

Boletín

DE OBSERVACIÓN TECNOLÓGICA EN DEFENSA



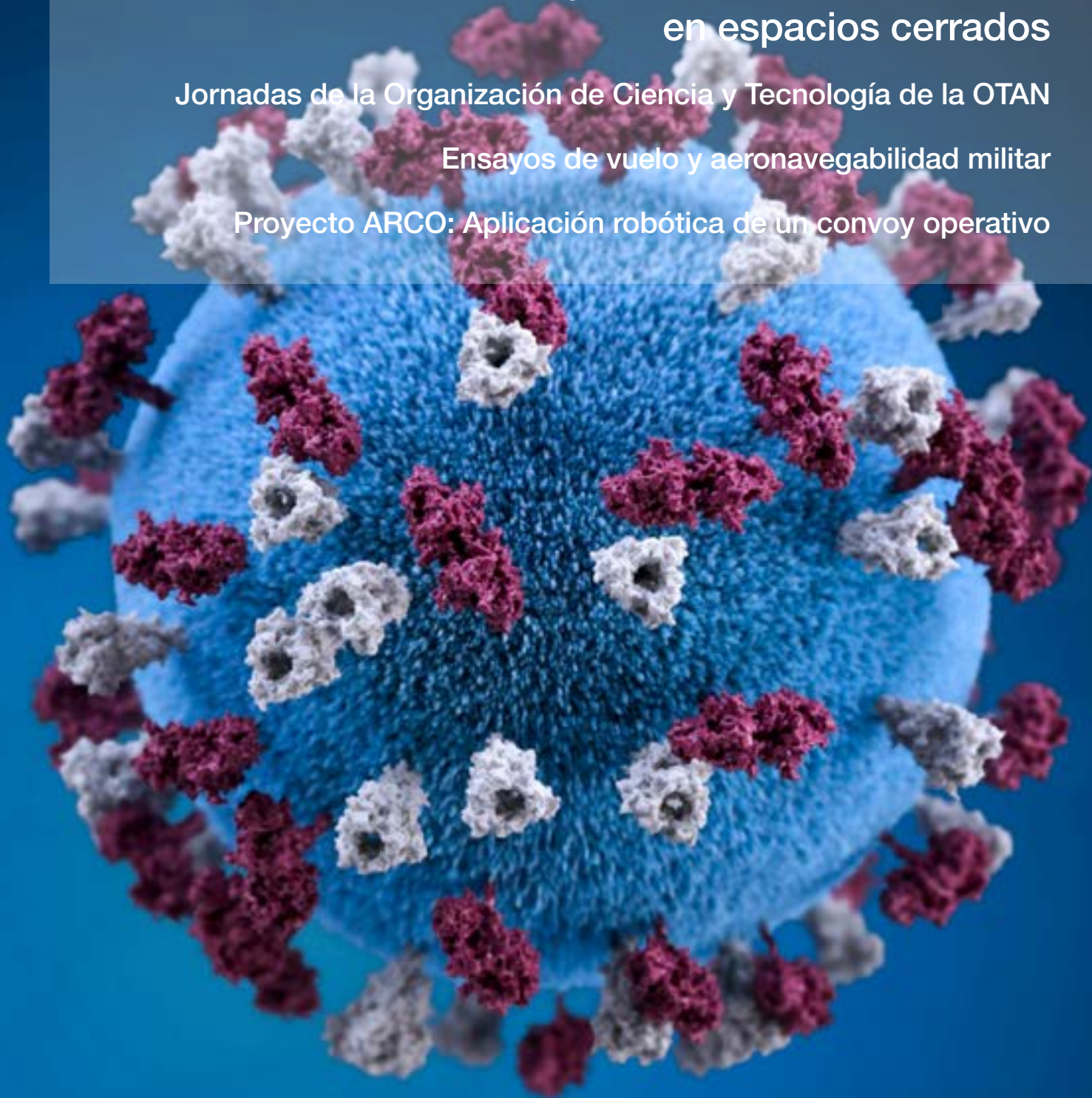
SUBDIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
Boletín de Observación Tecnológica en Defensa n.º 73 • 2.º trimestre de 2022

Uso de la luz UV-C para el tratamiento del aire en espacios cerrados

Jornadas de la Organización de Ciencia y Tecnología de la OTAN

Ensayos de vuelo y aeronavegabilidad militar

Proyecto ARCO: Aplicación robótica de un convoy operativo





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)

ISSN 2444-4847 (impresión bajo demanda)

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: Óscar Jiménez Mateo.

Consejo Editorial: José Agrelo Llaverol, Cte. Carlos Calderón. Site. 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 Albuerne; 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:

Coronavirus. (Fuente: <https://pxhere.com/es/photo/160879>)

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, suscripciones y dudas:
observatecno@oc.mde.es

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



DGAM
Subdirección General de Planificación,
Tecnología e Innovación

CONTENIDOS

Editorial

Actualidad

- 4 ¿Dónde hemos estado?
- 7 STO: celebración en España de las reuniones científicas de primavera del panel SCI

Tecnologías emergentes

- 9 Uso de la luz UV-C para el tratamiento del aire en espacios cerrados

En profundidad

- 11 Ensayos en vuelo y aeronavegabilidad militar
- 18 Proyecto ARCO: aplicación robótica de un convoy operativo

SOSTENIBILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO

Es bien conocida la preocupación mundial por el cambio climático, cuyas consecuencias amenazan los ecosistemas, la salud humana, la economía y la seguridad global. El concepto de sostenibilidad, entendido como el desarrollo que permite cubrir las necesidades presentes de la población, sin perjudicar a las futuras generaciones, equilibrando el crecimiento económico con el bienestar social y el cuidado medioambiental, es una realidad presente desde hace años en las estrategias de todos los países, siendo los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) de la ONU un compromiso compartido para alcanzar, entre otros, la neutralidad climática en las próximas décadas.

El ámbito de la defensa también asume los retos que el cambio climático plantea por delante, muy en particular por las numerosas amenazas que supone para la seguridad nacional, tal como se refleja en la *Estrategia de Seguridad Nacional 2021*. Son varias las acciones que se llevan poniendo en marcha desde hace años, entre las que se incluyen algunas directamente relacionadas con la innovación y el desarrollo tecnológico.

Así, la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID 2020) apuesta por el desarrollo de tecnologías para defensa que apoyen la lucha contra el cambio climático y el cumplimiento de los ODS, de forma que se minimice el impacto de las operaciones militares en el medio ambiente.

En particular, el foco se pone en la generación de energía y eficiencia energética de cara a lograr la disminución

de la dependencia y mejorar la seguridad energética en bases, campamentos y otras infraestructuras aisladas de redes energéticas mediante el desarrollo de tecnologías y su adaptación y validación para el uso en entorno militar.

Adicionalmente, se prioriza el desarrollo de nuevas formas de propulsión para plataformas tripuladas y sistemas no tripulados, en concreto de sistemas de propulsión híbrida y eléctrica, de forma que se reduzca la dependencia de combustibles fósiles, mejorando además las capacidades de movilidad y furtividad de los sistemas.

Y a ello se suma el interés por disponer de sistemas tecnológicos innovadores para gestionar el agua y los residuos en las misiones de defensa, el empleo de nuevos combustibles más respetuosos con el medioambiente o por incorporar nuevas tecnologías, materiales o procesos que reduzcan los efectos potenciales sobre el medioambiente durante todo el ciclo de vida de las municiones y otros materiales utilizados en defensa.

Dentro de este panorama de retos futuros que tenemos por delante, cabe destacar que se trata de un ámbito muy favorable a explotar las sinergias que existen con los desarrollos tecnológicos civiles, que en la actualidad constituyen una prioridad en las estrategias de inversión en I+D+i a nivel nacional y europeo, lo que permite aventurar importantes cambios en este ámbito tecnológico en los próximos años, incluyendo en su aplicación a defensa.

Actualidad

¿Dónde hemos estado?

5 de abril de 2022

- **Workshop «Optronics technologies for space-based Defence applications»**

El día 5 de abril de 2022 la Agencia Europea de Defensa organizó el evento *Optronics technologies for space-based Defence applications*, que se celebró mediante videoconferencia y en el que participaron tanto miembros de organismos públicos como de empresas privadas. Se repasaron los diferentes puntos de vista sobre las potenciales tecnologías optoelectrónicas de alto interés en defensa en el ámbito espacial, que además servirán como apoyo en la definición de las estrategias oficiales, tanto de las naciones como en las actuaciones comunes de la UE.



11 al 14 de abril de 2022

- **49.ª reunión del panel HFM de la STO**

El OT NBQ asistió por videoconferencia a la reunión bianual de primavera del panel de factores humanos y medicina (HFM) de la Organización de Ciencia y Tecnología (STO) de la OTAN. Los objetivos de la reunión fueron la presentación y aceptación o rechazo de 15 nuevas propuestas de actividades técnicas, y el informe del estado de avance de las actividades técnicas en marcha. Cabe destacar que se presentó y aceptó la celebración del simposio *Mitigación y respuesta a la guerra cognitiva*, que tendrá lugar en España durante la reunión del panel de primavera de 2023.



5 de mayo de 2022

- **Comité Técnico Bureau Veritas 2022**

El 5 de mayo se celebró el Comité Técnico de Bureau Veritas en el que se presentaron novedades técnicas y retos de gran interés, como el proyecto piloto de clasificación basado en modelos 3D de Navantia y BV, la construcción del Eleanor Roosevelt de ARMON, un catamarán HSC de aluminio de alta velocidad para Balearia, el tema de la propulsión asistida por viento, Ibaizábal Tankers, un caso práctico del plan de descarbonización de la naviera vasca, la serie de *fast ferries* con baterías que acaban de poner a funcionar en la zona de Lisboa y, por último, los resultados del análisis de los laboratorios de Bureau Veritas sobre lubricantes marinos.



¿Dónde hemos estado?

10 de mayo
de 2022

- **Jornada informativa convocatoria 2022 Clúster 3 «Seguridad Civil para la Sociedad»**

El 10 de mayo se celebró la jornada informativa nacional sobre la convocatoria 2022 del programa Clúster 3 «Seguridad Civil para la Sociedad», programa marco de la Unión Europea *Horizonte Europa*. La jornada tuvo por objetivo presentar las oportunidades de financiación para el año 2022 del Clúster 3 de HORIZONTE EUROPA, las condiciones y detalles para participar, así como testimonios de casos de éxito y evaluadores de convocatorias anteriores.



2 de junio
de 2022

- **Jornada de la Fundación Círculo**

El pasado 2 de junio, se celebró en el Paraninfo del CESEDEN la jornada de la Fundación Círculo con el título *Ciencia y tecnología en la OTAN: retos y oportunidades para España*.

Esta jornada tuvo por objetivo acercar a las diferentes comunidades, académica, industrial, institucional y militar, los aspectos más relevantes de la ciencia y la tecnología en la OTAN.



6 de junio
de 2022

- **Visita instalaciones SKYDWELLER**

Durante el día 6 de junio, personal de la SDG PLATIN, junto a representantes del Ejército de Tierra y Ejército del Aire, realizaron una visita a las instalaciones de la empresa SKYDWELLER situadas en el aeropuerto de Albacete. Esta empresa está desarrollando una plataforma aérea no tripulada HALE (*High Altitude Long Endurance*) que se caracteriza por emplear energía solar para su propulsión. El proyecto está basado en el desarrollo del proyecto Solar Impulse, primera plataforma aérea solar en dar la vuelta al mundo.



8 al 10 de
junio de
2022

- **4th EDA AHWG Space industry workshop**

A raíz del buen resultado del 3.er workshop con la industria espacial, mantenido a primeros de marzo de este mismo año y de la 6.ª reunión del AHWG Space EDA, se decidió tener este cuarto evento en formato mixto (presencial y virtual) de tres días de duración, organizado por dicho grupo AHWG Space de la EDA. El objetivo de este evento fue tratar las barreras relacionadas con cada uno de los TBB (*Technological Building Blocks*) consensuados por el AHWG, y de las posibles soluciones para mitigarlas, teniendo muy en cuenta el *input* de la industria.



