diferentes universidades de manera simultánea y se celebró en directo de forma no presencial.



6 de julio de 2021

- **NATO Workshop «Future interoperable capabilities based on systems with autonomous functions (SAF)»**

La CNAD (Conference of National Armaments Directors), en el contexto de implementación de la Estrategia OTAN sobre tecnologías emergentes y disruptivas, organizó el pasado mes de julio un ciclo de conferencias virtuales relacionadas con las funcionalidades autónomas de sistemas aéreos, marítimos y terrestres. Es de destacar la participación de la industria española, tanto en la sección de plataformas terrestres por parte de SENER, como en la de plataformas marinas por parte de UTEK e IQUA ROBOTICS.



... entre otros eventos

¿Dónde hemos estado?

17 de septiembre de 2021

- **REPMUS 21 «Robotic Experimentation and Prototyping Augmented by Maritime Unmanned Systems»**

En el año 2010 tuvieron comienzo los primeros ejercicios REP MUS organizados por la Universidad de Oporto en colaboración con la Marina portuguesa. Tras más de una década de ediciones, se ha sumado a la organización la propia OTAN, a través del CMRE y la iniciativa MUSI (*Maritime Unmanned Systems Initiative*), celebrándose en la península de Tróia al sur de Portugal. El objetivo de estos ejercicios fue probar, de manera experimental, las plataformas no tripuladas de ámbito naval (aéreas, de superficie y submarinas) que los países de la OTAN han desarrollado hasta la fecha. La representación española, liderada por la División de Planes del Estado Mayor de la Armada, acudió al evento con cuatro empresas de la Base Tecnológica Industrial de la Defensa: Navantia (plataforma Vendaval), Seadrone (plataforma SEAD 23), UTEK (plataforma KALUGA), todas ellas con plataformas de superficie no tripuladas (USV), así como con *Martine Instruments* (plataforma Airfox), que en este caso aportó una plataforma aérea no tripulada (AUV).



13 - 14 de septiembre de 2021

- **IX Foro de Innovación**

El viernes 17 de septiembre de 2021 se debatieron las oportunidades del sector aeroespacial y aeronáutico en el IX Foro de Innovación, celebrado de forma online. El evento fue organizado por Globalis, con la colaboración de la Diputación de Castellón y el Ayuntamiento de Vila-real y el apoyo del Aeropuerto de Castellón y se contó con la participación, entre otros, de representantes de la SDG PLATIN y de la DGAM. Con esta jornada se pretendió mostrar una radiografía de las tendencias de futuro en este sector, al tiempo que se presentaron alternativas para que empresas, organizaciones y profesionales sean capaces de aprovechar un sector en auge en la provincia gracias a la presencia del Aeropuerto de Castellón, que fomenta nuevas oportunidades sostenibles de negocio en este ámbito. La jornada contó con una mesa de diálogo en la que se expusieron detalles sobre las oportunidades que estas subvenciones suponen para las empresas. También se explicó la necesidad de contar con ayudas públicas para invertir en I+D+i en las empresas, al tiempo que se develó el modo de desarrollar proyectos de envergadura en el sector aeroespacial.



... entre otros eventos

Primer *workshop* para la industria espacial europea organizado por el Grupo de Trabajo Ad-Hoc de Espacio (AHWG Space) de la EDA

Autor: Ana Belén Lopezosa Ríos, OT SATE, SDG PLATIN.

Palabras clave: *workshop*, espacio, tecnología, EDA, Europa industria, I+D, constelaciones, satélites, lanzadores, PNT.

Líneas de I+D+i ETID relacionadas: área 8.

Introducción

Durante los días 29, 30 de junio, y 1 y 2 de julio de 2021 se celebró virtualmente el primer *workshop* dirigido a la industria espacial europea en el marco del grupo AHWG Space de la EDA, debido a las restricciones impuestas por la crisis sanitaria producida por la COVID-19. El objetivo de este evento fue reunir a la industria europea del sector para que presentaran sus capacidades tecnológicas, prioridades, expectativas, retos y oportunidades de colaboración en el ámbito de la I+T en el ámbito espacial. Se dieron cita representantes de los principales Ministerios de Defensa, empresas, centros de investigación y universidades del sector Espacio de los países que constituyen el grupo de trabajo: Alemania, Austria, Bélgica, Croacia, Eslovenia, España, Finlandia, Francia, Grecia, Holanda, Italia, Luxemburgo, Polonia, Portugal, República Checa, Rumanía y Suecia, entre otros.

Asistentes y participantes

En el evento participaron alrededor de 240 representantes de unos 18 países europeos. España, a través del MINISDEF, hizo una presentación de sus intereses en el ámbito de la investigación y desarrollo en el sector espacial, utilizando como referencia la ETID 2020 y el Plan Director de Obtención de Capacidades Espaciales. Asimismo, cabe destacar la gran participación de la industria española en el evento, la segunda por detrás de Italia, que estuvo representada

por: GMV, INDRA, SENER, PANGEA AEROSPACE, PLD SPACE, INSTER, SATLANTIS y AICOX. Además, algunas otras estuvieron representadas a través de su matriz europea, como AIRBUS DS, TELESPAZIO, THALES ALENIA SPACE y DEIMOS SPACE.

Organización y contenido del *workshop*

El primer día tuvo lugar la introducción y los objetivos del taller virtual, dando paso a continuación a las siguientes exposiciones: presentación de las principales actividades de la EDA, visión de conjunto del nuevo grupo de Espacio, actividades y colaboradores de la ESA, principales actividades del SatGen (Centro de Satélites de la Unión Europea) y, por último, intereses y prioridades de los Estados miembros, donde el MINISDEF presentó sus propios intereses y prioridades tecnológicas.

Así mismo, se presentó una encuesta destinada a la industria con la intención de reflejar las necesidades nacionales de cada Industria/país relacionadas con desarrollos tecnológicos asociados al sector espacio. La encuesta debía ser respondida durante los cuatro días de duración del taller, con el fin de presentar los

resultados obtenidos al finalizar el evento.

Los siguientes días fueron dedicados exclusivamente a las presentaciones por parte de los invitados, a los que se había solicitado previamente que presentasen su visión a medio y largo plazo (más de 5 años) sobre las perspectivas industriales, la investigación y desarrollo del sector espacial para la defensa, con la finalidad de debatir sobre los problemas identificados. Para ello se distribuyó previamente un cuestionario sobre las necesidades, retos y tecnologías susceptibles de mejorar y las posibilidades de colaboración entre diferentes países europeos.

El orden de exposiciones se basó en los siguientes Dominios Tecnológicos, TD's por su abreviatura en inglés:

- **TD1:** Arquitectura e interoperabilidad.
- **TD2:** Sensores y mecanismos de soporte.
- **TD3:** Imagen, radar y tecnologías de soporte.
- **TD4:** Posicionamiento, Navegación y Sincronismo (PNT) basado en espacio.
- **TD5:** La ayuda de la Inteligencia Artificial a la toma de decisiones y la gestión de la información.



Fig. 1 EDA. (Fuente: EDA)

