

# Boletín

## DE OBSERVACIÓN TECNOLÓGICA EN DEFENSA



SUBDIRECCIÓN GENERAL DE TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN  
Boletín de Observación Tecnológica en Defensa n.º 38 • 1.º trimestre de 2013

### Capacidades AESA en los aviones de combate

### APIS, radar pasivo en el JIP-ICET

- **CD&E: Ciberdefensa táctica**
- **Metodologías emergentes en la toma de decisiones**
- **Vigilancia de fronteras marítimas: capacidades UE**
- **Proyectos EDA JIP-ICET: NICE y NANOCAP**



Edita:



NIPO en línea: 083-13-115-3

NIPO impresión bajo demanda: 083-13-114-8

**Autor:** Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT), Subdirección General de Tecnología e Innovación (SDGTECIN) de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM). C/ Arturo Soria 289, 28033 Madrid; teléfonos: 91 395 46 31 (Dirección), 91 395 46 87 (Redacción); [observatecno@oc.mde.es](mailto:observatecno@oc.mde.es).

**Director:** CF. Ing. José María Riola Rodríguez.

**Redacción:** Patricia López Vicente.

**Consejo Editorial:** Cap. Aurelio Hinarejos Rojo, Oscar Jiménez Mateo, Tomás A. Martínez Piquer, José Agrelo Llaverol. **Equipo de Redacción:** Nodo Gestor: Guillermo González Muñoz de Morales, David García Dolla; Observatorio de Armas, Municiones, Balística y Protección (OT AMBP): Jorge Lega de Benito; Observatorio de Electrónica (OT ELEC): Yolanda Benzi Rabazas, Fernando Iñigo Villacorta; Observatorio de Energía y Propulsión (OT ENEP): Héctor Criado de Pastors; Observatorio de Defensa NBQ (OT NBQ): Angélica Acuña Benito; Observatorio de Materiales (OT MAT): Luis Requejo Morcillo; Observatorio de Óptica, Optrónica y Nanotecnología (OT OPTR): Ing. D. Fernando Márquez de Prado Urquía, Pedro Carda Barrio; Observatorio de UAVs, Robótica y Sistemas Aéreos (OT UAVs): Ing. D. José Ramón Sala Trigueros; Observatorio de Sistemas Navales (OT SNAV): CF Ing José María Riola Rodríguez, Juan Jesús Díaz Hernández; Observatorio de Sistemas Terrestres (OT STER): , Comunicaciones y Simulación (OT TICS): Ing. D. Francisco Javier López Gómez, Fernando Cases Vega, Nuria Barrio Santamaría.

**Portada:** Oblea para fabricación de chips, artículo "Proyecto EDA JIP-ICET: NANOCAP".

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.

**Colaboraciones y suscripciones:**

[observatecno@oc.mde.es](mailto:observatecno@oc.mde.es)

<http://www.defensa.gob.es/>

[gob.es/areasTematicas/](http://www.defensa.gob.es/areasTematicas/)

[investigacionDesarrollo/](http://www.defensa.gob.es/investigacionDesarrollo/) [sistemas/](http://www.defensa.gob.es/sistemas/)



DGAM  
Subdirección General de Tecnología e Innovación

## CONTENIDOS

### 3 Editorial

#### Actualidad

- 4 EDA JIP-CBRN: resolución de la 1.<sup>a</sup> convocatoria
- 5 Seminarios STOSSET-157: Multisensor Fusion
- 6 HOMSEC 2013: IV Salón de Tecnologías de Defensa y Seguridad
- 7 Jornada UPM-FAS
- 7 Jornada Técnica sobre Aeronáutica y Defensa
- 8 Primer vuelo del UCAV Neuron
- 9 Conferencias sobre "Innovación de las FAS"
- 9 Asamblea PTME
- 10 Foro TRANSFIERE
- 11 Evaluación del 32.º *Proficiency Test* de la OPAQ

#### Tecnologías Emergentes

- 12 CD&E: Ciberdefensa Táctica
- 16 Metodologías emergentes en la toma de decisiones
- 18 Vigilancia de fronteras marítimas: capacidades UE
- 20 Proyecto EDA JIPICET: NICE
- 22 Proyecto EDA JIPICET: NANOCAP

#### En Profundidad

- 23 Capacidades AESA en aviones de combate
- 27 APIS, radar pasivo en el JIP-ICET

## Homsec 2013

Es importante para las empresas españolas del sector de defensa y seguridad el poder contar con ferias en las que se pueda mostrar la aplicación de sus tecnologías. Un ejemplo de ello son salones como el HOMSEC, el Salón Internacional de Tecnologías de Seguridad y Defensa, que tiene un claro objetivo hacia el exterior y fundamentalmente hacia el mercado iberoamericano.