Toda la información sobre estos y otros eventos puede consultarse en el Portal de Tecnología e Innovación del Ministerio de Defensa : www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es

¿Dónde hemos estado?

13 al 17 de junio de 2022

- **Bienal internacional de máquina-herramienta**

La Bienal internacional de máquina-herramienta (BIEMH 2022), celebrada en Bilbao, ha congregado distintos eventos como el IMIC - *Industrial Maintenance Innovation Conference* y ADDIT3D - Feria internacional de fabricación aditiva y 3D, a las que se han asistido.

Durante el IMIC se trataron algunas de las principales temáticas del mantenimiento predictivo, aplicadas por la industria y en fase de desarrollo por algunas empresas; el ADDIT3D congregó a empresas y centros tecnológicos especializados en toda la cadena de valor que rodea al sector de la fabricación aditiva, mostrando algunos de sus últimos avances.



14 de junio de 2022

- **Jornada EDA sobre tecnologías de protección NRBQ**

El OT NBQ asistió a la jornada de trabajo que tuvo lugar en la sede central de la EDA, en Bruselas, sobre tecnologías NRBQ en tres ámbitos concretos: detección, identificación y monitorización (DIM), equipos de protección individual (EPI) y protección de infraestructuras críticas (PCI). Como resultado del trabajo, se obtuvieron una serie de hojas de ruta para el desarrollo de dichas tecnologías. La jornada fue organizada por el consorcio formado por las entidades españolas AITEX, IBATECH e HISPANOVEMA y la entidad portuguesa INEGI, y contó con la participación de 30 representantes de 12 países diferentes.



16 de junio de 2022

- **Encuentros CCN – 2022: I encuentro QTEC**

Desde el 14 de junio al 16 de junio se celebró en la FNMT, en formato presencial y online, el evento Encuentros CCN. Un escudo único para la administración. IV encuentro ENS el primer día, XI jornada del SAT y II encuentro de la RNS el segundo y I encuentro QTEC el tercero. Durante esta última jornada se abordaron diferentes temáticas, como la criptografía cuántica y postcuántica o la computación cuántica, con participantes provenientes de la comunidad científica e investigadora, la comunidad universitaria y el mundo empresarial. Uno de los propósitos principales de este encuentro ha sido promover la concienciación en el ámbito de los riesgos y amenazas asociados a la evolución de estas tecnologías, intercambiar experiencias y fomentar la cooperación y el intercambio de conocimientos con el objetivo final de crear una comunidad nacional de tecnologías cuánticas.



Toda la información sobre estos y otros eventos puede consultarse en el Portal de Tecnología e Innovación del Ministerio de Defensa : www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es

STO: celebración en España de las reuniones científicas de primavera del panel SCI

Autor: Fernando Íñigo Villacorta, Ingeniero de Telecomunicaciones, Área de Planificación de I+D, SDG PLATIN.

Palabras clave: SCI, FT3, STO, OTAN, integración de sistemas, pruebas de vuelo.

Líneas I+D+i ETID relacionadas: 7.4, 11.3.2.

El pasado mes de mayo, España acogió la celebración de las reuniones científicas de primavera del panel SCI (*Systems Concepts and Integration*), uno de los siete paneles científicos

mayo y fueron organizadas por la Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación de la DGAM, en colaboración con dicha Academia.

Tras dos años sin celebrar de manera presencial este tipo de reuniones debido a la pandemia del COVID-19, los eventos de Segovia han conseguido congregarse a más de cien participantes pertenecientes a veinte países de la OTAN, lo que supone un notable éxito y refleja el gran interés que han despertado estas jornadas. En este artículo se describirá brevemente cómo se desarrollaron estos eventos.

49.ª reunión plenaria del panel SCI

Los días 9, 10 y 11 de mayo tuvo lugar la reunión plenaria semestral de primavera del panel SCI. En estas reuniones participan principalmente los delegados oficiales designados por las distintas naciones OTAN, además de otros participantes invitados que

investigación científica en cooperación, en las áreas de interés del panel, así como realizar el seguimiento de las actividades en marcha. Actualmente, el panel SCI cuenta con algo más de cuarenta actividades activas.

Desde el punto de vista científico y tecnológico, el panel SCI tiene un carácter muy transversal. Su trabajo gira en torno a los sistemas, abordando conceptos avanzados para los mismos, aspectos de interoperabilidad, técnicas de ingeniería de sistemas, etc., para todo tipo de plataformas militares y en todos los posibles escenarios de operación. El objetivo final es asegurar que se dispone de las capacidades necesarias para el desarrollo de la misión y a un coste asumible. Todos estos aspectos se abordan en el panel desde tres subáreas de trabajo: *interoperabilidad e integración de sistemas*, *supervivencia integrada* y *capacidades disruptivas y elementos facilitadores*.



Jornadas de la Organización de Ciencia y Tecnología de la OTAN
(Fuente: Academia de Artillería)

que forman parte de la Organización de Ciencia y Tecnología de la OTAN o STO (*Science and Technology Organization*). Las reuniones tuvieron lugar en la Academia de Artillería de Segovia en la semana del 9 al 13 de

pertenecen a diversos organismos de la propia OTAN o que son expertos de reconocido prestigio en algunas de las áreas temáticas que cubre el panel. El objetivo principal de estas reuniones es generar nuevas actividades de

Entre el amplio espectro de temas cubiertos, se pueden mencionar, por ej., las arquitecturas de sistemas, la guerra electrónica, el camuflaje, ocultamiento y decepción, las armas de energía dirigida, los sistemas

autónomos y los aspectos relacionados con espacio. Como ejemplo de actividades actualmente en curso, se pueden mencionar los grupos SCI-333 *Multi-sensor Fusion Architecture for the Detection of Person-borne-Improvised Explosive Devices (PB-IEDs)*, SCI-342 *Explosive Ordnance Disposal (EOD) Tele-manipulation Robot Technology Roadmap Development*, SCI-347 *Smart IED Threat Mitigation Technology Assessments (SMITMiTA)*, SCI-349 *Heterogeneous Data-Driven Space Domain Decision Intelligence*,

(SCI-SET-ET-062) y *Air Platform Generic Self-Defence (SCI-354)*.

Reunión del grupo FT3

Durante esta primera mitad de la semana se celebró también la reunión del Grupo Técnico de Pruebas de Vuelo (FT3 – *Flight Test Technical Team*), uno de los grupos de investigación más longevos de la OTAN (se puso en marcha en 1968), y que ha generado más de cincuenta (50) publicaciones de gran valor científico relacionadas con instrumentación y pruebas de vuelo. En el grupo

de vuelo de sistemas aéreos no tripulados. El simposio congregó a cerca de cien expertos y se presentaron un total de veintitrés ponencias, algunas de las cuales fueron muy apreciadas por su elevada calidad científica y técnica. Entre los temas tratados se pueden destacar las aplicaciones y operaciones de UAS (*Unmanned Air Systems*), las infraestructuras para UAS y el adiestramiento, el análisis de UAS, la validación y la verificación, los sistemas futuros y los próximos entornos regulatorios. La documentación



Jornadas de la Organización de Ciencia y Tecnología de la OTAN
(Fuente: Academia de Artillería)

SCI-SET-ET-057 *Experimental analysis of combined, multistatic RF/EO data for improved Space Situational Awareness (SSA)* y SCI-SET-ET-059 *CCDs Technologies to counter Artificial Intelligence Targeting Systems*, así como las conferencias SCI-SET-323 *Above Water EO/IR Signature Requirements from an Operational Perspective*.

Como parte de los resultados de esta reunión, se ha aprobado el lanzamiento de tres nuevas actividades en las temáticas *C-UAS Mission-Level Modelling & Simulation (SCI-SET-353)*, *Satellite Artificial Intelligence & Machine Learning (SATAM)*

participan expertos de los ámbitos gubernamental, industrial y académico de un total de once países (entre los que se incluye España), expertos que representan a las principales organizaciones gubernamentales e industriales que se dedican en los países OTAN a los ensayos de vuelo. El grupo FT3 fue el responsable de la propuesta y preparación del simposio SCI-328 que tuvo lugar en la segunda parte de la semana.

Simposio SCI-328 *Flight Testing of UAS*

Los días 12 y 13 de mayo se celebró el simposio SCI-328 sobre ensayos

de este simposio, recopilada en forma de *meeting proceedings*, está disponible en la sección de publicaciones de la web de la STO: <https://www.sto.nato.int/publications/Pages/default.aspx>.

Como conclusión, indicar que estas jornadas han sido valoradas en general de manera muy positiva por parte de los asistentes y por la propia STO, celebrando que se haya podido retomar con éxito de asistencia la organización presencial de este tipo de reuniones, tras las restricciones impuestas por la pandemia del COVID-19.

Tecnologías emergentes

Uso de la luz UV-C para el tratamiento del aire en espacios cerrados

D. Mauro García Acero, CEO de Sanity Air, Automated Devices y Avionics Control Systems.

Palabras clave: UV-C, aire, virus.

Líneas I+D+i ETID relacionadas: 10.2.5.

Introducción

Desde hace tiempo se conoce que la propagación de virus y bacterias, y de enfermedades en general, disminuye en verano y aumenta en invierno. La causa principal de este efecto biocida es el aumento de la radiación solar, principalmente en el espectro UV-C (ultravioleta de onda corta o tipo C).

En 1877, dos investigadores británicos, A. Downes y T.P. Blunt, escribieron el primer artículo científico sobre las capacidades biocidas de la luz solar [1]. En subsiguientes artículos, estos autores describen cómo la luz fluorescente, generada a través de una atmósfera de baja presión de mercurio, emite una luz que impide el desarrollo de colonias de bacterias.

En 1930 se empezaron a comercializar las bombillas de luz UV-C como producto comercial, y su uso empieza a dispararse a partir de 1945 como medida de contención de amenazas biológicas y para la desinfección en hospitales.

Desde entonces, el uso germicida de la luz UV-C se ha ido incorporando a todas las industrias que deben tener un control sobre la esterilización o desinfección de sus productos o instalaciones (tratamiento de aguas y alimentos, hospitales, etc.).

Mecanismo germicida de la luz UV-C

El efecto biocida de la radiación UV-C está basado en su impacto sobre las cadenas de los códigos genéticos de virus, bacterias y otros patógenos. Precisamente la radiación emitida a una longitud de onda entre 260 y 265 nm es directamente absorbida por la base nitrogenada Timina, componente fundamental de uno de los cinco

tipos de nucleósidos que constituyen ambas cadenas de código genético, ADN y ARN. Esta radiación produce un cambio en la estructura molecular de Timina que impide los procesos de duplicación y transcripción, tanto del ADN, como del ARN, por lo que es posible conseguir la inactivación de todo tipo de virus, bacterias, hongos, mohos, etc.

En cualquier caso, la efectividad en la inactivación de los patógenos depende directamente de la dosis de energía incidente, que se puede definir en julios por metro cuadrado (J/m^2),

enfermedades, fundamentalmente aquellas de transmisión aérea, como gripe, catarros por adenovirus, coronavirus SARS-COV 2, tuberculosis, etc. Pero en interiores, al no existir la radiación solar directa, pueden generarse condiciones favorables para la proliferación y transmisión de patógenos.