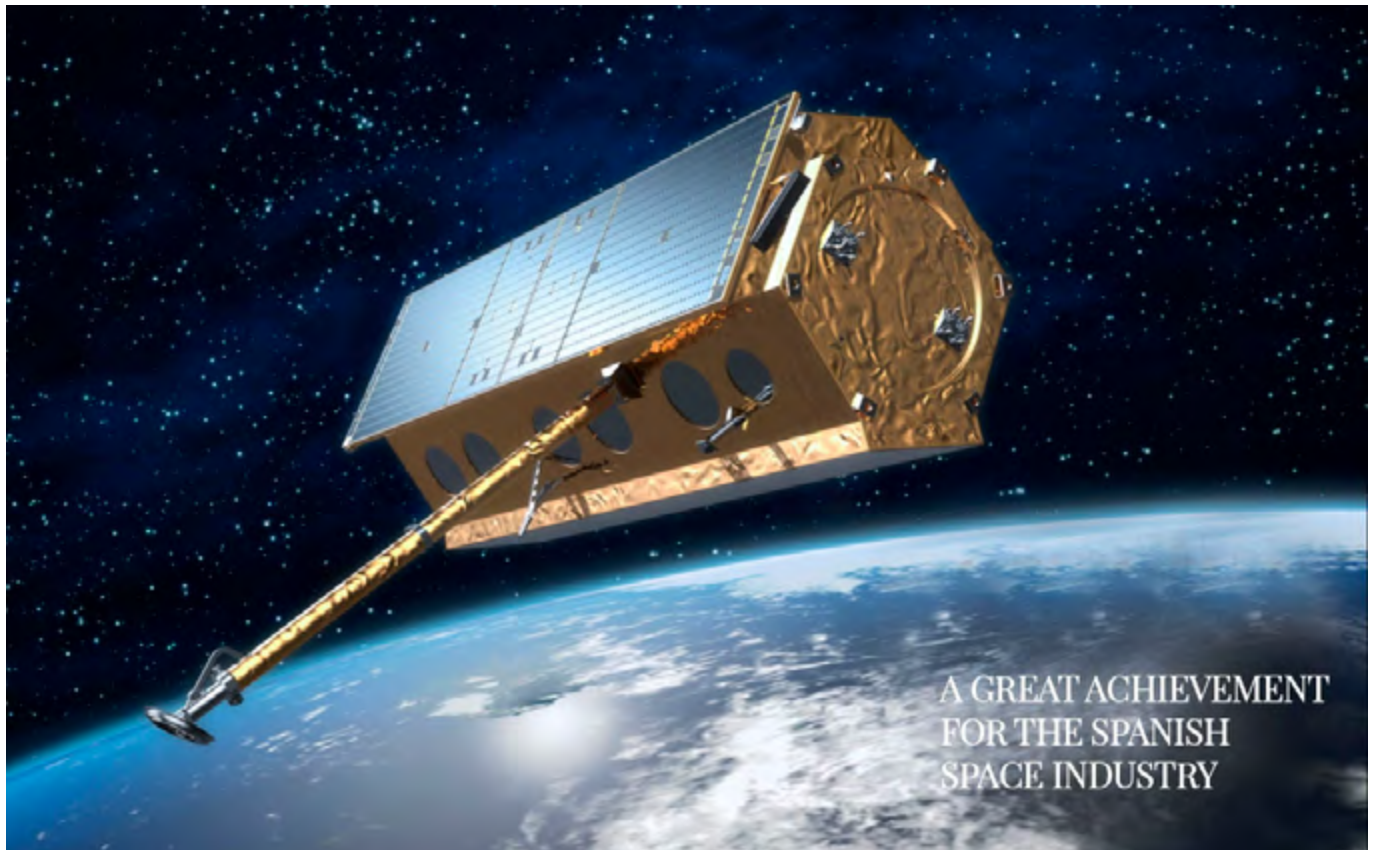


Fig. 2. I+T español en sistemas espaciales. (Fuente: MINISDEF)

En general, casi todos los participantes identificaron como sectores básicos dentro de la tecnología espacial: las comunicaciones seguras por satélite; el posicionamiento, navegación y sincronismo; la observación de la Tierra desde el espacio; la vigilancia y conciencia situacional del espacio desde tierra; y el ya de sobra conocido *New Space*, que vino para dar un acceso más rápido, menos costoso y más eficiente a los distintos actores y, obviamente, se ha quedado para continuar en el tiempo con una gran acogida mundial.

Conclusiones

Las distintas presentaciones de los principales dominios y retos tecnológicos de todos los participantes se mostraron claramente y dieron lugar a distintas conclusiones.

En cuanto a las áreas que se espera tengan mayor impacto dentro de la tecnología espacial y se esté ya investigando y desarrollando sobre ellas, caben destacar las siguientes: fusión

de imágenes satelitales y de otros sensores para la ayuda a la creación de inteligencia, creación de nuevas técnicas para la vigilancia del espacio y la protección de los activos espaciales, tecnologías cuánticas para comunicaciones seguras a través del espacio (desarrollo de HAPS para su uso combinado con constelaciones espaciales convencionales y aquellas más recientes de pequeños satélites y órbitas LEO y MEO), sistemas de propulsión menos contaminantes y con capacidad de retorno controlada y aplicaciones para ayuda a la protección de rutas marítimas, lucha contra la piratería, salvamento y rescate, detección de incendios, sistemas de alerta temprana contra misiles balísticos o vehículos hipersónicos, entre otras.

Los retos más complejos que se necesitan afrontar para alcanzar los desarrollos de los sistemas deseados son variados, tales como la falta de comunicación fluida entre usuarios finales y actores, falta de programas

sólidos para fabricación, pruebas y puesta en servicio, dificultad para establecer uniones con colaboradores y difícil acceso a financiación.

Y, por último, los países participantes en este evento mostraron su gran interés de colaboración en áreas como PNT basado en espacio, toma de decisiones utilizando la Inteligencia Artificial, I+D en gestión del tráfico espacial, IA para procesado de imágenes, constelaciones multisensoriales para vigilancia, comunicaciones seguras (antenas electrónicas, antenas distribuidas, etc.), vehículos autónomos y operaciones robóticas.

Este primer *workshop* del grupo fue muy satisfactorio, tanto para los organizadores como para los diferentes países miembros y la industria, por lo que solo ha supuesto el inicio de una serie de eventos que ayudarán a definir la agenda estratégica de investigación (SRA) del nuevo AHWG. Por ello, se tiene previsto realizar otro segundo *workshop* industrial a mitad de noviembre del presente año.

Tecnologías Emergentes

Alta velocidad en ala rotatoria, concepto de helicóptero compuesto

Autores: D. Juan Manuel Jiménez García, Coordinador R&D&T, Airbus Helicopters España.

Palabras clave: helicópteros, ala rotatoria, alta velocidad, helicóptero compuesto.

Líneas I+D+i ETID relacionadas: 7.1.2.

Introducción

Actualmente atravesamos un periodo de transición y cambios en el desarrollo de plataformas aéreas tanto las de ala fija como rotatoria, tanto por la evolución de los conceptos de uso, como por la influencia que el desarrollo tecnológico está teniendo a lo

largo del ciclo de vida de las plataformas.

De cara a analizar la evolución del concepto operacional del ala rotatoria a lo largo del siguiente artículo, se va a presentar una descripción general multidisciplinaria de una de las configuraciones de helicópteros compuestos de alta velocidad, que puede dar respuesta a este nuevo ámbito operacional del ala rotatoria. Dicho desarrollo de concepto se está llevando a cabo a nivel civil por parte de *Airbus Helicopters* dentro del marco de la iniciativa Europea, *Clean Sky 2*. El objetivo del proyecto es lograr el desarrollo y prueba de un demostrador de helicóptero de alta velocidad (*RACER-Rapid Cost Effective Rotorcraft*). El desarrollo del concepto de un helicóptero compuesto de alta velocidad tiene como objetivo lograr mejoras operativas y económicas aprovechando las ventajas de las características o requisitos necesarios

para la alta velocidad; derivado de este requisito se obtendrán, además, mejoras en el ámbito del alcance (notable incremento), sin detrimento de las capacidades de vuelo estacionario y, gracias a estas características únicas de la aeronave, se mejoraran las actuales capacidades que ofrecen las naves de ala rotatoria, tanto a nivel civil como militar.

Desarrollo

Como se ha experimentado a lo largo de los últimos 70 años, los helicópteros, tal como los conocemos, muestran excelentes capacidades de vuelo estacionario, esta capacidad es parte de su «leitmotiv», debido a esta especialización de la aeronave, se encuentra limitada su velocidad en vuelo horizontal, limitando por tanto sus capacidades en crucero. Estas limitaciones están asociadas a dos fenómenos aerodinámicos del rotor principal: El primero, la entrada en pérdida de la pala en retroceso



Fig.1. Demostrador XE. (Fuente: AIRBUS Helicopters).

y el segundo, la altísima velocidad que se alcanza en la punta de la pala (números de Mach Altos). En términos generales, las capacidades de sustentación y empuje de un rotor de helicóptero disminuyen conforme se incrementa la velocidad de avance, limitando de esta forma sus capacidades en vuelo de avance horizontal.

A lo largo de la historia se han realizado numerosos intentos de combinar la eficiencia y el rendimiento de las aeronaves de ala fija junto a las ventajosas capacidades de vuelo estacionario y despegue vertical de los helicópteros. Los helicópteros compuestos o girodinós y los convertiplanos han sido los conceptos más prometedores que se han venido explorando y desarrollando, siempre focalizados en superar las barreras o deficiencias en vuelo de avance horizontal de los helicópteros puros, mediante la introducción de características y soluciones de aeronaves de ala fija. Sin embargo, todos los conceptos representan una relación de compromiso entre ambos tipos de aeronaves, dicha relación de compromiso es la que marca sus capacidades y prestaciones finales como nave, que además deben estar en consonancia con el tipo y perfil de misión para la que la aeronave está pensada. Dos ejemplos de lo anteriormente comentado son los bien conocidos convertiplanos el V-22 Osprey y el AW 609.