En esta cuarta edición, con más de 150 expositores, el HOMSEC ha mostrado la capacidad de consolidación de esta feria, en la que se ha superado tanto la participación de visitantes como el número de expositores de pasadas ediciones, a la vez que se han incorporado diversas actividades complementarias. Algunas de estas actividades contaron con la participación directa del Ministerio de Defensa, como por ejemplo el *Security Research Event* de la Comisión Europea, dentro del cual se enmarcó el *Joint EC-EDA Workshop on the CBRN European Framework Cooperation*, o el *Spanish cyber security demonstration*, organizado por el ITM y CIDITES (Centro de I+D+i en Tecnologías de Seguridad).

Se puede resaltar este salón como punto de contacto de las administraciones, empresas y centros de I+D+i, presentando sus necesidades y ofertando posibles soluciones, así como plataforma de negocios de fabricantes y suministradores de productos, sistemas y servicios frente a las administraciones públicas, FAS y cuerpos de seguridad.

El Ministerio de Defensa ha apostado por este salón al contar con un *stand* en el que estuvieron presentes la Subdirección General de Tecnología e Innovación, el Instituto Tecnológico “La Marañosa” (ITM) y el Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo (CEHIPAR) de la Dirección General de Armamento y Material y el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA).

Sabemos que eventos como este propician las exportaciones, lo que da un impulso a nuestro sector contribuyendo al crecimiento económico y generando empleo. Además, favorece la innovación tecnológica, propiciando la competitividad y aumentando nuestra presencia internacional.

# Actualidad

## EDA JIP-CBRN: resolución de la 1.<sup>a</sup> convocatoria

Óscar Jiménez Mateo, representante nacional en el Comité de Gestión del programa, SDGTECIN

Palabras clave: NRBQ, detección, identificación y monitorización, M&S.

Metas tecnológicas relacionadas: MT 4.2.1.; MT 6.1.3.; MT 6.5.3.

El programa JIP-CBRN (*Joint Investment Programme on CBRN Protection*) de la Agencia Europea de Defensa (EDA), se enmarca dentro de una nueva iniciativa de colaboración (EFC, *European Framework Cooperation*) entre la EDA, la Comisión Europea (EC) y la Agencia Espacial Europea (ESA), y tiene por objetivo el desarrollo de actividades de I+T que contribuyan a mejorar las principales áreas de capacidad de defensa NRBQ. En el programa participan trece países (Austria, Bélgica, República Checa, Alemania, España, Francia, Italia, Irlanda, Holanda, Noruega, Polonia, Portugal y Suecia) y tiene una duración de cuatro años.

La primera convocatoria del programa se ha centrado en los siguientes temas: "Detección a distancia de agentes químicos", "Nueva generación de sistemas de detección puntual de agentes biológicos", "Manipulación de muestras mixtas NRBQ", y "Modelado y simulación de la arquitectura de un sistema integrado de defensa biológica". Se han recibido un total de veintidós propuestas de las cuales se han seleccionado finalmente siete, que se describen a continuación:

- AMURFOCAL (*Active Multispectral Reflection Finger printing Of persistent Chemical agents*), desarrollo de un demostrador para la detección a distancia de agentes químicos basado en tecnología láser de cascada cuántica sintonizable de cavidad externa (ECQCL).
- MICLID (*Mid-Infrared Chemical Lidar*), desarrollo de un demostrador



EUROPEAN  
DEFENCE  
AGENCY

para la detección a distancia de agentes químicos basado en un sistema LIDAR de nueva generación, con una fuente emisora y un amplificador de alta eficiencia.

- IPODS (*Biological Innovative Point Detection System*), desarrollo de un demostrador que combina un detector MALDI-TOF para una detección puntual temprana de agentes biológicos, con un detector inmunológico rápido (QIDS) que permitirá una posterior identificación de los mismos.
- RAMBO (*Rapid Air-particle Monitoring against BiOlogical threats*), desarrollo de un sistema para monitorizar de forma continuada la presencia de agentes biológicos en muestras de aire, que integra un detector con receptores biológicos (fagos) basado en espectroscopia Raman de superficie realizada (SERS), acoplado a un sistema micro-fluídico basado en la tecnología de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR).
- BIOTYPE (*BIOsensors for point detection based on nanostructured optical components for quick deployment in an overall CBRN European operational capability*), desarrollo de un demostrador tecnológico para la monitorización de agentes biológicos en muestras de aire, que incorpora un novedoso sistema de transducción de señal basado en la tecnología de circuitos fotónicos integrados (PIC).
- BFREE (*Safe handling and preparation of CBRN mixed samples: Biological challenges and solutions*), desarrollo de procedimientos

armonizados para la manipulación de muestras susceptibles de contener mezclas de agentes NRBQ y para la preparación de muestras compatibles con los diferentes tipos de análisis posteriores.