Todos los seres humanos, al respirar, exhalamos bacterias y virus que residen en nuestros pulmones, propagándolos a través de las microgotículas que conforman los aerosoles de la exhalación. Por su pequeño tamaño y peso, estas microgotículas permanecen en el aire durante horas,

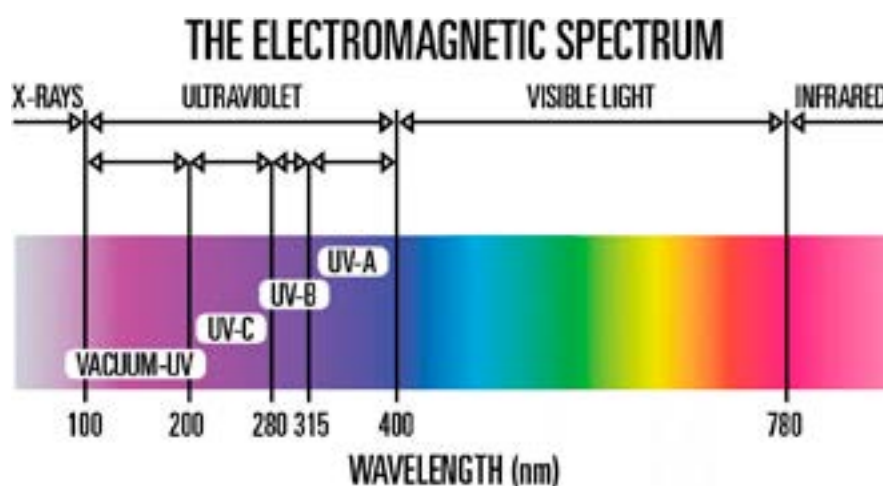


Fig. 1. Espectro electromagnético y longitudes de onda en la región UV. (Fuente: Wikipedia)

o milijulios por centímetro cuadrado (mJ/cm^2) cuando la radiación se aplica sobre superficies pequeñas.

Durante decenas de años, la tecnología UV se ha estudiado en profundidad con multitud de patógenos, existiendo documentación científica y técnica que define la cantidad de energía lumínica necesaria para erradicar un 90 %, 99 %, 99,9 %, etc., correspondientes a reducciones logarítmicas de orden 1, 2, 3, etc. Por ejemplo, en el caso de la influenza A (virus de la gripe humana), se sabe que es necesario aplicar una radiación de $6,6 mJ/cm^2$ para erradicar el 99 % de los virus en una zona determinada [2].

Aplicación de los sistemas UV-C

Como se ha comentado ya, la radiación solar tiene un efecto importante en el control y expansión de las

pudiendo ser a su vez inhaladas por otros individuos, especialmente si se encuentran en un espacio interior.

Dentro de los posibles usos de la luz UV-C para descontaminación biológica en interiores, existen dos aplicaciones principales: la radiación directa y la radiación confinada. La primera consiste en la emisión directa sobre las superficies o el aire ambiente, mientras que, en la segunda, se fuerza el paso del aire al interior de un equipo de esterilización, donde se lleva a cabo el tratamiento con luz UV-C, sin que se produzcan emisiones al exterior del equipo.

En el rango UV-C, la radiación es muy problemática para la salud, puesto que la alta energía que porta cada fotón puede llegar a producir quemaduras, cataratas y hasta cáncer de piel. Es por



Fig. 2. Lámpara de luz UV.
(Fuente: OSRAM)

ello que, en presencia de personas o animales, resulta conveniente la esterilización del aire ambiente mediante radiación confinada, evitando así la exposición a la luz UV-C.

En consecuencia, es importante que cualquier equipo dedicado a la desinfección mediante tecnologías potencialmente dañinas para los seres humanos, disponga de los correspondientes certificados de inocuidad, cumpliendo con la actual normativa (UNE 12198, UNE 60335, etc.) para confirmar y certificar que la radiación se mantiene perfectamente confinada, sin permitir emisión alguna al exterior.

Asimismo, estos equipos deberán cumplir la correspondiente normativa que asegure la eficacia de desinfección en un entorno determinado, como por ejemplo, la norma UNE 171330 de calidad ambiental en interiores.

Otro aspecto a favor de esta tecnología, respecto a otras tecnologías que puedan manejar caudales de aire similares, como la tecnología de filtración HEPA, es la gran eficiencia energética de los equipos, que pueden llegar a consumir alrededor de 5 veces menos energía eléctrica. Asimismo, los costes de mantenimiento (recambio de filtros y lámparas) hacen de ella una tecnología eficiente.

La aplicación de la tecnología UV-C responde a multitud de potenciales necesidades, incluido el ámbito de defensa, donde existe especialmente la preocupación por la protección colectiva frente a la amenaza NBQ. Tanto si la transmisión es aérea o a través de superficies, con un correcto dimensionamiento del equipo, se puede disminuir la concentración de patógenos por debajo del 0,01 % en

solo algunos minutos. A este respecto, merece especial atención el uso que ha dado el ejército americano a sistemas de radiación directa y confinada para la disminución de la propagación del coronavirus en sus instalaciones [3] [4].

Conclusiones

Las medidas de control del fondo biológico ambiental que se han llevado a cabo a raíz de la pandemia de COVID-19, han puesto en evidencia la mala calidad del aire en espacios interiores, especialmente en salas de control y espacios críticos con baja ventilación. En los últimos 20 años hemos sufrido diversas epidemias (Ebola, SARS, Gripe A, MERS y COVID-19), una situación que los diferentes gobiernos han ido controlando erráticamente con medidas, hasta cierto punto eficaces, como por ejemplo las mascarillas o la ventilación natural, que evidentemente suponen una ayuda al control de la propagación, pero no son suficientes, y otras muy controvertidas como los confinamientos y cierres que

han llegado a provocar la paralización de las actividades cotidianas.

Esta circunstancia ha potenciado el desarrollo de tecnologías de protección colectiva frente a la amenaza biológica, como es la tecnología de radiación UV-C, que resulta totalmente compatible con el control y mejora de la calidad del aire en espacios interiores habitados, tanto en el entorno civil como en el militar. De hecho, dentro de la comunidad científica internacional, como es el caso de los Drs. Donald K. Milton, Edward A. Nardell y David Michaels, los centros de control y prevención de enfermedades (CDC) de Estados Unidos o, en España, voces como la Dra. Margarita del Val y el mismo Ministerio de Sanidad, se propone el uso de dispositivos dotados de radiación UV-C para el control activo de la calidad del aire en interiores, filtrando partículas y eliminando patógenos de una manera eficaz y controlada, siendo inocuos para las personas que se encuentren en la misma estancia y reduciendo la probabilidad de contagio.

Referencias

- [1] Downes, A. y Blunt, T. (1877). The Influence of Light upon the Development of Bacteria 1. *Nature* 16, p 218. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/016218a0>
- [2] <https://www.americanairandwater.com/uv-facts/uv-dosage.htm>
- [3] <https://phc.amedd.army.mil/PHC%20Resource%20Library/cv19-effective-ness-safety-uv-light.pdf>
- [4] <https://www.defense.gov/News/Feature-Stories/Story/Article/2309289/air-guard-wing-receives-dods-first-uv-light-disinfectant-system/>

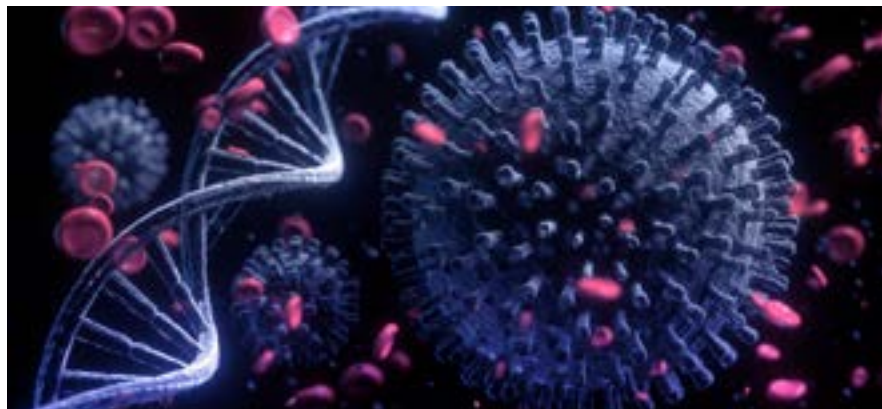


Fig. 3. Representación gráfica ampliada de coronavirus y ADN. La escala de tamaños entre los elementos no es proporcional: el fragmento visto de ADN sería mucho menor que el tamaño del virus en la imagen.

(Fuente: <https://www.uss.cl/medicina/luz-ultravioleta-desinfecta/>)

En profundidad

Ensayos en vuelo y aeronavegabilidad militar

Autor: coronel Fernando Aguirre Estévez, Dirección de Ingeniería del Mando del Apoyo Logístico del Ejército del Aire.

Palabras clave: aeronavegabilidad, certificación, ensayos, integración, seguridad.

Líneas I+D+i ETID relacionadas: 7.1.1, 7.2.2, 7.3.1, 7.3.5, 7.4.

Introducción

La integración en una aeronave de nuevos sensores, cargas, aviónica, pods y equipos se ha convertido en una necesidad inherente a los actuales sistemas de armas, lastrados cada vez más por un elevado coste, lo cual acarrea largos ciclos de vida. Hacer frente a las nuevas amenazas, adaptándose a los cada vez más exigentes condicionantes operativos manteniendo, e incluso mejorando, las capacidades de longevos sistemas de armas, implica disponer de la capacidad técnica para aplicar los desarrollos tecnológicos más innovadores a estos sistemas.

En la mayoría de las ocasiones, la incorporación de nuevos dispositivos embarcados (o modernización de los ya existentes) requiere de la realización de ensayos en vuelo. Pero no solo eso, también lo requieren la corrección de anomalías, adopción de mejoras, puesta al día de *Operational Flight Program* (OFP), comprobación de diseños, etc., siendo los ensayos en vuelo una parte esencial del proceso de verificación y validación de que la modificación introducida cumple con las especificaciones y es segura para el vuelo.

Aunque el carácter experimental ha estado ligado a la aviación prácticamente desde sus inicios, podría decirse que el linaje de

los ensayos en vuelo en España se remonta a 1911, año en el que se crea el Aeródromo Militar de Cuatro Vientos como Centro de Experimentación de Aeroplanos, y entra en vigor el primer *Reglamento para la experimentación de aeroplanos*. Han pasado los años y el Centro Logístico de Armamento y Experimentación ha recogido el testigo de los ensayos en vuelo, concentrando las tecnologías más punteras con el objetivo de potenciar y desarrollar las capacidades operativas del Ejército del Aire (EA), de forma autónoma e independiente de organismos externos, a un menor coste y en plazos más cortos. Con este propósito, el EA estableció la Instrucción General 70-17, que describe y normaliza la doctrina, procesos y procedimientos aplicables a la ejecución de los ensayos en vuelo.

Proceso de integración

Previamente a la ejecución del ensayo en vuelo, dentro del proceso de integración del nuevo equipo, es necesario efectuar un estudio teórico, pruebas de integración y verificación de requisitos dictados por las

normas. Inicialmente, puede aplicarse el manual MIL-HDBK-244A *Guide to Aircraft Stores Compatibility* [1], el cual cubre la compatibilidad entre aeronave y carga o nuevo equipo a instalar, tanto en vuelo como en tierra y durante la separación de la carga, desde un punto de vista mecánico, eléctrico, estructural, aerodinámico, de cualidades de vuelo, etc.

La integración geométrica asegura que no hay ninguna interferencia mecánica entre el nuevo equipo/carga a instalar y cualquier parte de la aeronave, en todas las configuraciones y fases de vuelo, sin olvidar el efecto de los registros de acceso, conectores, railes y argollas de fijación, pudiendo aplicarse, en este caso, los requisitos y procedimientos de prueba definidos en la norma MIL-STD-1289D *Airborne Stores Ground Fit and Compatibility, Requirements* [2].