Concepto funcional

Los helicópteros compuestos se caracterizan por ser una fórmula que combina de forma equilibrada tanto la sustentación como el empuje de las aeronaves de ala fija y rotatoria, combinándolos de forma perfecta para poder así «descargar» el rotor principal de sus tareas simultáneas de sustentación y propulsión. Gracias a esta configuración de aeronave se pueden alcanzar velocidades de avance mucho más elevadas, casi al nivel de un turbohélice. Para poder materializar esta fórmula de éxito, es necesario conseguir una sustentación adicional a la del rotor principal (para así poderlo descargar), lo cual implica la necesidad de dotar a la aeronave con perfiles aerodinámicos funcionales (lo que supone agregar alas a un vehículo tipo helicóptero puro; gracias a esta solución el factor de carga de la aeronave es incrementado



Fig. 2. Arquitecturas de helicópteros compuestos planteadas. (Fuente: AIRBUS Helicopters)

y por lo tanto se puede alcanzar una mayor maniobrabilidad así como mejorar la eficiencia del helicóptero (si lo tomamos como base del desarrollo) a una velocidad moderadamente alta, a expensas de la reducción de la eficiencia a velocidades de avance más bajas y en vuelo estacionario. El desarrollo de un sistema compuesto, implica que también el empuje debe ir en esta línea, por lo que se busca reducir la dependencia del rotor principal en vuelo de avance y por lo tanto hay que añadir dispositivos de propulsión auxiliares. Típicamente esto se logra por medio de la integración de una o un par de hélices movidas por transmisiones engranadas a los motores turbo-eje que equipan la aeronaves, o bien mediante el uso de motores adicionales en dichas hélices, en aras de garantizar una propulsión adicional. Algunos ejemplos son el Sikorsky S-69, el VFW H3 y

el Gyrodyne GCA-2A. Otra potencial solución es la arquitectura desarrollada en la plataforma S-97 donde se integran como solución de composición de empuje dos rotores principales coaxiales en combinación con una única hélice propulsora integrada en la parte final del fuselaje trasero de la plataforma. En términos generales, se considera que la solución basada en un empuje compuesto es la más efectiva en comparación con una configuración de vehículo compuesto, focalizado únicamente en la de elevación pura.

El desarrollo más amplio de una configuración de un helicóptero o aeronave compuesto/a, incluye también la integración de alas y unidades de propulsión. La sustentación durante el vuelo de crucero la proporcionan simultáneamente el rotor principal, en condición de funcionamiento convencional

Tecnologías emergentes

o en modo de autorrotación, y por las alas funcionales, aerodinámicamente hablando. Ya que dentro de las aeronaves de ala rotatoria, y especialmente dentro del ámbito militar, existen múltiples ejemplos de alas embrionarias o *stub wings*, cuya misión no es la de generar sustentación si no la de portar otros elementos. Como resultado de esta arquitectura, el helicóptero compuesto es capaz de superar las limitaciones de entrada en pérdida del rotor principal sin ningún problema y, debido a sus alas funcionales, las pérdidas de empuje gracias a la instalación las hélices auxiliares, ya sean propulsivas o tractoras. Como resultado se obtiene un incremento del factor de carga a unos ratio más elevados, lo cual nos da la posibilidad de volar a una mayor velocidad. El uso de un par de hélices de empuje/tractoras permite obtener una corrección simultánea del par mediante las fuerzas compensadas. Uno de los primeros ejemplos de este concepto de aeronave compuesta fue el «*Fairey Gyrodyne*» desarrollado como demostrador experimental en el Reino Unido en 1947, un ejemplo reciente de este sistema es el demostrador desarrollado por Airbus Helicopters denominado X3.

Impacto en la Aeroestructura - Concepto X³

Otro tipo de solución de aeronave que da respuesta a este reto son las que están basadas en un sistema de propulsión compuesta entre helicóptero y aeronave de ala fija, que suelen estar formados por un fuselaje al que se le integran unas alas funcionales que, normalmente, están unidas al fuselaje central o al extremo de popa del Puro de Cola (*Tail Boom*), junto con un sistema propulsivo similar al de vehículos de ala fija. La instalación de los motores al fuselaje solo es viable si se utilizan turborreactores (ejemplos como Bell Model 533, Kaman UH-2, Lockheed XH-51A). A pesar de la ventaja de tener alas «limpias», esta disposición no permite capacidades de autorrotación, por lo que requiere la instalación de un rotor de cola adicional en aras de preservar las características de *Vertical Take Off and Landing* (VTOL). Esta solución puede tener distintas configuraciones, configuraciones con un solo rotor principal y una hélice de empuje montada en el puro de cola (AH-56A). Otra posibilidad es

la de integrar los elementos propulsivos en las alas, siendo las localizaciones óptimas las que se encuentran alejadas del encastre del ala al vehículo. (*Fairey Rotodyne*) y (*Fairey Jet Gyrodyne*, AH-X3).

Se ha explorado una gran variedad de arquitecturas compuestas, algunas de ellas se han desarrollado hasta nivel de madurez nada desdeñable, pero ha de recalarse que nunca, por ahora, se ha llegado la producción en serie.

Demostrador RACER

El demostrador RACER será una aeronave o helicóptero de clase media (en términos de MTOW) con una velocidad de crucero superior a 220 kt. La arquitectura de la aeronave está basada en la experiencia adquirida a través del demostrador X³ del que ya hemos hablado. El RACER se basa en el concepto de helicóptero compuesto, por lo que incluye un ala funcional y doble (patentada por *Airbus Helicopters*) y hélices propulsoras (rotores laterales), además de un fuselaje trasero sin rotor antipar revolucionario de arquitectura disruptiva. Los principales aspectos innovadores de esta aeronave se encuentran a nivel de la arquitectura general de la misma, que se describe a continuación, y su integración de cada subsistema. En este sentido se han implementado nuevas tecnologías de cara a contribuir a la eficiencia general de la nave, como componentes estructurales fabricados en materiales compuestos de última generación, procesos de producción avanzados (Ooa - *Out of Autoclave*; AM - *Additive*

Manufacturing, etc.) y eficientes, novedosa arquitectura de la transmisión principal optimizándola y generación de CC de alto voltaje. El tamaño del demostrador está pensado para optimizar la realización las siguientes misiones específicas bajo unos nuevos estándares, particularmente las de EMS, SAR y transporte de pasajeros.

Los beneficios que esta arquitectura puede proporcionar al desarrollo de las misiones tipo ya han sido contrastados con el X³ y, por lo tanto, se conoce todo el potencial de incremento del beneficio que este nuevo vehículo puede prestar y se puede ilustrar con los siguientes ejemplos.

- En el caso de las operaciones de emergencia y rescate uno de los condicionantes que permiten aumentar las probabilidades de éxito de la misión es poder llegar a las personas en dificultad en el menor tiempo posible. En este sentido, el aumento de la velocidad de vuelo en un 50% permite que se pueda llegar a doblar el área de acceso y operación de la plataforma (alcance), aumentando notablemente el perímetro de actuación dentro de la «hora de oro» de las operaciones de emergencia y rescate. A lo que habría que añadir los beneficios en términos económicos al poder reducir el número de bases, así como aumentar el número de misiones y reducir el número de máquinas que operan, gracias a este tipo de aeronave, como ya se ha comentado.



Fig. 3. Demostrador RACER. (Fuente: AIRBUS Helicopters)



Fig. 4. Comparativa alcance helicóptero convencional vs helicóptero compuesto. (Fuente: AIRBUS Helicopters)

- Si tratamos de trasladar estas ventajas a las posibles necesidades militares, nos encontramos con que el uso de estas plataformas pueden aportar notables mejoras operativas no solo a las misiones SAR, sino a aquellas en las que el tiempo de ejecución suponga un factor determinante como MEDEVAC o soporte aéreo cercano, entre otras.

Conclusiones

Como se plasma a lo largo del artículo, actualmente nos encontramos inmersos en un proceso de evolución de las plataformas aéreas de ala rotatoria. Dicho proceso busca la consecución de un salto sustancial en términos de eficiencia y de prestaciones, especialmente en el ámbito de la alta velocidad, permitiendo así tener aeronaves que se muevan casi tan rápido como un turboprop, pero con capacidades VTOL. Si bien, el factor clave en este desarrollo vendrá dado por el tipo de solución o arquitectura de la plataforma en aras de que obtenga las mejores ventajas del vuelo horizontal, sin detrimento del vuelo a punto fijo. Se están desarrollando varios prototipos revolucionarios de distintos programas a uno y otro

lado del globo en esta carrera del ala rotatoria hacia la alta velocidad y la excelencia en el desarrollo de las misiones.