- MASC (*Modelling And Simulation for CBRN defence architecture*), desarrollo de una herramienta que permita simular la/s arquitectura/s de un sistema integrado de defensa NRBQ en diferentes escenarios, con objeto de identificar carencias en capacidades, orientar la política de I+D en función a las capacidades actuales y futuras, así como apoyar al planeamiento militar y la preparación de misiones.

Conviene destacar que España ha obtenido un retorno del 59,20% en esta primera convocatoria, a través de la participación de entidades nacionales en el proyecto BIOTYPE, que estará liderado por la empresa española DAS PHOTONICS y cuenta con la participación del Instituto Tecnológico "La Marañosa" (ITM) y la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), entre otras entidades europeas.

La segunda convocatoria del programa se centrará en los siguientes temas: "Exploración de nuevas tecnologías de descontaminación biológica y química", "Control de descontaminación biológica", "Desarrollo de tecnologías para mejorar la protección individual (NRBQ)", Mejora de los sistemas de protección colectiva (NRBQ) y "Redes de sistemas de detección y fusión de datos".

Para más información, pueden ponerse en contacto con la siguiente dirección: [edaconsultasit@oc.mde.es](mailto:edaconsultasit@oc.mde.es)

## Seminarios STO-SET-157: Multisensor Fusion

Jesús García Herrero, Departamento de Informática, Universidad Carlos III de Madrid

Palabras clave: fusión de datos, fusión de sensores, biestático, multiestático, seguimiento de blancos

Metas tecnológicas relacionadas: MT 2.2.1.

Durante los días 15 y 16 de noviembre de 2012 la Universidad Carlos III de Madrid acogió el seminario SET-157-*Lecture Series on Multisensor Fusion: Advanced Methodologies and Applications*, organizado a través del panel SET (*Sensors and Electronics Technologies de la STO (NATO Science and Technology Organization)*). El evento consistió en una serie de conferencias impartidas por expertos internacionales en técnicas de fusión de datos, donde se expusieron los avances y aplicaciones más recientes y relevantes en esta área. El evento fue organizado por la Universidad Carlos III de Madrid y la Subdirección General de Tecnología e Innovación (SDGTECIN), de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM), que ostenta la representación nacional ante la STO. Se celebró en el Salón de Grados de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, en el campus de Leganés.

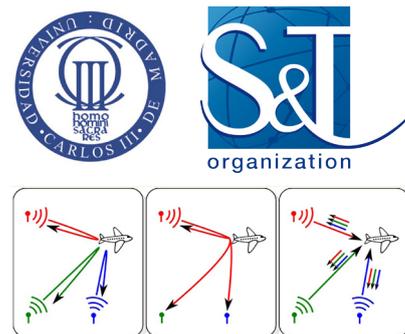
Los seminarios tuvieron un notable éxito de asistencia, con más de 70 participantes procedentes del Ministerio de Defensa (SDGTECIN e institutos de investigación como el ITM y el INTA), de la industria y de la universidad, así como de organizaciones de investigación de diversos Estados miembros de OTAN. Los conferenciantes que participaron en los seminarios son figuras muy relevantes en el área de fusión de datos, como Roy Streit (actual presidente de la *International Society of Information Fusion*, ISIF), Peter Willet, Wolfgang Koch y Stefano Coraluppi (miembros los tres de la dirección de la sociedad IEEE Aerospace & Electronic Systems

*Society*, foro en el que históricamente se han publicado los avances más significativos del área de la fusión de datos). El director de los seminarios, Matthias Weiss, perteneciente al *Fraunhofer Institute for High Frequency Physics*, es un investigador de referencia en sistemas avanzados radar y redes MIMO de sensores. Por su parte, Wolfgang Koch dirige un grupo de trabajo de la STO, el IST-106 (*Research Task Group on Information Filtering and Multi Source Information Fusion*), centrado específicamente en el estudio de técnicas de fusión de datos e información de múltiples fuentes en aplicaciones de interés para las misiones OTAN.