Respecto a la integración ambiental, consiste en las pruebas de calificación del nuevo equipo (vibraciones mecánicas, aceleración, temperatura, choque, vibración, ruido acústico, niebla salina, arena y polvo,



Fig. 1. Integración del ROVER en el pod LITENING del EF-18 realizada por el EA. (Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=Xk8dnX6ZFj0>)

humedad, por citar las más relevantes). El estándar MIL-STD-810H *Test Method Standard* [3] define secuencias de estrés ambiental, con duración y niveles de ciclos de vida, que el equipo puede soportar mediante la creación de métodos de prueba en sala que reproducen los efectos del medio ambiente. Adicionalmente, se realizan pruebas EMI/EMC (*Electromagnetic Interference/Electromagnetic Compatibility*) a fin de garantizar que no hay efectos de acoplamiento electromagnético entre el equipo ya montado y el avión, pudiendo ser de aplicación la norma MIL-STD-461G *Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment* [4], la cual proporciona procedimientos

en foso, pruebas estáticas, GVT (*Ground Vibration Test*), seguimiento de cargas en vuelo, vuelos de flameo y dinámica estructural o lanzamientos en puntos característicos de la envolvente, entre otros. Para ello, puede tenerse en cuenta principalmente, entre otra documentación técnica existente, el estándar MIL-STD-1797B *Flying Qualities of Piloted Aircraft* [6] (el cual incluye la mayoría de los requerimientos de la MIL-F8785 *Flying Qualities of Piloted Airplanes*) para determinar las características de estabilidad y control del avión, mientras que la norma MIL-A-8861B *Aircraft Strength and Rigidity Flight Loads* [7] dictamina las maniobras y límites de aplicación de cargas. El flameo y dinámica

también se realizan ensayos de integración *software*, a nivel de subsistema, de todo el sistema en conjunto y de no regresión. Estos últimos aseguran que la modificación introducida no añade efectos desfavorables a las funcionalidades no alteradas. Para efectuar este análisis puede aplicarse la norma MIL-STD-8591H *Airborne Stores, Suspension Equipment and Aircraft-Store Interface (Carriage Phase)* [10], que proporciona requisitos para el diseño, análisis y prueba del nuevo equipo o carga a instalar y el interfaz de la aeronave. Por otra parte, la MIL-STD-1760E *Aircraft/Store Electrical Interconnection System* [11] define las características eléctricas de las señales de audio y video en el interfaz, así como la



Figura 2. GVT de EF-18 realizada en el CLAEX.
(Fuente: Revista Aeronáutica y Astronáutica n.º 855.)

de prueba a nivel de componente mientras que la MIL-STD-464D *Electromagnetic Environmental Effects Requirements for Systems* [5] lo hace a nivel de sistemas completos y plataformas.

La integración estructural y aerodinámica busca conocer cómo el nuevo *pod* afecta a las actuaciones y cualidades de vuelo de la plataforma, delimitando las maniobras y límites de cargas dentro de una envolvente segura, previniendo la aparición de efectos aeroelásticos indeseados que degraden las características de estabilidad y control de la aeronave. Se pueden emplear diversos ensayos para apoyar el proceso, como suelta

estructural puede contemplarse a través del estándar MIL-A-8870C *Military Specification: Airplane Strength and Rigidity Vibration, Flutter, and Divergence* [8] y las actuaciones con el manual MIL-HDBK-1763 *Aircraft/Stores Compatibility: Systems Engineering Data Requirements and Test Procedures* [9], que permite precisar los parámetros de rutas y alturas de vuelo en función de la autonomía y el alcance.

En cuanto a la integración funcional del nuevo dispositivo, esto supone la intercomunicación con otros sistemas del avión, la alimentación eléctrica en forma y nivel apropiados, la presentación en cabina, etc. Finalmente,

asignación de conectores y pines de todas las señales utilizadas. La MIL-STD-1760E trabaja con cinco grandes grupos de señales:

- MIL-STD-704F *Aircraft Electrical Power Characteristics* [12] que define un interfaz de potencia estandarizado entre una aeronave y sus equipos y cargas, definiendo voltaje, frecuencia, fase, factor de potencia, corriente máxima, ruido eléctrico, sobretensión y subtenión, tanto para sistemas de corriente alterna como de corriente continua.
- MIL-STD-1553C *Digital Time Division Command/Response Multiplex*

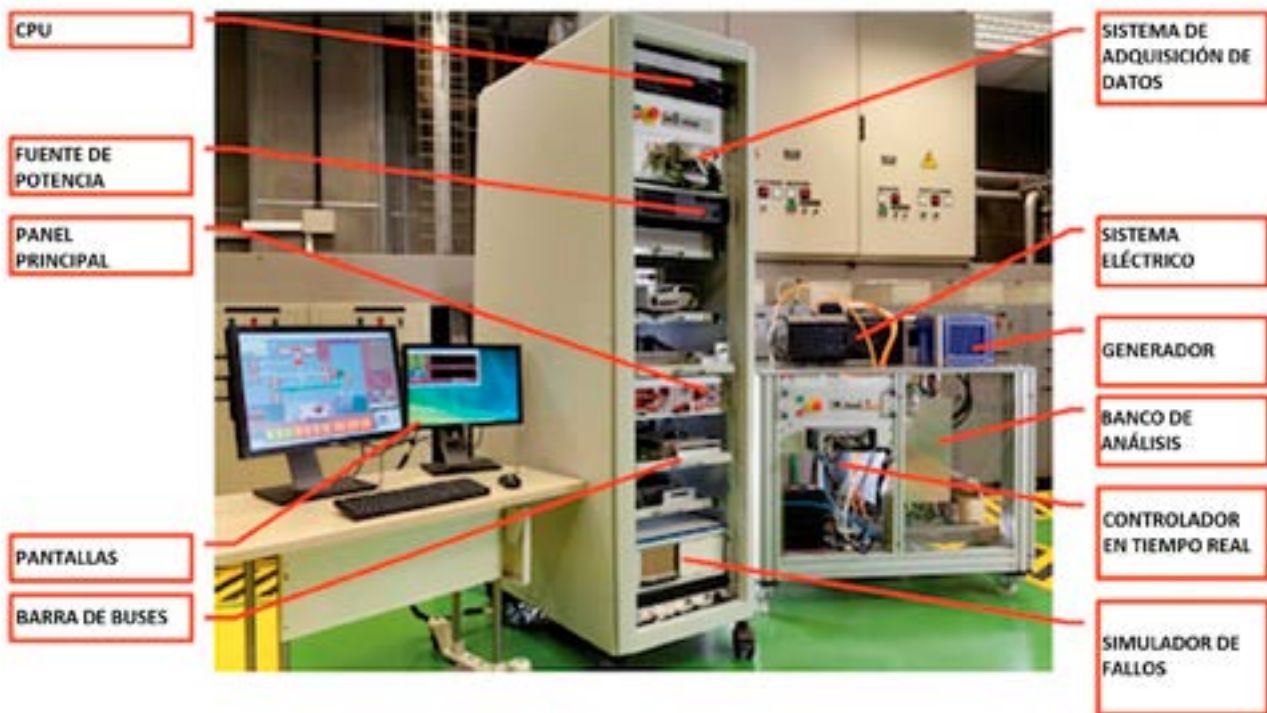


Figura 3. RIG de integración del subsistema eléctrico del RPAS.

(Fuente: <https://www.ni.com/es-es/innovations/case-studies/19/developing-a-uav-electrical-rig-using-labview-compactrio-and-ni-compacteddaq.html>)

Data Bus [13] es un estándar de bus de datos multiplex que se ha venido utilizando para transmisión de datos en subsistemas de aviónica en aeronaves. Proporciona un interfaz físico de línea balanceada dual, un interfaz de red diferencial, multiplexación por división en el tiempo y protocolo de comando/respuesta half-duplex, con hasta treinta y una direcciones (31) de comunicaciones. Una versión de la MIL-STD-1553C, que emplea cableado óptico en lugar de eléctrico, es la MIL-STD-1773B [14].

- Señales analógicas de enrutado entre la aeronave y las cargas, tanto de alta como de baja frecuencia.
- Señales discretas. Hay dos tipos de señales discretas, las cuales se comparan entre sí para determinar si el equipo o carga instalada en el avión ha sido liberada o no [15].
- Fibra óptica que permite velocidades de comunicaciones digitales mucho más altas que las que admite la MIL-STD-1553C.

En este texto, por razones de simplicidad, solo se han expuesto los documentos más relevantes, pero existe más normativa del tipo MIL-STD (*Military Standard*) o MIL-HDBK

(*Military handbook*) sobre ciertos tipos de ensayos en tierra y en vuelo, además de varios STANAG (*Standardization Agreement*) sobre normalización OTAN, que podrían ser de interés.

Aeronavegabilidad militar

En Europa, las aeronaves militares y de Estado están excluidas del alcance de la legislación que emana de la EASA (*European Aviation Safety Agency*). La EASA es una agencia de la Unión Europea con capacidad regulatoria y ejecutiva en la seguridad de la aviación civil. De este modo, cada Estado miembro es individualmente responsable de garantizar que las aeronaves militares y de Estado son aeronavegables y seguras para el vuelo. Como resultado, cada nuevo programa de certificación de estas aeronaves tiene que repetirse a nivel nacional con el consiguiente coste y demoras adicionales al requerir actividades T&E (*Test and Evaluation*) en cada país.

Auspiciado por la EDA (*European Defence Agency*), en 2008 se crea el Foro MAWA (*Military Airworthiness Authorities*), constituido por los representantes de cada una de las autoridades nacionales de aeronavegabilidad militar, con el objetivo de

desarrollar, adoptar e implementar las normas militares europeas armonizadas (EMAR, *European Military Airworthiness Requirements*). Hasta la fecha, el Foro MAWA ha desarrollado y aprobado la EMAR 21 de certificación inicial y continuada, la EMAR 145 de organizaciones de mantenimiento, la EMAR 147 de organizaciones de formación de mantenimiento y la EMAR 66 de licencias de mantenimiento [16]. Al disponer de un conjunto de requisitos de aeronavegabilidad comunes y armonizados entre las naciones, las normas EMAR permitirán reducir costes y tiempo en la certificación de la aeronavegabilidad de las aeronaves, así como en el sostenimiento y capacitación del personal de mantenimiento.

Reglamento de aeronavegabilidad de la defensa y normativa PERAM

De acuerdo con el Reglamento de aeronavegabilidad de la defensa (RAD), el Certificado de tipo (CT) es emitido por la autoridad de aeronavegabilidad de la defensa (AAD) e indica que un producto aeronáutico ha sido diseñado y ensayado siguiendo las normas y procedimientos aprobados y, por tanto, se considera seguro para el vuelo [17]. En cuanto a las modificaciones, conforme al RAD estas

En profundidad

deben ser aprobadas por un órgano técnico competente. Si el solicitante de una modificación mayor no es el titular del CT, debe estar reconocido como organización de diseño con un alcance suficiente para el diseño de productos aeronáuticos completos. Además, se requiere un CT suplementario (CTS) que demuestre el cumplimiento de los procedimientos y requisitos aplicables aprobados.

Asimismo, la emisión de las publicaciones españolas de requisitos de aeronavegabilidad militares (PERAM) inicia el proceso de adaptación de los requerimientos europeos EMAR a la normativa española sin contradecir lo establecido en el RAD. Conforme a la PERAM 21 [18], cualquier organización responsable del diseño de productos, componentes y equipos, o de efectuar modificaciones o reparaciones en los mismos que solicite un CTS, deberá demostrar su capacidad mediante la titularidad de una AODM (aprobación de organización de diseño militar), otorgada por la AAD.