El desarrollo de estas plataformas puede traer consigo una notable evolución en términos de capacidad, dado el aumento en los rangos que las plataformas pueden alcanzar como por su notable aumento de la velocidad de vuelo en el entorno de un 50% de incremento. En este sentido, se considera que existe una convergencia en los beneficios que estas plataformas pueden aportar tanto a nivel civil como militar. Es por ello que el desarrollo de demostradores y su posterior experimentación a nivel civil, como es el caso del RACER, pueden contribuir a la evolución de los conceptos de operación militares.

A nivel global el impacto en términos de capacidades del uso de plataformas de ala rotatoria de alta velocidad se ve reflejado en el interés con el que las grandes potencias militares han comenzado a lanzar proyectos que exploren su uso a nivel militar, de cara a desarrollar plataformas con capacidad operativa en el medio plazo (2035 - 2040). A este respecto, como ejemplo la iniciativa estadounidense del

Future Vertical Lift (FVL) con el *FARA (Future Assault and Reconnaissance Aircraft)* y el *FLRAA (Future Long Range Assault Aircraft)*, implica el desarrollo por parte del *US ARMY* de un demostrador de alta velocidad y prestaciones que se adelante a una futura necesidad operativa y que permita desarrollar un concepto de operación adaptado a los nuevos escenarios operativos y bajo nuevos estándares. En esta línea existen otros programas similares a nivel europeo, OTAN, chino, japonés y ruso, tanto para vehículos de ala rotatoria tripulados como RPAS.

Se considera por tanto un concepto de plataforma que, si bien actualmente cuenta con un estado de madurez limitado en el ámbito militar, su desarrollo puede generar una mejora notable con respecto a las plataformas tradicionales, tanto a nivel operativo como en lo referente al ciclo de vida e integración con otros sistemas, pudiendo suponer el próximo salto tecnológico en materia de plataformas de ala rotativa. Como conclusión final, simplemente decir que la alta velocidad en ala rotatoria ha llegado para quedarse y que se espera que pueda suponer una segunda revolución en términos operativos de los vehículos de ala rotatoria.

En Profundidad

El problema global de los semiconductores

Autor: Francisco Martínez García, SDG PLATIN.

Palabras clave: semiconductor, chip, Taiwán, UE, EE UU, nodo, China, TSMC, Samsung, Intel, *NextGenerationUE*, plan, transformación, resiliencia, EDT, IPCEI.

Líneas I+D+i ETID relacionadas: subárea 2.1.

Introducción

El pasado 7 de diciembre de 2020 [1], veintidós Estados miembro de la Unión Europea firmaron una declaración conjunta en materia de procesadores y tecnología de semiconductores, incluyendo España. En esta declaración se acuerda reforzar la cadena de valor de la electrónica, especialmente el ecosistema de los semiconductores y expandir la industria en toda la cadena de suministro, con el objetivo de establecer capacidades no solo de diseño de chips sino, también, y este es el matiz importante, de producción avanzada.

Los semiconductores son la piedra angular de la innovación y de la competitividad industrial en un mundo digital y determinan las características de productos como coches, teléfonos móviles y ordenadores, entre otros. Son la columna vertebral de las sociedades modernas y el fundamento de las tecnologías disruptivas emergentes (EDT, por sus siglas en inglés), incluida la inteligencia artificial o la computación cuántica. En resumen, se podría decir que los materiales semiconductores son el componente esencial de los chips que están integrados en los aparatos electrónicos y que les proporcionan la capacidad de procesamiento.

Evolución industrial internacional

Los chips están compuestos principalmente por transistores, dispositivos electrónicos semiconductores utilizados para entregar una señal de salida en respuesta a una señal de entrada. En las últimas décadas ha habido una carrera mundial en la que los fabricantes han tratado de incorporar mayor número de transistores en un mismo espacio de oblea de silicio. Mientras que el procesador de escritorio promedio en 1998 tenía aproximadamente 7 millones de

transistores, los procesadores de teléfonos inteligentes en 2018 integraban 7 mil millones [5].

En la actualidad solo cuatro empresas [3] son capaces de fabricar estos semiconductores de última generación: GlobalFoundries, la taiwanesa TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company), la coreana Samsung y la norteamericana Intel.

Proceso de fabricación

En ocasiones, para mostrar cómo de avanzado es el proceso de fabricación, además de la densidad de transistores se utiliza un sistema de numeración medido en nanómetros. El «nodo» o «tecnología de nodo» designa un proceso específico de fabricación de semiconductores y sus reglas de diseño. Así, por ejemplo, el nodo de 14 nm está menos avanzado que el nodo de 7 nm.

Esta denominación, aunque sencilla, no siempre refleja la realidad de forma correcta, pero permite comparar los diferentes procesos de fabricación alcanzados por los fabricantes. Se estima que el nodo de 7 nm de TSMC es comparable en densidad de transistores al nodo de 10 nm de Intel (en el entorno de

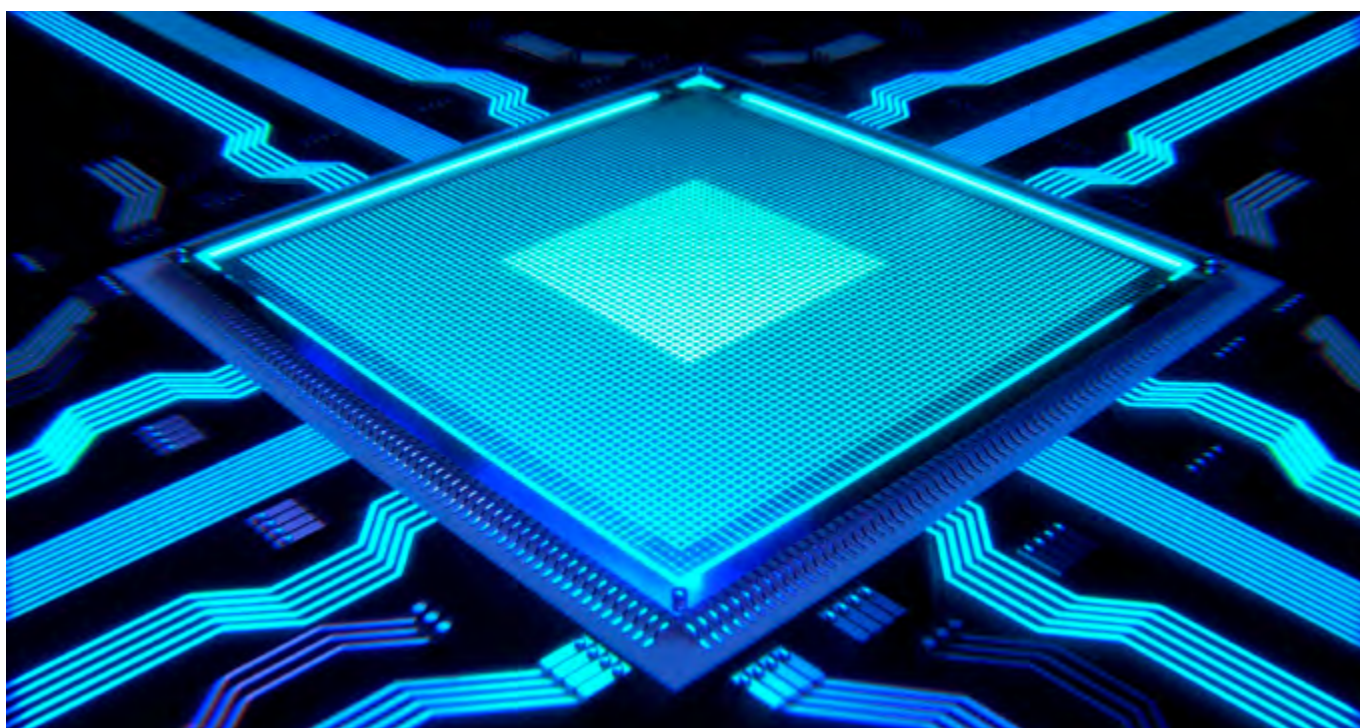


Fig. 1. Superficie de una oblea de silicio de 12 pulgadas. (Fuente: *Wikimedia Commons*).

los 100 millones de transistores por milímetro cuadrado) [7].