Para la aprobación de algunos diseños, las AODM requieren implementar ensayos en vuelo. Cuando los ensayos en vuelo se efectúen con el fin de obtener un CT, deberán realizarse de acuerdo con las condiciones

especificadas por la AAD para tales ensayos. El solicitante deberá realizar todos los ensayos en vuelo que la AAD considere necesarios para establecer el cumplimiento de las bases de certificación y los requisitos de protección ambiental (si son aplicables), y para determinar que hay una garantía razonable de que la aeronave, sus partes y componentes son fiables, funcionan correctamente, y son capaces de operar con seguridad [18].

Ensayos en vuelo y normativa EASA

Las EMAR no son el equivalente militar de las EASA ya que las EMAR son adoptadas por cada una de las naciones; no obstante, en áreas concretas que aún no estén contempladas por las EMAR, podría ser de aplicación la normativa EASA, la cual podría ser militarmente adaptada. Así, en lo que respecta a los ensayos en vuelo, la EASA ha clasificado los diferentes ensayos en vuelo en cuatro categorías [19]:

Categoría uno

- a) Vuelo(s) inicial(es) de un nuevo tipo de aeronave o de una aeronave cuyas características de vuelo o manejo hayan sido modificados significativamente.

- b) Vuelos en los que pueda preverse la posibilidad de afrontar características de vuelo significativamente distintas a las ya conocidas.

- c) Vuelos para investigar características o técnicas de diseño de aeronaves que sean novedosas o inusuales.

- d) Vuelos para determinar o ampliar la envolvente de vuelo.

- e) Vuelos para determinar las actuaciones reglamentarias, las características de vuelo y las cualidades de manejo al aproximarse a los límites de la envolvente de vuelo.

- f) Formación sobre ensayos en vuelo para ensayos en vuelo de categoría 1.

Categoría dos

- a) Vuelos no clasificados en la categoría 1 con una aeronave cuyo tipo aún no se haya certificado.

- b) Vuelos no clasificados en la categoría 1 con una aeronave de un tipo ya certificado, tras la incorporación de una modificación aún no aprobada y que:

- i requieran una evaluación del comportamiento general de la aeronave; o



Figura 4. RPA Lockheed Martin X-56 experimentando tecnologías de supresión de flameo en la NASA.
(Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=7xQJ2sVQrUA&list=PLiuUQ9asub3QuciH4PnkgwJC5P7Ht3IAa>)

- ii requieran una evaluación de los procedimientos básicos de la tripulación, cuando se utilice o se necesite un sistema nuevo o modificado; o
- iii se requiera que vuelen intencionalmente fuera de las limitaciones de la envolvente operacional ya aprobada, pero dentro de la envolvente de vuelo investigada.

d) Formación sobre ensayos en vuelo para ensayos en vuelo de categoría 2.

Categoría tres

Vuelos efectuados para la expedición de la declaración de conformidad de una aeronave de nueva construcción que no exijan volar fuera de las limitaciones del certificado de tipo o el manual de vuelo de la aeronave.

Categoría cuatro

Vuelos no clasificados en las categorías 1 o 2 con una aeronave de un tipo ya certificado, en caso de incorporación de una modificación de diseño aún no aprobada.

En un ensayo en vuelo, el primer documento a elaborar es el *Flight Test Program*, sobre las bases del Programa de Certificación, que describa el objeto del ensayo, la configuración de las aeronaves de ensayos en relación con su *baseline*, envolvente de los vuelos, mantenimiento realizado a las aeronaves y estatus de aeronavegabilidad, registro de peso y centrado, instrumentación de ensayos, planificación de los vuelos a realizar, tipos de vuelos, métodos de ensayos en vuelo, limitaciones de diseño, tripulación en tierra y en vuelo incluida la cualificación de piloto de ensayos y del ingeniero de ensayos, instalaciones y espacio aéreo requerido, equipamiento de seguridad y procedimientos de emergencia y, en el caso de integración de un nuevo equipo, lo indicado anteriormente en el apartado proceso de integración. Cada punto del *Flight Test Program* requiere un análisis de riesgos incluyendo los mecanismos de mitigación para reducir riesgos identificados a niveles admisibles [20].

A continuación, se prepara la *Flight Test Order*, un subconjunto del *Flight Test Program* en el cual se definen las condiciones concretas y las

especificaciones de prueba para cada vuelo, identificando la secuencia de puntos de ensayos. Cada uno de estos puntos requiere un análisis de riesgos específico dentro del proceso de gestión del riesgo operacional, el cual conduce al establecimiento de limitaciones, mitigando el riesgo asociado a cada prueba concreta.

de Aeronavegabilidad militar, en el ámbito del RAD [18], que en el caso de vuelos de ensayos debería ser un CAE (Certificado de Aeronavegabilidad para Experimentación) [17].

Ensayos en vuelo de RPA

Aunque muchas de las técnicas clásicas de ensayos en vuelo empleadas



Figura 5. GCS de la NASA en ensayos de integración de RPA con tráfico aéreo comercial.

(Fuente: <https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/ed14-0205-21.jpg>)

Además, la *Flight Test Order* debería incluir el motivo del vuelo, la configuración de la aeronave, perfil del vuelo, métodos de ensayos y dispositivos para la grabación de datos, tripulación de ensayos, instalaciones y espacio aéreo requerido, condiciones meteorológicas, equipamiento de seguridad y procedimientos de emergencia, comunicaciones, peso y centrado de la aeronave, y criterios de cancelación de la misión FTS (*Flight Terminate System*) contemplando la recuperación a zonas de aterrizaje alternativas [20].

Finalmente, según la EASA, se debe obtener un *Permit to Fly*; sin embargo, un *Permit to Fly* no es un Certificado de Aeronavegabilidad reconocido como válido según la legislación española, sino únicamente una de las evidencias que se deben presentar para poder conseguir la emisión o renovación de un Certificado

en aeronaves no remotamente tripuladas son directamente aplicables a los RPA (*Remotely Piloted Aircraft*), el hecho es que estos vehículos aéreos remotamente tripulados requieren de algunos enfoques únicos para los ensayos en vuelo y la gestión de riesgos de dichos ensayos. Dado que no hay ninguna persona a bordo de un RPA durante la operación, existen riesgos adicionales a tener en cuenta.

Pero los ensayos en vuelo de RPA no solo alcanzan a la aeronave en sí, sino que también incluyen aspectos HMI (*Human Machine Interface*) en la GCS (*Ground Control Station*) y de los enlaces de datos con el vehículo remoto. La planificación y ejecución de ensayos de vehículos remotamente tripulados implica otro tipo de riesgos añadidos a los de la aviación tradicional, los cuales deben ser tenidos en cuenta en los análisis

En profundidad

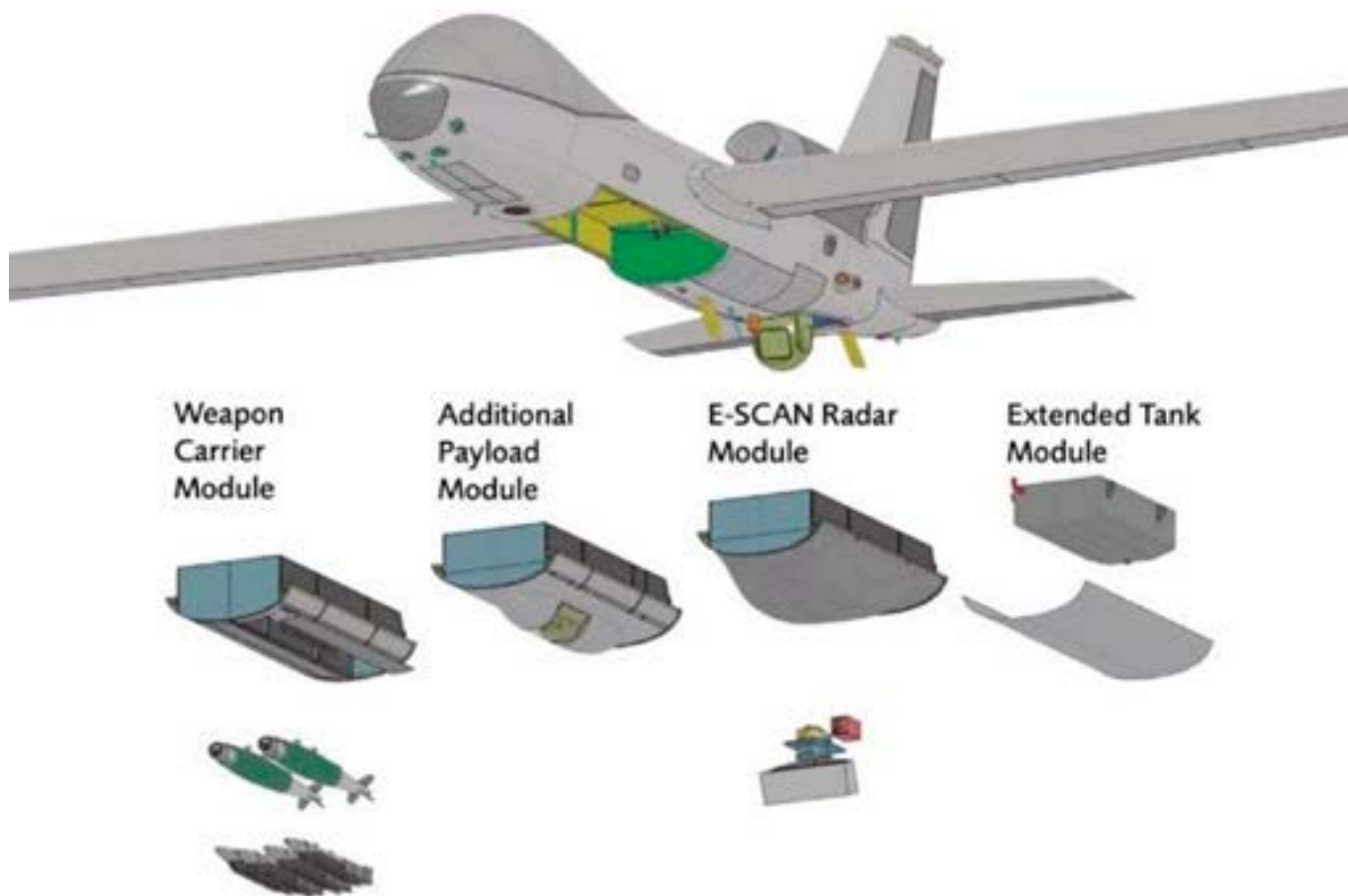


Figura 6. Diversas configuraciones de cargas de pago del RPA Talarion de Airbus.
(Fuente: <http://www.thinkdefence.co.uk/wp-content/uploads/2014/05/EADS-Talarion-Payload-Bay.jpg>)

de riesgos para reducirlos a un nivel aceptable. Para ello, el Departamento de Defensa norteamericano (*DoD, Department of Defense*) ya incorporó los RPA en la última versión de la norma MIL-STD-882E *System Safety*. Ciertamente, estos riesgos varían con el tamaño del avión, tiempo en el aire, velocidad del aparato, interferencia con otras plataformas aéreas,... lo cual debe ser estudiado y analizado por los pilotos de ensayos e ingenieros de ensayos [21].

La ausencia de piloto en cabina presenta una serie de connotaciones a la hora de afrontar las campañas de ensayos en vuelo con RPA. Al no tener sensaciones físicas ni visuales acerca de virajes, velocidad o turbulencia que sí percibiría si estuviera a bordo de la aeronave, el piloto ha de confiar en presentaciones sintéticas a la hora de tomar decisiones. A esto hay que añadir una posible caída del enlace GCS-RPA, lo que conlleva pasar a modo autónomo, contemplando estos riesgos adicionales, aplicando medidas mitigadoras en los ensayos

como actuar sobre la envolvente de vuelo o mayores redundancias, para mantener el nivel de seguridad dentro de los mismos márgenes que la aviación convencional no remotamente tripulada [22].

Singular preeminencia cobra en estos ensayos las simulaciones, explorando los diferentes modos de fallo, así como las limitaciones inducidas y los criterios FTS. De esta manera, las tripulaciones de ensayos se adiestran en la optimización del ensayo, calculando envolventes de vuelo más seguras y eficientes, a la par que analizan ergonómicamente la interacción HMI. Sin embargo, no debe perderse de vista que las simulaciones no dejan de ser extrapolaciones que tratan de predecir la actuación de la aeronave basándose en estudios teóricos, cálculos realizados por ordenador y datos extraídos de pruebas en laboratorio/banco y en tierra, caracterizados por una cierta precisión y bajo hipótesis de partida muy concretas. Por tanto, estas simulaciones deben tratarse con la

adecuada cautela, especialmente en los primeros vuelos o en condiciones nuevas como extensión de envolventes, bajo el estricto control de pilotos de ensayos e ingenieros de ensayos. Las conclusiones extraídas de estos ensayos se usarán para realimentar nuevas simulaciones en un proceso iterativo con pequeños incrementos, refinando la precisión en cada paso manteniendo el riesgo dentro de límites permisibles sin rebajar la seguridad en vuelo.

Generalmente los RPA suelen presentar una escala más reducida que la aviación convencional con piloto a bordo, lo que trae consigo que los ensayos en vuelo sean más asequibles, se puedan realizar muchas más pruebas, más frecuentes y más cerca del desarrollo del sistema. Esto favorece el número de variantes con diferentes pesos, tamaños, cargas de pago o incluso configuraciones aerodinámicas, incrementando con ello la cantidad de pruebas en vuelo, aunque con riesgo atenuado por analogía entre ellas, aumentando por

consiguiente la seguridad de cada ensayo individual [23].

Conclusiones

Desde que un aparato más pesado que el aire se elevó del suelo hace más de cien años, el carácter experimental ha estado íntimamente asociado a la aviación; si bien, enseguida estos pioneros se percataron de que por muy exactos que sean los estudios teóricos que fundamenten cualquier innovación/modificación, esta tiene que ser comprobada experimentalmente. Y este salto del tablero de diseño al mundo real debe estar debidamente normalizado y procedimentado, al objeto de mantener el riesgo dentro de márgenes admisibles por la normativa vigente sin comprometer la seguridad en vuelo.

Actualmente, los sistemas de armas resultan cada vez más costosos de adquirir, lo cual supone sucesivas extensiones del tiempo de vida, retrasando así su retirada en servicio. En estas circunstancias, mantener la capacidad operativa de estos sistemas pasa por la adopción de actualizaciones que le permitan hacer frente a las nuevas amenazas, bien sea mediante nuevos dispositivos físicos o renovación de los ya existentes, o bien a través de cambios *software*, lo cual conlleva a la postre la realización de ensayos en vuelo, verificando y validando que la alteración introducida cumple las especificaciones y es segura para el vuelo.

En cuanto a los RPA, como aeronaves que también son, presentan requerimientos similares a los aviones tradicionales, aunque también muestran diferencias significativas. Al no encontrarse el piloto a bordo, otro tipo de riesgos deben ser considerados y evaluados en los análisis de riesgos a la hora de acometer las campañas de ensayos en vuelo, aplicando las técnicas más modernas con la finalidad de eliminar el riesgo o, si no fuera posible, mitigarlo hasta niveles tolerables de seguridad operacional.

Referencias

- [1] MIL-HDBK-244A *Guide to Aircraft Stores Compatibility*. DoD. (6 de abril de 1990). http://everyspec.com/MIL-HDBK/MIL-HDBK-0200-0299/MIL-HDBK-244A_2811/
- [2] MIL-STD-1289D *Airborne Stores Ground Fit and Compatibility, Require-*

- ments*. DoD. (23 de abril de 2004). http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-1100-1299/MIL-STD-1289D_CHANGE-1_25867/
- [3] MIL-STD-810H *Test Method Standard*. DoD. (31 de enero de 2019). http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0800-0899/MIL-STD-810H_55998/
- [4] MIL-STD-461G *Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment*. DoD. (11 de diciembre de 2015). http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0300-0499/MIL-STD-461G_53571/
- [5] MIL-STD-464C *Electromagnetic Environmental Effects Requirements for Systems*. DoD. (1 de diciembre de 2010). http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0300-0499/MIL-STD-464C_28312/
- [6] MIL-STD-1797A *Flying Qualities of Piloted Aircraft*. DoD. (24 de agosto de 2004). http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-1700-1799/MIL-STD-1797A_NOTICE-3_39377/
- [7] MIL-A-8861B *Aircraft Strength and Rigidity Flight Loads*. DoD. (7 de febrero de 1986). http://everyspec.com/MIL-SPECS/MIL-SPECS-MIL-A/MIL-A-8861B_6743/
- [8] MIL-A-8870C *Military Specification: Airplane Strength and Rigidity Vibration, Flutter, and Divergence*. DoD. (25 de marzo de 1993). http://everyspec.com/MIL-SPECS/MIL-SPECS-MIL-A/MIL-A-8870C_6746/
- [9] MIL-HDBK-1763 *Aircraft/Stores Compatibility: Systems Engineering Data Requirements and Test Procedures*. (15 de junio de 1998). http://everyspec.com/MIL-HDBK/MIL-HDBK-1500-1799/MIL-HDBK_1763_1775/
- [10] MIL-STD-8591H *Airborne Stores, Suspension Equipment and Aircraft-Store Interface (Carriage Phase)*. DoD. (23 de marzo de 1990). http://everyspec.com/MIL-SPECS/MIL-SPECS-MIL-A/MIL-A-8591H_10997/
- [11] [MIL-STD-1760E *Aircraft/Store Electrical Interconnection System*. DoD. (24 de octubre de 2007). http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-1700-1799/MIL-STD-1760E_10197/
- [12] MIL-STD-704F *Aircraft Electrical Power Characteristics*. DoD. (12 de marzo de 2004). <https://iee.li/pdf/standards-handbooks/MIL-STD-704F.pdf>
- [13] MIL-STD-1553C *Digital Time Division Command/Response Multiplex Data Bus*. DoD. (28 de febrero de 2018). http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-1500-1599/MIL-STD-1553C_55783/
- [14] MIL-STD-1773 *Fiber Optics Mechanization of an Aircraft Internal Time Division Command/Response Multiplex Data Bus*. DoD. (20 de mayo de 1988). http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-1700-1799/MIL-STD-1773_25257/
- [15] STO AGARDograph 300 AG-300-V29 *Aircraft/Stores Compatibility, Integration and Separation Testing*. NATO. (Septiembre de 2014). <https://es.scribd.com/document/425189381/Nato-Bomb-Rack>
- [16] *Approved MAWA Documents*. EDA. <https://eda.europa.eu/experts/airworthiness/mawa-documents>
- [17] Reglamento de aeronavegabilidad de la defensa. (2 de octubre de 2015). *Boletín Oficial del Estado* n.º 255. Real Decreto 866/2015. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2015-11426
- [18] PERAM 21 Edición 2.0. *Certificación de aeronaves militares y productos, componentes y equipos relacionados y de organizaciones de diseño y producción*. (24 de junio de 2021). <https://publicaciones.defensa.gob.es/peram-21-ed-2-0-certificacion-de-aeronaves-militares-y-productos-componentes-y-equipos-relacionados-y-de-organizaciones-de-dise-o-y-produccion-libros-ebook.html>
- [19] [Reglamento (UE) 2015/1039 de la Comisión de 30 de junio de 2015 por el que se modifica el Reglamento (UE) n.º 748/2012 en lo relativo a los ensayos en vuelo. <https://www.boe.es/doue/2015/167/L00001-00009.pdf>
- [20] Roland, D. (20 de abril de 2012). *Flight test activity in design organisations*. EASA. <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Presentation%203%20-%20Flight%20test%20activity.pdf>
- [21] MIL-STD-882E *System Safety*. DoD. (11 de mayo de 2012). <https://mail.system-safety.org/Documents/MIL-STD-882E.pdf>
- [22] RTO AGARDograph 300 AG-300-V27 *Unique Aspects of Flight-Testing Unmanned Aircraft Systems*. (Abril de 2010). NATO. [https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Technical%20Reports/RTO-AG-300-V27/\\$\\$AG-300-V27-ALL.pdf](https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Technical%20Reports/RTO-AG-300-V27/$$AG-300-V27-ALL.pdf)
- [23] Dauer, J. C.; Adolf, F.-M. y Lorenz, S. (Mayo de 2015). *Flight Testing of an Unmanned Aircraft System – A Research Perspective*. NATO SCI-269 Symposium on Flight testing of Unmanned Aerial Systems. https://www.researchgate.net/publication/278425058_Flight_Testing_of_an_Unmanned_Aircraft_System_-_A_Research_Perspective

En profundidad

Proyecto ARCO: aplicación robótica de un convoy operativo

Autores: Jorge Villagrà Serrano, Centro de Automática y Robótica, UPM-CSIC.

Palabras clave: vehículo autónomo, convoy, comunicaciones inalámbricas, percepción y guiado embarcados.

Líneas I+D+i ETID relacionadas: 3.3.5.

Introducción

Tanto en operaciones de mantenimiento de paz (OMP) como en trayectos en territorio nacional, las Fuerzas Armadas de España (FAS) necesitan una capacidad logística de alto valor para el cumplimiento de las misiones encomendadas, que están sometidas a un amplio abanico de riesgos: averías, accidentes, mala elección del recorrido e incluso ser el blanco fácil de emboscadas y artefactos explosivos improvisa-

dos y escondidos en el terreno. La agrupación de unidades logísticas es una estrategia clásica que tiene como objeto mitigar esos riesgos. En concreto, un convoy o columna es un conjunto de al menos tres vehículos motorizados cuyo avance está orquestado de algún modo para mejorar la seguridad de las personas o mercancías que transporta cada uno de esos vehículos.

Las condiciones operativas fuerzan al uso de estos convoyes militares por terrenos desconocidos o que no hayan sido controlados previamente por las fuerzas amigas. Por esta razón, la posibilidad de disponer de un convoy en el que el primer vehículo es teleoperado desde otro vehículo de la columna otorga una ventaja en la seguridad del personal. Si además, el resto de vehículos, a excepción de aquel en el que va el operador, tiene la capacidad de seguir al vehículo que le precede sin intervención humana, el impacto positivo no está solo en consideraciones de seguridad, sino

también en la descarga de estrés y sobrecarga cognitiva de los conductores.

El proyecto ARCO tenía como objetivo hacer de esa posibilidad un demostrador funcional en entornos relevantes para la operación militar, cubriendo necesidades operativas diversas, como la navegación en entornos estructurados o desestructurados y en situaciones de GNSS denegado o con comunicaciones degradadas.

Se transformaron unos camiones tácticos militares de dotación en vehículos semiautónomos (con capacidad de seguir a un vehículo delantero) y/o teleoperados (ver figura 1). Para ello, se desarrollaron e integraron unos kits de automatización-sensibilización en los vehículos que permiten su operación, ya sea como vehículo cabecero o como seguidor, siempre sin perder la capacidad de conducción manual. Como resultado de esos desarrollos y de su integración



Fig. 1. Convoy automatizado en el marco del proyecto ARCO navegando en configuración teleoperado-autónomo-manual en el campus de La Marañosa.

(Fuente: Centro de Automática y Robótica)

en un sistema coordinado y centralizado desde una consola de misión, se obtuvo un prototipo avanzado, cuyos detalles técnicos se detallan en las próximas secciones.