La evolución de la tecnología de nodo y su relación con el número de empresas capaces de conseguirlo, muestra la concentración que ha experimentado esta industria en la última década. Mientras que a finales de la década de 1990 más de 20 empresas operaban plantas de fabricación (conocidas como «fabs») de 180 nanómetros (nm), hoy solo TSMC y Samsung tienen la capacidad para ejecutar con éxito fábricas de 5 nm [5]. En este grupo de vanguardia también se encuentra la norteamericana Intel, aunque recientemente ha comunicado ciertos problemas para conseguir bajar a los 7 nm.

La razón fundamental de esta concentración reside en que el proceso de diseño, prueba, fabricación y empaquetado de semiconductores es muy complejo e intensivo en capital, y las inversiones necesarias para conseguirlo no mantienen una relación lineal con la densidad alcanzada [3].

El futuro de la fabricación

Según estimaciones de TSMC, la siguiente generación de fábricas de 5 nm en Taiwán costará más de 24.000 millones de dólares, incluidos los costes de investigación y desarrollo [6]. Solo tres empresas van a

tener posibilidades reales de fabricar por debajo de los 7 nm en un futuro próximo y esto está modificando el tablero de juego.

De estas tres empresas, una destaca sobre las demás. Los procesadores del iPhone 11, así como los últimos procesadores gráficos de Nvidia para inteligencia artificial y conducción autónoma, utilizan la tecnología de TSMC de 7 nm, mientras que los chips Xilinx usados en satélites y en los cazas F-35 usan la tecnología de TSMC de 16 nm [6]. Las compañías norteamericanas de tecnología, algunas de las cuáles son proveedores del gobierno y de defensa, dependen de TSMC y representan el 50% de sus ingresos [3].

Perspectiva geopolítica

La importancia global actual de TSMC como industria, y de Taiwán como país productor de chips, es clara y así seguirá siendo durante los próximos años. Es cierto que no necesariamente para muchas aplicaciones hay que utilizar chips de última generación, pero para aquellas que necesitan menores tamaños y mejores rendimientos normalmente TSMC es el único fabricante viable. Esta circunstancia tiene implicaciones geopolíticas muy relevantes y podría

subyacer en los recientes movimientos militares cerca de Taiwán [4].

Con una economía global en creciente digitalización, un número cada vez mayor de industrias dependen de su acceso al mercado de semiconductores de última generación. Estados Unidos es consciente de su dependencia y también de la de China. Mantener la ventaja tecnológica es un elemento fundamental en defensa y, para retrasar el dominio tecnológico global de China en ciertas áreas, el gobierno norteamericano ha establecido en el último año barreras al comercio de semiconductores hacia este país. Además, para evitar una excesiva dependencia comercial exterior y garantizar la seguridad sobre el proceso de fabricación, está promoviendo que TSMC establezca una fábrica de 5 nm en Arizona, que estará operativa hacia 2024 [5]. Aun así, el ecosistema de negocios de Taiwán propiciará que para esa fecha ya se pueda haber conseguido en ese país la producción en masa de la siguiente generación de chips de 3 nm. Este ecosistema no es fácilmente replicable, a pesar de los esfuerzos en cooperación que puedan hacer los gobiernos. Sin embargo, este factor no debe tampoco desanimar a los gobiernos europeos en la consecución

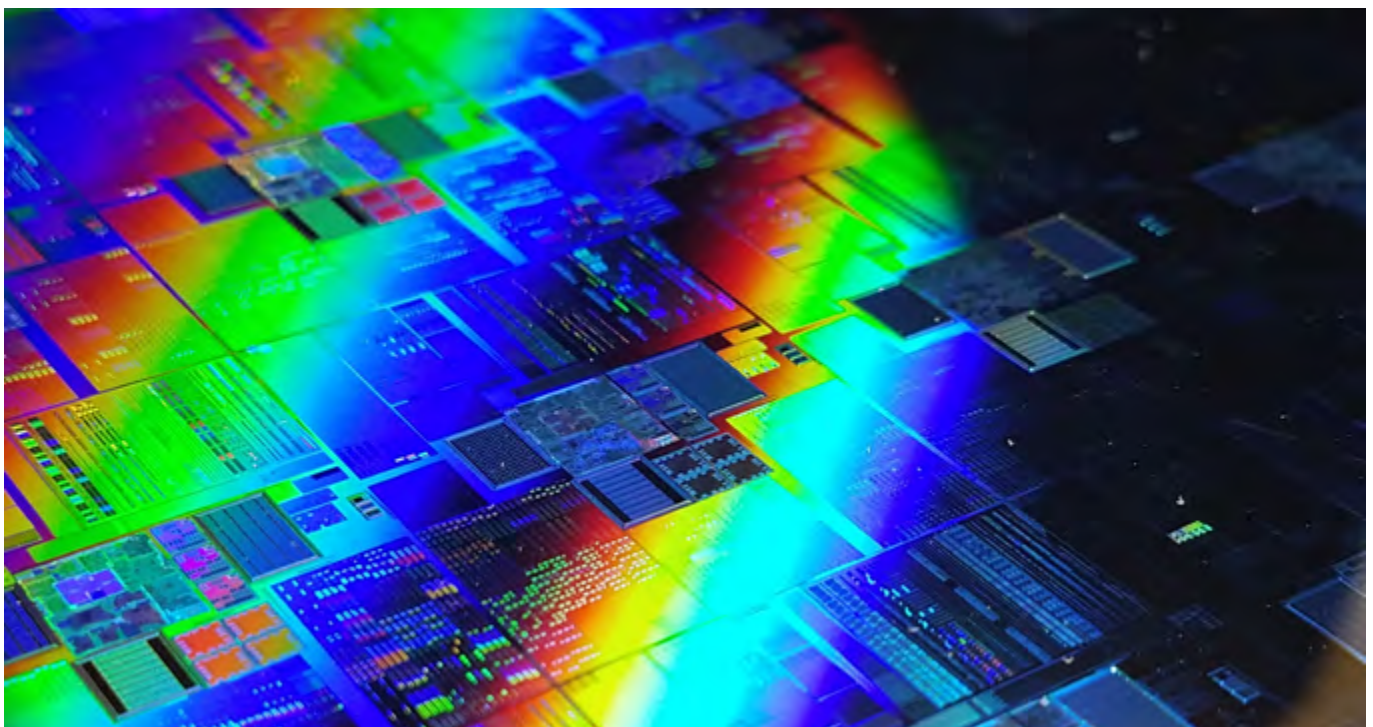


Fig. 2. Fondo de microchip inteligente en un remix de tecnología de primer plano de placa base. (Fuente: www.freepik.es)



Fig. 3. Imagen de chip. (Fuente: www.pixabay.com)

de los objetivos que se han marcado en la declaración conjunta. El ecosistema es importante, pero las inversiones también lo son.

En este sentido, a pesar de las masivas inversiones del gobierno chino en semiconductores, es poco probable que las empresas chinas puedan posicionarse en la próxima década entre los primeros proveedores del mundo [3], lo que hará que tengan una fuerte dependencia del exterior para obtener chips de última generación que integrar en sus productos. Es una vulnerabilidad estratégica para China y para su principal empresa de tecnología, Huawei, que depende de los semiconductores fabricados en Taiwán para mantener su competitividad mundial y poder luchar por la hegemonía global en la tecnología 5G. A pesar de que la compañía líder china en fabricación de semiconductores, SMIC, ha anunciado su intención de conseguir los 7 nm, para cuando lo consiga los líderes industriales ya habrán conseguido producir en masa con nodos menores. Uno de los cuellos de botella de SMIC es la tecnología de litografía ultravioleta extrema (EUV, por sus siglas en inglés), la tecnología de fabricación necesaria para conseguir nodos menores de 7 nm. TSMC y Samsung

ya la están usando e Intel lo conseguirá pronto para 7 nm y las tres dependerán de ella para los 5 nm.

En este aspecto, la ventaja de Europa es clara. La compañía holandesa ASML es la única del mundo que comercializa los equipos de litografía EUV que utilizan cantidades significativas de tecnología norteamericana [3], circunstancia que está esgrimiendo el gobierno de Estados Unidos para intentar controlar la exportación de estos equipos a China. Sin estos equipos, la industria china no tendrá manera de conseguir nodos menores de 7 nm en un futuro próximo.

El conflicto tecnológico entre China y Estados Unidos está acelerando la ramificación entre los ecosistemas tecnológicos de estos dos países en sectores económicos como el vehículo eléctrico o el 5G, por mencionar algunos; y aunque las restricciones de capital, personal y tecnología en el sector de los semiconductores limitará la potencial obtención de dos sistemas totalmente separados, el acceso a estos recursos generará tensiones geopolíticas.

Conclusiones

En definitiva, el negocio de fabricación de semiconductores, que era un negocio global, está girando

hacia el fortalecimiento por parte de las grandes regiones de sus ecosistemas locales de semiconductores para evitar una excesiva dependencia exterior. La cuota de Europa en el mercado de los semiconductores se sitúa en el 10% [1] y cada vez está dependiendo más de chips producidos en otras regiones del mundo. Para garantizar la soberanía tecnológica de Europa, es necesario fortalecer la capacidad de desarrollar la siguiente generación de procesadores, incluidos chips y sistemas integrados que ofrezcan el mejor rendimiento, así como una capacidad de fabricación que progrese hacia nodos de 2 nm. Que esta capacidad resida en Europa requerirá un esfuerzo colectivo para invertir y coordinar acciones, tanto desde el lado público como del privado.

La declaración de la UE incluye tanto el desarrollo como la fabricación, porque la soberanía no queda garantizada con un modelo de compañía sin fábricas (*fabless*) centrado en el diseño de chips pero que depende para la fabricación de ese número reducido de productores, sino de disponer también de la capacidad de producirlos. Alibaba, Apple o Tesla, diseñan sus propios chips, pero dependen de TSMC para su fabricación.

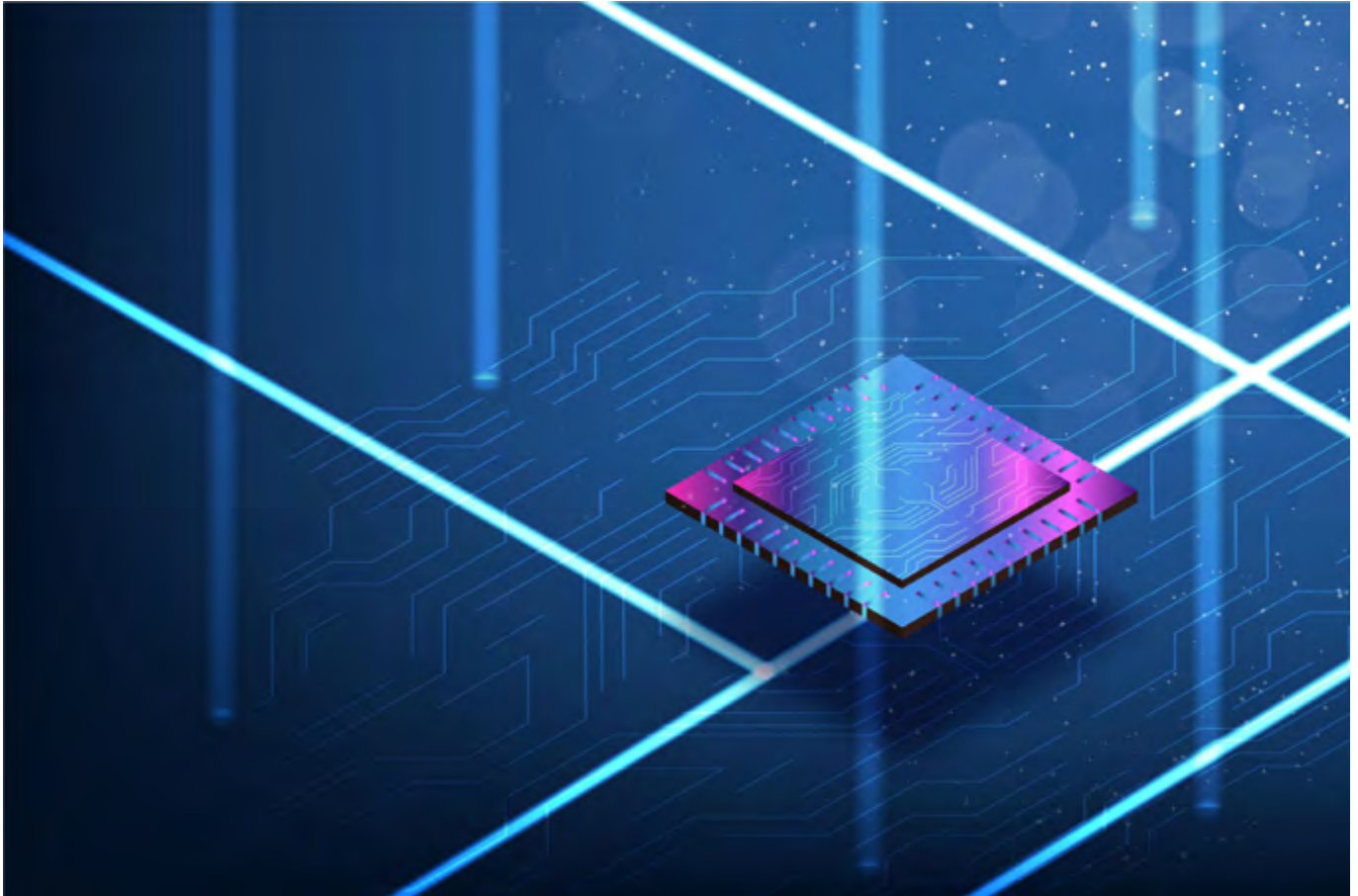


Fig. 4. Fonde de procesador de microchip. (Fuente: www.freepik.es)

La iniciativa conjunta de los Estados miembros tiene como objetivo aumentar la inversión, cuando sea posible, a través de los Fondos de Recuperación y Resiliencia [2]. Este Fondo es el principal instrumento de *NextGenerationEU*. El desarrollo de procesadores más potentes, innovadores y sostenibles está incluido en una de las *flagship areas* (6. *Scale-up*) que la Comisión Europea anima a los Estados miembro a incluir en sus planes de recuperación y resiliencia. Por otra parte, la importancia de los semiconductores, en términos de soberanía tecnológica e industrial, así como de desarrollo económico y competitividad, debe empujar a los Estados miembro a movilizar a las partes interesadas de la industria para diseñar un ambicioso proyecto en forma de «*Important Project of Common European Interest (IPCEI)*»

Referencias

- [1] *Joint declaration on processors and semiconductor technologies*. [Internet]. Disponible en <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/joint-declaration-processors-and-semiconductor-technologies>
- [2] *Member States join forces for a European initiative on processors and semiconductor technologies*. [Internet]. Disponible en <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/member-states-join-forces-european-initiative-processors-and-semiconductor-technologies>
- [3] *The Geopolitics of Semiconductors*. [Internet]. Disponible en <https://www.eurasiagroup.net/files/upload/Geopolitics-Semiconductors.pdf>

- [4] China desafía a Occidente con la mayor incursión de aviones militares en Taiwán hasta la fecha. [Internet]. Disponible en www.abc.es
- [5] *Taiwan, Chips, and Geopolitics: Part 1*. [Internet]. Disponible en <https://thediplomat.com/2020/12/taiwan-chips-and-geopolitics-part-1/>
- [6] *TSMC weighs new US plant to respond to Trump pressure*. [Internet]. Disponible en <https://asia.nikkei.com/Business/Technology/TSMC-weighs-new-US-plant-to-respond-to-Trump-pressure>
- [7] No todos los nanómetros son iguales, y por ello Intel podría renombrar los nodos de sus chips. [Internet]. Disponible en www.muy-computer.com/2021/04/02/intel-renombrar-nodos-chips/

En busca de la invisibilidad: la reducción de la firma radar

Autor: Luis Miguel Requejo, OT MAT, SDG PLATIN

Palabras clave: detectabilidad, radar, SER, RCS, RAM, RAS.

Líneas I+D+i ETID relacionadas: 3.2.3, 6.1.3, 7.1.1.

Introducción

Dentro de la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID

2020), uno de los Objetivos Tecnológicos descritos en la misma hace referencia a la reducción de la detectabilidad de las plataformas militares. Desde un punto de vista estratégico, la reducción de la detectabilidad de las plataformas es un elemento clave para aumentar las probabilidades de supervivencia en los escenarios de operaciones, así como para emplear el factor sorpresa sobre el potencial enemigo y maximizar la efectividad de una misión.

Cualquier plataforma presenta una serie de señales (firmas) que la hacen «vulnerable» frente los actuales sistemas de detección: la firma electromagnética del eco radar, la huella infrarroja de las fuentes de calor, los

fenómenos acústicos detectados por un sonar en el entorno marino, la firma visible, entre otros. Por lo tanto, para lograr que una plataforma sea difícilmente detectable en términos generales, es necesario abordar de forma conjunta la reducción de distintos tipos de firma (multiespectral).