Objetivos de ARCO

El objeto del proyecto, siguiendo la filosofía del programa COINCIDENTE, era traer tecnología en un estado de madurez elevado (TRL 5-6) del mundo civil para ser aplicada en sistemas de las FAS. En este caso concreto, se proponía *desarrollar un demostrador funcional de una aplicación de convoy en el que se combinen vehículos*

- Especificar los requisitos operativos, funcionales y técnicos, así como los correspondientes planes de validación y las arquitecturas funcionales, SW y HW del sistema, para que cada uno de los subsistemas y componentes que conforman el convoy, una vez integrados, cumplieren con el objetivo general del proyecto.
- Automatizar dos plataformas representativas de una aplicación militar (un 6x6 y un 8x8), en lo que se conoce en inglés como *drive by wire*. Se disponía de un

encuentran en las instalaciones de La Marañosa.

- Dotar a los dos vehículos automatizados de los sensores (GNSS, inerciales, LÍDAR, cámaras de visión y radar) y dispositivos adicionales (unidades de procesamiento, equipos de comunicaciones) necesarios para navegar de manera autónoma en las condiciones especificadas.
- Desarrollar los subsistemas de comunicaciones, navegación, guiado y control de plataformas

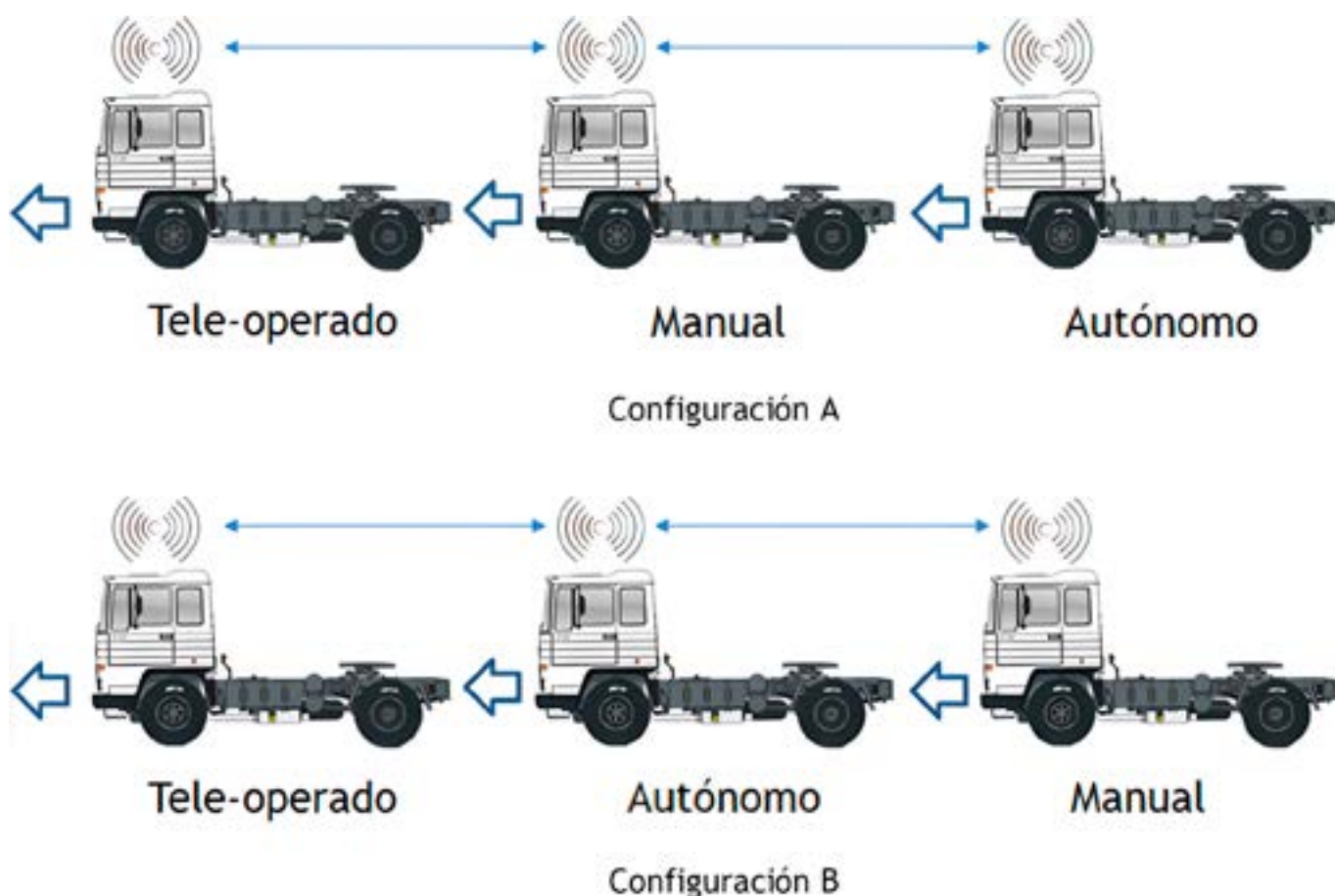


Fig. 2. Modularidad del convoy. Configuración A: teleoperado-manual-autónomo; configuración B: teleoperado-autónomo-manual. (Fuente: Centro de Automática y Robótica.)

operados de forma manual, teleoperada y autónoma. Para ello, la Universidad Politécnica de Madrid lideró un consorcio en el que también estaban SENER Aeroespacial, IVECO España y el INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial), cada uno aportando valor en su área específica de conocimiento.

Los objetivos más específicos del proyecto fueron:

tercer vehículo al que se dotó de equipos de comunicaciones, posicionamiento e interfaces hombre-máquina para el control de la misión y de la teleoperación, pero su conducción fue manual. Las plataformas seleccionadas fueron tres camiones propiedad de IVECO de las empleadas por las FAS y que se cedieron temporalmente para el desarrollo del proyecto, que actualmente se

terrestres de uso militar para que estas pudiesen ser operadas de forma remota (vehículo líder teleoperado) o autónoma (vehículo tractor sigue autónomamente al líder), siempre dentro del convoy. Estos subsistemas se diseñaron e integraron de manera que pudiesen ser intercambiables e interoperables entre ellos y con otros componentes robóticos en fase de desarrollo, bajo un

middleware ampliamente extendido - ROS2 [1].

- Ejecutar el plan de integración y pruebas de manera que se pudiesen validar todas las capacidades desarrolladas, primero sobre entorno estructurado y después sobre una zona operativa más desestructurada. Esta validación se realizó en un proceso iterativo en el que la complejidad operativa pasó de los tramos de carretera asfaltada en el circuito de pruebas del INTA

ampliar el número de vehículo involucrados en el convoy; y (iii) reemplazar fácilmente componentes y sistemas por otros que eventualmente aporten mejores características técnicas en aplicaciones futuras.

Más allá de esa aproximación flexible y adaptable, ARCO tiene las siguientes características técnicas:

1. Los tres vehículos disponen de un sistema de comunicaciones en tiempo real. Este sistema de

control de la misión y otra dedicada a la teleoperación del vehículo líder.

3. Los dos vehículos no tripulados están instrumentados de la misma forma y son completamente intercambiables dentro del convoy (ver figura 3). Ambos incluyen:

- o Sensores y dispositivos electromecánicos necesarios para el control de los actuadores de los vehículos (freno, acelerador, volante).



Fig. 3. Arquitectura sensorial del vehículo. A la izquierda, interior y exterior de la parte frontal de un camión automatizado; a la derecha, los campos de visión horizontales y verticales de todos los sensores exteroceptivos instalados. (Fuente: Centro de Automática y Robótica)

en Torrejón de Ardoz (Madrid) a los entornos sin asfaltar mucho más desestructurados y exigentes del Instituto Tecnológico La Marañosa, en San Martín de la Vega (Madrid).

Descripción de la solución técnica

La solución que se propuso se basaba en una arquitectura modular y multifuncional que permitiese: (i) modificar los roles de los vehículos en cada misión (teleoperado o seguidor, como se observa en la figura 2), (ii)

comunicaciones sirve para conocer el estado de los vehículos (estado, posición, orientación, velocidad, etc.) y enviar a los vehículos no tripulados los comandos e informaciones necesarios para su operación (waypoints, distancia entre vehículos, velocidad, etc.).

2. El puesto de mando, embebido en una estación portable, está ubicado en uno de los vehículos del convoy, contiene una interfaz de

- o Sensores para la localización global de los vehículos (GNSS, inerciales, odometría), su localización relativa y detección de obstáculos (LÍDAR, radar, cámaras de visión en el espectro visible).

- o Dos unidades de procesamiento embarcadas, una dedicada a la localización y percepción, y otra al guiado, el control y las comunicaciones.

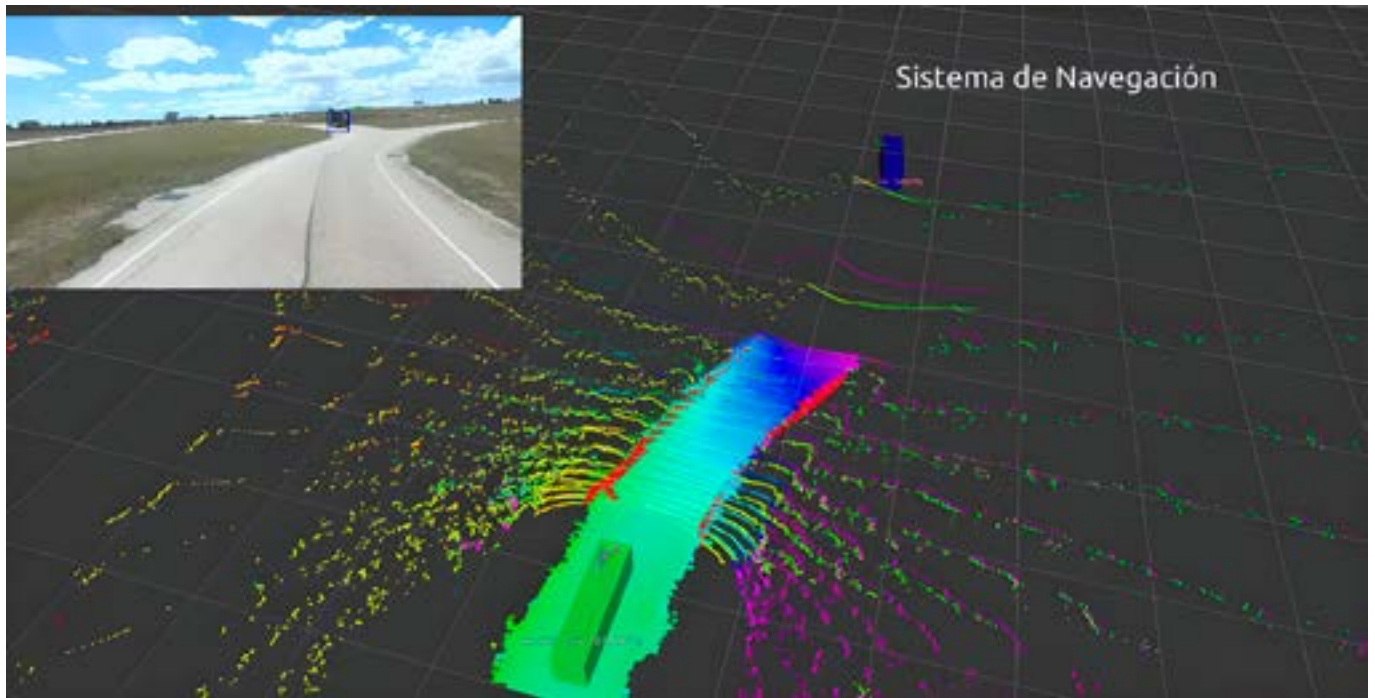


Fig. 4. Salida del sistema de percepción: rejilla de ocupación y elevación junto con detección de vehículo en entorno estructurado (pistas INTA).