Aunque muchas plataformas militares ya han reducido considerablemente su detectabilidad, es cierto que las medidas de detección y localización son cada vez más sofisticadas y se encuentran a disposición de los potenciales adversarios. Por ello, el Ministerio de Defensa ha identificado la necesidad de reducir la firma de sus plataformas frente a todas estas las

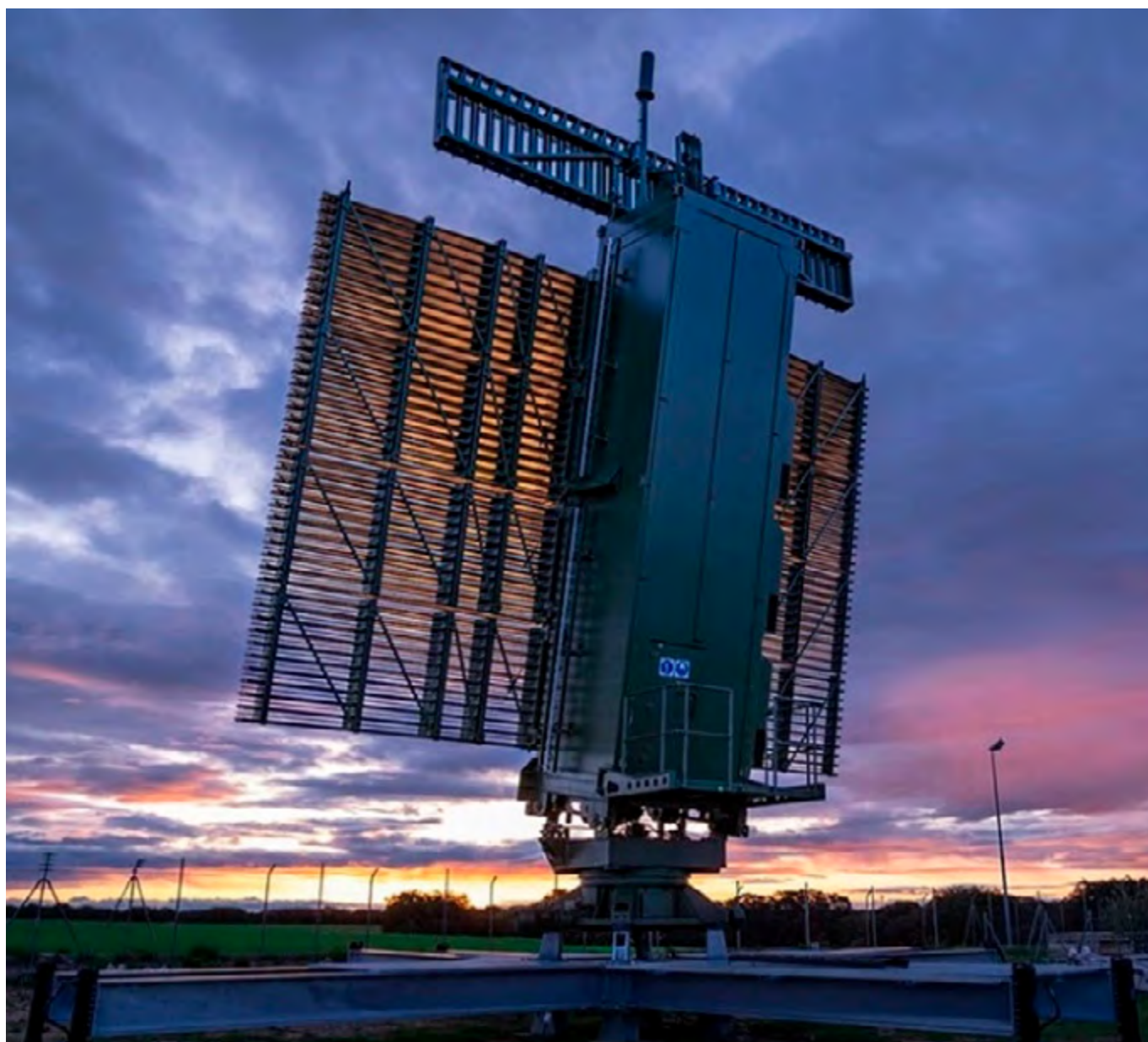


Fig. 1. Radar 3D LANZA desarrollado por la compañía Indra. (Fuente: www.infodefensa.com)



Fig. 2. Northrop – Grumman trabaja en un superbombardero de baja detectabilidad: el Raider B-21, que superará las prestaciones de todas las aeronaves de sus características. (Fuente: ©U.S. Air Force)

medidas de detección (sensores ópticos, infrarrojos, acústicos, radar, etc.) con el objetivo de aumentar las probabilidades de supervivencia, preservar la seguridad de sus tropas en los diferentes entornos operativos y maximizar la efectividad de sus operaciones.

Este artículo se centrará en la firma radar, que de manera más tradicional ha sido de gran interés en el caso de las plataformas aéreas y navales, pero que cada vez está cobrando más importancia en las terrestres e incluso también para el combatiente.

Detección de la firma radar

La firma radar de un objeto es una propiedad que indica el eco que produce dicho objeto en una dirección de observación cuando es iluminado por una señal radar.

La firma radar, medida de la Sección Equivalente Radar (SER) o habitualmente identificada con su término en inglés, *Radar Cross Section* (RCS) de una plataforma (o blanco), es la suma de los ecos procedentes de los distintos dispersores que forman parte de la estructura de la plataforma que se suman coherentemente en el receptor radar. La RCS viene determinada por las características de la onda que incide sobre el objeto (frecuencia, ángulo de incidencia, ángulo reflejado y polarización) y por las características del mismo (dimensiones, diseño, geometrías y materiales).

De manera muy resumida, los principales sistemas empleados en la actualidad para detectar este tipo de firma en una plataforma son los sistemas radar. Son los sensores más importantes desde su desarrollo en la Segunda Guerra Mundial

(principalmente en el ámbito aéreo), lo que se debe principalmente a que pueden detectar una plataforma y otros objetos reflectantes de radar de forma permanente (24/7, tanto de día como de noche, bajo diferentes condiciones climatológicas) y a mayores distancias respecto de cualquier otro sensor actualmente en uso. Los sensores radar poseen características de detección y de seguimiento proporcionando información muy precisa sobre la posición del objetivo.

Los radares operan en múltiples bandas de frecuencia diferentes, y es difícil escapar a la detección de todas ellas. Además, para la detección e identificación del objetivo, los radares integran algoritmos avanzados de procesamiento de señal, como los radares ubicuos (basados en electrónica de alta frecuencia de banda ancha o hardware de procesamiento de señal en tiempo real) y los futuros radares cuánticos (basados en el empleo de un haz de fotones).

Reducción de la firma radar

Para reducir la firma radar de un objeto hay que disminuir la energía que alcance el sensor receptor. Esto se puede lograr de dos maneras principalmente:

- Redirigiendo la energía hacia direcciones en las que no vaya a encontrarse el sensor receptor. Esta manera de actuar en lo que se conoce comúnmente como técnicas de forma o «*shaping*».
- Absorbiendo la energía, de tal manera que la cantidad que alcance finalmente al sensor receptor sea mínima. Para lograr esto, se suelen emplear materiales o estructuras que posean esa capacidad de

absorción (RAM- *Radar Absorbing Materials* y RAS - *Radar Absorbing Structures*).

La técnica del *shaping* es una línea de acción que afecta a la geometría de la estructura y puede aportar buenas soluciones antirradar en un rango de frecuencias más amplio que los RAM y RAS. En relación con esta técnica, existen diferentes variables sobre las que actuar para modificar la firma radar.

- El tamaño absoluto del objeto: a mayor tamaño, mayor firma. Si atendemos al aspecto geométrico, la reducción de la firma radar sin más puede ser conseguida sencillamente reduciendo las dimensiones espaciales del objeto. Es un factor de gran importancia, pero también es difícil de poder modificar, ya que en la mayoría de los casos deben imponerse algunas restricciones dimensionales de volumen, área, entre otras.
- Ángulo de incidencia: es el ángulo con que las ondas de radar llegan a cada punto de la superficie del blanco, el cual depende de la forma del blanco y su orientación respecto a la fuente del radar.
- El ángulo reflejado (ángulo con el que la onda reflejada sale del blanco, que a su vez depende del ángulo de incidencia).
- Las superficies normales a la onda incidente del radar reflejan muy bien la onda en la misma dirección y de sentido opuesto a la onda incidente, por lo que deben ser un factor a evitar. Un diseño de sección circular siempre va a tener alguna superficie normal a la onda incidente que va a ser reflejada de nuevo al radar, por lo que hay que evitar este tipo de superficies

En profundidad

y utilizar diseños más planos y en ángulo. También habría que evitar utilizar todo tipo de ángulos rectos, además de tener en cuenta los casos de reflexión múltiple.

- **Discontinuidades:** todas aquellas discontinuidades que se encuentren en la plataforma (uniones mecánicas, secciones abiertas, entre otras) incrementan la firma radar. Hay que tener en cuenta que las ondas de radar no son sólo reflejadas por la superficie externa de una estructura, si no que parte de la onda se introduce en el interior de la estructura y es capaz de rebotar dentro de los elementos estructurales internos.

En relación con los materiales a utilizar para reducir la firma radar, hay que tener en cuenta que los metales producen gran reflexión a las ondas de radar y tienden a producir señales fuertes. Por este motivo, se trata de utilizar materiales no conductores tales como materiales poliméricos o compuestos de carbono o aquellos que sea capaces de absorber la radiación radar, ya que las señales que se producirán serán mínimas.

Las soluciones que se encuentran actualmente operativas se basan fundamentalmente en **recubrimientos**, aunque se está tratando de desarrollar otras soluciones que puedan cubrir

mejor las necesidades cada vez más exigentes de las nuevas plataformas. Una de ellas se basa en la aplicación de pinturas que integran microfibras que le aportan la capacidad de absorber la radiación radar y que pueden aplicarse sobre cualquier superficie susceptible de ser pintada.

En cuanto a prestaciones generales, la solución más óptima parece aquella en la que la propia estructura sea capaz de absorber las ondas radar. Este concepto de estructura multifuncional podría cubrir de manera adecuada todas las funcionalidades y requisitos mecánicos propios de una estructura de manera integral. El diseño de estas estructuras requiere poder controlar sus propiedades electromagnéticas sin que esto implique la pérdida de las otras funcionalidades y requisitos necesarios para formar parte de la plataforma.

Una de las tecnologías que ofrece mejores resultados y capacidad de diseño es aquella que se basa en el desarrollo de estructuras compuestas, en las cuales hay una matriz y refuerzos de muy baja conductividad, que incluirían un elemento dopante que controla las propiedades electromagnéticas del material. Sobre los elementos dopantes es donde recaen los principales retos tecnológicos, teniendo en cuenta que hay que elegir

cual emplear y lograr una adecuada dispersión e integración en la matriz para optimizar las propiedades electromagnéticas del conjunto. Existe una importante línea de investigación basada en el empleo del óxido de grafeno y nanoplaquetas de grafeno como aditivos en la fabricación de materiales compuestos. Se han logrado mejoras en las prestaciones mecánicas del producto final, aunque se trata de lograr una combinación que permita obtener las prestaciones de reducción de firma deseadas.

Otra opción que presenta gran interés tecnológicamente hablando son las estructuras multicapa, en las que se incluyen procesos de deposición de nanopartículas magnéticas para lograr capas dopadas que puedan integrarse posteriormente en estructuras multicapa más complejas.

Una tecnología que también se está estudiando, aunque su aplicabilidad podría llegar a ser a más largo plazo, es la de los metamateriales, que son materiales artificiales que poseen propiedades novedosas y superiores a los materiales que pueden encontrarse en la naturaleza. Se trataría de conseguir estructuras formadas por unidades periódicas que lograsen que las ondas incidentes sean reflejadas en fase y contrafase al mismo



Fig. 3. Aplicación de pintura de baja observabilidad sobre una superficie. (Fuente: Micromag)

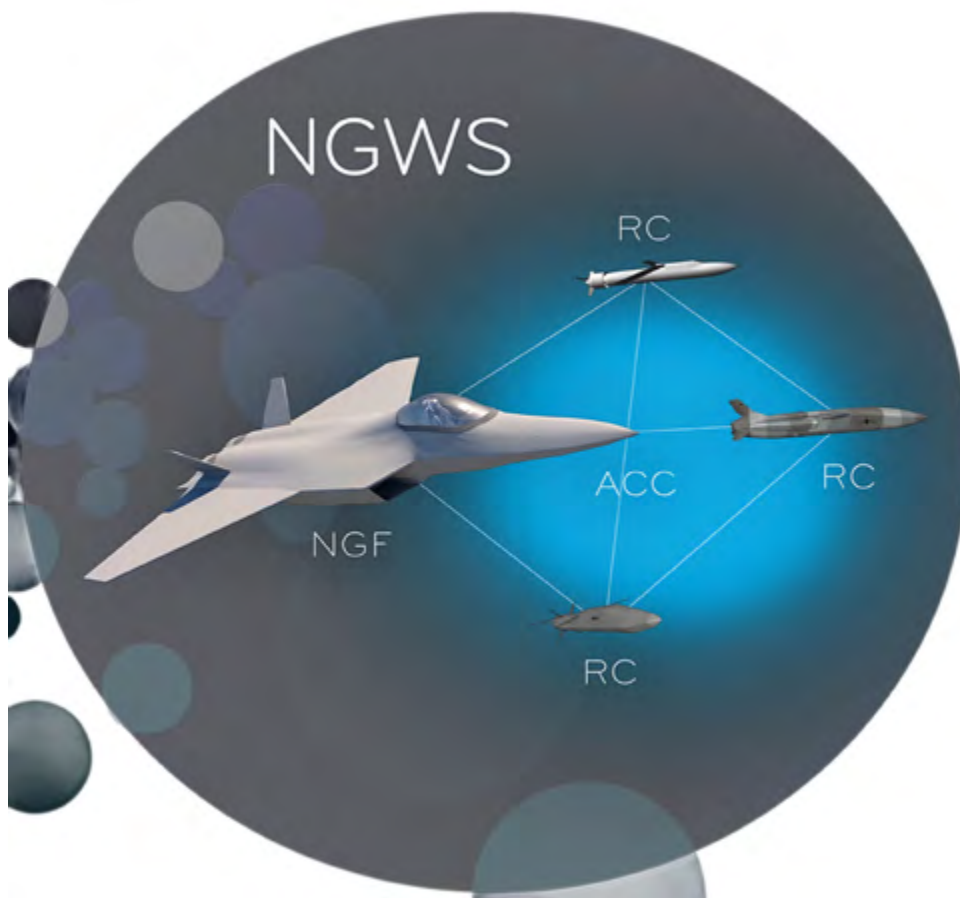


Fig. 4. El Programa FCAS focaliza el desarrollo de soluciones para reducir la detectabilidad de las plataformas a través del *Pilar Low Observability*. (Fuente: MINISDEF)

tiempo, de modo que la energía fuera reflejada en direcciones diferentes a la de incidencia.

En cualquier caso, la integración de todos estos materiales en las plataformas militares presenta a día de hoy importantes retos tecnológicos.

Se estima que, a la hora de desarrollar una plataforma, alrededor del 70% de la reducción de firma radar se puede conseguir con el diseño y un 30% con los materiales RAM y RAS. Esto nos lleva a contemplar que, a la hora de afrontar la reducción de firma radar de una plataforma, se pueden plantear dos escenarios principales: que la plataforma ya esté en servicio o que se trate de un nuevo desarrollo.

En los nuevos desarrollos, desde luego que hay que tener en cuenta los requisitos de baja observabilidad para abordarlos desde las primeras fases de dicho desarrollo. Un ejemplo muy representativo es el proyecto NGWS/FCAS, aunque este criterio es perfectamente aplicable a todas las plataformas *stealth* del futuro. Por otra parte, el Ministerio de Defensa dispone en la actualidad de un buen número de plataformas plenamente operativas. La reducción de firma radar en estos casos no puede basarse en las técnicas *shaping*, sino que parece más lógica la integración de nuevos materiales RAM y RAS, aunque también haya que tener en cuenta el posible impacto en el resto de requisitos

estructurales y funcionalidades de la plataforma.

Conclusiones

Como se ha mencionado al principio de este artículo, el desarrollo de nuevas soluciones para reducir la firma radar en plataformas tiene un gran interés dentro del sector de la defensa. Aunque existen técnicas y materiales aplicables en la actualidad, se está tratando de impulsar este ámbito tecnológico con proyectos de I+D dentro de iniciativas nacionales e internacionales, para lograr soluciones más efectivas y que puedan estar disponibles en el corto, medio y largo plazo.

Boletín de Observación Tecnológica en Defensa

Disponible en

[http://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/es-es/Contenido/Paginas/Publicaciones.aspx?cat=BOLETINES TECNOLÓGICOS](http://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/es-es/Contenido/Paginas/Publicaciones.aspx?cat=BOLETINES%20TECNOLÓGICOS)

<https://publicaciones.defensa.gob.es/>