(Fuente: Centro de Automática y Robótica)

Desde el punto de vista de *software* y de los algoritmos diseñados y desarrollados, los elementos centrales son:

- o Sistema de localización, que incluye (i) posicionamiento del vehículo en el entorno de operación, prestando especial atención a los entornos en los que la señal GNSS tiene una calidad limitada; (ii) ubicación relativa dentro del convoy y apoyo a las labores de seguimiento de vehículos precedentes en circunstancias en las que las comunicaciones se degradan.
- o Sistema de percepción, que engloba la identificación de la zona navegable, su modelado en altura, así como la detección de objetos fijos y móviles.
- o Sistema de guiado y control, que incluye (i) la determinación de caminos óptimos, con capacidad de modificarlas adaptándose a las circunstancias del entorno; (ii) la generación de un perfil de velocidades acorde a la distancia de seguridad y la velocidad del vehículo delantero; y (iii) la algoritmia de control para determinar las consignas sobre volante, acelerador y freno necesarias

para seguir la trayectoria planificada.

- o Sistema supervisor, que monitoriza los estados y alarmas del convoy, gestiona los modos degradados de operación cuando son necesarios y actúa en consecuencia, siempre bajo la premisa de garantizar la seguridad y evitar accidentes.

Los dispositivos y equipos físicos que se incorporaron a los vehículos son comerciales y con soporte garantizado, de modo que las innovaciones se centraron en el diseño del sistema completo, en la integración de componentes y, sobre todo, en el desarrollo de algoritmos adaptados a los requisitos especificados.

Tecnologías más relevantes del sistema

Dentro del proyecto se trabajó en 3 grandes bloques tecnológicos, que conforman 3 grandes subsistemas bien diferenciados:

Subsistema de localización y percepción

Este subsistema es el encargado de responder a dos preguntas esenciales en cualquier robot:

¿dónde estoy?, ¿por dónde puedo moverme? Para hacerlo de la manera más estable, precisa y fiable, se optó por una arquitectura multisensor:

- Localización con precisión centimétrica, utilizando sistemas GNSS multiconstelación (utilizando correcciones RTK siempre que fuese posible), IMU e información de la odometría (velocidad de avance) del vehículo.
- Sensores exteroceptivos redundante (1 LiDAR, 1 cámara estéreo y radar) para conseguir una comprensión robusta del entorno frontal del vehículo.

Una vez seleccionados los equipos y una unidad de procesamiento embebida de altas prestaciones (con GPU de última generación), se identificó la mejor configuración sensorial (ubicación y orientación de cada sensor) y se comenzó a realizar adquisiciones como base de evaluación de las estrategias implementadas. Dichos algoritmos fusionan inteligentemente la información de cada sensor y generan (i) una solución de localización (pose del vehículo y estimación de su incertidumbre); (ii) una rejilla de ocupación de una zona predefinida del frontal del vehículo, incluyendo en cada celdilla información de la altura

detectada; y (iii) una estimación de la posición y velocidad relativa del vehículo delantero. Una muestra de estas dos últimas salidas se refleja en la figura 4.

A través de numerosas pruebas tanto en las pistas INTA en Torrejón como en La Marañososa se definió con precisión el alcance y características de la solución final de este subsistema, a saber: (i) la extensión variable, según el contexto, de la zona en la que se enmarca la rejilla de elevación, (ii) la obtención de una rejilla en la que las celdillas tuviesen coherencia, continuidad y robustez a entornos con irregularidades importantes; (iii) el uso de técnicas de inteligencia artificial para la detección y seguimiento con precisión de los vehículos presentes en la escena.

Subsistema de guiado

Para la automatización de bajo nivel (*drive-by-wire*) de los dos camiones, se introdujo un juego de motor eléctrico, reductora, controladora y *encoder* tanto en la dirección como en el freno; el acelerador se gestionó

Para la generación de esas consignas se diseñó una estrategia de planificación de caminos, estructurada en torno a corredores de navegación, que se constrúan a su vez a partir de la estela de posiciones del vehículo delantero (recibida por comunicaciones inalámbricas). Dentro de esos corredores (ajustados con la ayuda del sistema de percepción), el mecanismo implementado lanzaba un importante número de caminos candidatos [2], eligiéndose el que obtenía el mejor compromiso entre seguridad, confort y utilidad dentro del corredor y evitando cualquier posible obstáculo, fijo o móvil (la figura 5 muestra esquemáticamente ese principio de operación). Sobre ese camino se implementó una estrategia de planificación de velocidades [3] que garantizaba un seguimiento suave y seguro, con una interdistancia proporcional a la velocidad de navegación (también recibida vía comunicaciones o, en modo degradado, por el sistema de percepción).

Estos mecanismos fueron optimizados para su uso en tiempo real

gestión de estados y alarmas de la misión (con interfaz directa con el siguiente subsistema).

Subsistema de misión y teleoperación

El puesto de mando es la interfaz *software* y visual desde la cual el coordinador de la misión establece la configuración de esta, comanda el avance del convoy y supervisa el estado y alarmas de cada uno de los vehículos y actúa sobre ellos en momentos determinados de manera rápida y sencilla.

En paralelo a esta, y para completar las capacidades del sistema en relación a la pregunta ¿cómo interactuamos con el humano?, se desarrolló otra interfaz gráfica, destinada en este caso a teleoperar de la manera más precisa, intuitiva y simple el vehículo delantero del convoy (ver figura 6 mostrando su uso en La Marañososa). Se implementaron dos modos de teleoperación: (i) el directo -actuación sobre volante y pedales, emulando la conducción normal; o (ii) el indirecto -basado en la selección dinámica de puntos

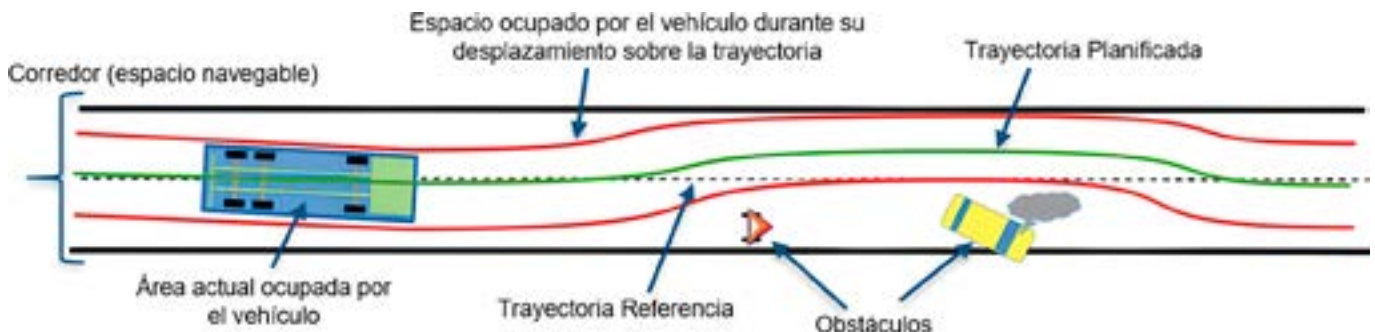


Fig. 5. Esquema del sistema de planificación basado en corredores, generados a su vez por la estela del vehículo delantero. (Fuente: Centro de Automática y Robótica)

con un conversor analógico/digital y una lógica discreta de control sobre microprocesador. Tras alimentar al conjunto y ajustar los parámetros de control a las condiciones operacionales (balanceo dinámico entre rapidez de estabilización, gestión de los pares resistivos y control de la saturación de corriente), se conectó la unidad de procesamiento (UP) dedicada al guiado a los diferentes controladores de los motores. Desde esa UP se enviaban consignas de posición de volante, freno y acelerador que el subsistema de guiado determinaba.

(ciclo de control a 50 m) y probados exitosamente sobre una gran variedad de terrenos. Con esta estrategia el vehículo seguidor puede responder a la pregunta ¿por dónde puedo moverme? en condiciones nominales. Para gestionar un buen número de situaciones excepcionales (pérdida de comunicaciones, pérdida de calidad de algún sensor, incursión de vehículos fantasmas, parada programada, parada de emergencia) se diseñó, implementó y probó un sistema supervisor de gestión de modos de operación, acompañado de un sistema de

intermedios (*waypoints*) con una ayuda de realidad aumentada que permitía previsualizar por donde pasaría el vehículo unos instantes después.

Para hacer que esta comunicación entre el sistema y los operadores fuese efectiva, se trabajó intensamente en seleccionar la tecnología y dispositivos de comunicaciones que mejores prestaciones ofreciesen para los casos de uso considerados. Se optó por tecnología *mesh*, que permitía, además de topologías variables, muy adaptadas por tanto



Fig. 6. Pantallazo de la interfaz de teleoperación.
(Fuente: Centro de Automática y Robótica)

al concepto de convoy, una relación latencia-ancho de banda muy razonables (y con dispositivos en el mercado con coste competitivo para los rangos necesarios para este tipo de solución). Se identificó además la cámara para teleoperación que mejor cumpliera el compromiso entre esas características claves, a saber latencia (<200 m), resolución (>1080p) y ángulo de visión (110° HFOV).

Conclusiones y perspectivas

El despliegue exitoso del sistema en entornos muy representativos de las zonas de operación reales hace ser optimistas sobre la posible industrialización de una solución inspirada en el prototipo de ARCO. Las ventajas militares/logísticas serían múltiples:

1. Para su uso no es necesaria la adquisición de nuevos vehículos, puesto que se podría incorporar el kit sobre vehículos en servicio en las FAS con relativa facilidad.
2. La falta de dependencias de vehículos concretos facilita las labores logísticas, ya que no es necesaria la adquisición de nuevas familias de repuestos (salvo los estrictamente empleados en el kit de modificación), el personal de

mantenimiento ya está familiarizado con el vehículo, ya se disponen de las herramientas necesarias, etc.

3. El uso de este tipo de plataformas podría tener un campo de aplicación amplio en unidades que operan no solo en OMP sino en entornos civiles más domésticos, como los que gestiona la UME, accediendo a lugares peligrosos sin tener que poner en peligro vidas humanas (e.g. en focos de incendio, zonas contaminadas, transporte de heridos o personas con enfermedades con alto riesgo de contagio, etc).

Sin embargo, para poder alcanzar un estado de madurez aceptable (TRL 7- 8) es necesario avanzar en ciertos aspectos que se listan a continuación:

- Mejorar el carácter universal del drive-by wire, únicamente probado hasta ahora con 2 tipos de vehículos.
- Apoyarse en elementos externos que ayuden a (i) mejorar la percepción y (ii) dar más robustez a las comunicaciones. Un dron con capacidad para despegar y aterrizar sobre uno de los vehículos del convoy podría (i) aportar un mapa de alta resolución como fuente

fiable para la identificación del terreno; (ii) servir de relé de comunicaciones entre vehículos o con un puesto de control eventualmente remoto.

- Demostrar la escalabilidad, modularidad e interoperabilidad del sistema con un número más elevado de vehículos, de naturaleza y fabricantes diversos, que pudiesen intercambiar dinámicamente sus roles en el convoy.
- Validar la operatividad del sistema en entornos operacionales de mayor alcance, no solo por configuración topológica y tráfico, sino también por condiciones variables meteorológicas o del ambiente.

Referencias

- [1] <https://docs.ros.org/en/rolling/>
- [2] Artunedo, A.; Villagra, J. y Godoy, J. (2019). Real-time motion planning approach for automated driving in urban environments. *IEEE Access*. 7, 180039-180053.
- [3] Godoy, J. et al. (Julio 2022). *Corridors-based navigation for automated vehicles convoy in off-road environments*, 11th IFAC Symposium on Intelligent Autonomous Vehicles (IAV). Prague (Czech Republic).

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/>



SOPT

SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y
PROSPECTIVA TECNOLÓGICA



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE DEFENSA

SUBSECRETARÍA DE DEFENSA
SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA

SUBDIRECCIÓN GENERAL
DE PUBLICACIONES
Y PATRIMONIO CULTURAL