La fusión de datos e información se ha convertido en una herramienta fundamental para integrar los datos disponibles de múltiples fuentes, especialmente en situaciones complejas y con un volumen elevado de datos (vigilancia de áreas extensas, zonas con mucha densidad de objetos con alta dinámica, etc.). Este proceso de fusión de datos permite evitar una sobrecarga del operador debida al exceso de información, presentándole únicamente la información relevante para la toma de decisiones.

El área de fusión de datos atrae en la actualidad a numerosos grupos de investigación pertenecientes a diferentes disciplinas, debido en gran medida a la disponibilidad de nuevos tipos de sensores, nuevos algoritmos, y sistemas de comunicaciones de mayor velocidad y ancho de banda. Estas tecnologías han permitido el desarrollo de una amplia gama de aplicaciones, tales como los sistemas integrados de vigilancia (en aplicaciones civiles y de defensa y seguridad), monitorización y detección de anomalías, identificación de actividades sospechosas, sistemas de teleasistencia, etc.

El objetivo principal del seminario fue proporcionar una visión amplia y detallada de las tecnologías modernas de fusión de sensores y seguimiento. El programa cubrió los fundamentos de los algoritmos de fusión de sensores, seguimiento de trayectorias, asociación de datos y sistemas



avanzados de detección radar y sonda, así como los sistemas multiestáticos y de radar pasivo. Se expusieron algoritmos avanzados de estimación y seguimiento que constituyen el estado del arte en esta área, como el filtro multihipótesis (MHT), filtrado por procesos de Poisson (PHD) o seguimiento mejorado con información de contexto. Además, estas técnicas fueron ilustradas con aplicaciones relevantes como los sistemas de radar multiestático, las redes de sensores acústicos, la detección y seguimiento con sensores pasivos sobre emisiones de comunicaciones, etc. También se expusieron aplicaciones civiles como control de tráfico aéreo, visión artificial o tratamiento de imágenes médicas.

El seminario ha supuesto una gran oportunidad para difundir el conocimiento de estas tecnologías a nivel nacional, siendo una de las primeras jornadas celebradas en España que se han centrado específicamente en esta materia. Como continuación de esta iniciativa, aunque ya fuera del marco de la STO, está previsto que en el año 2014 la ISIF celebre su congreso anual en España, coorganizado por la propia ISIF, la Universidad Carlos III de Madrid y la Universidad de Salamanca. Esta sociedad, constituida hace 15 años, viene organizando regularmente estos congresos internacionales que constituyen un foro de encuentro entre todos los investigadores y usuarios de estas tecnologías de fusión de datos.

Si desea acceder a la documentación de este seminario, puede ponerse en contacto con la oficina de coordinación nacional STO en: [stoconsultas@oc.mde.es](mailto:stoconsultas@oc.mde.es)

# HOMSEC 2013: IV Salón de Tecnologías de Defensa y Seguridad

Patricia López Vicente, Nodo  
GestorSOPT

Palabras clave: tecnologías de defensa y seguridad, salón internacional, Secretaría de Estado de Defensa, I+D, INTA, ITM, SDGTECIN, DGAM, CEHIPAR

Metas tecnológicas relacionadas:  
MT 0.1.

El IV Salón de Tecnologías de Seguridad y Defensa, HOMSEC 2013, abrió sus puertas el 12 de marzo de este año, en el recinto ferial IFEMA de Madrid. El salón fue inaugurado por el secretario de Estado de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información, Víctor Calvo-Sotelo, y por el presidente del comité organizador del salón, José Antonio García González. Además, el ministro de Defensa envió su apoyo al salón mediante un vídeo.

El Ministerio contó con diversos stands, como los de los tres Ejércitos y la UME. Asimismo, la Secretaría de Estado de Defensa contó con un stand propio en el que se encontraban los tres centros de I+D del Ministerio [Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo (CEHIPAR), Instituto de Tecnología Aeroespacial “Esteban Terradas” (INTA) e Instituto Tecnológico “La Marañosa” (ITM)], Isdefe y la Subdirección General de Tecnología e Innovación (SDGTECIN).

Cabe destacar el interés que despertó este stand entre las delegaciones



de los Ministerios de Defensa de distintos países latinoamericanos, como Argentina, Colombia, Chile o México.

En paralelo al salón, se organizaron diversos eventos, destacándose la participación de la Dirección General de Armamento y Material, a través de la Subdirección General de Tecnología e Innovación y el Instituto Tecnológico “La Marañosa” (ITM) en:

“Security Research Event” de la Comisión Europea (CE), y organizado junto con el Cluster de Seguridad de Madrid, a través de la moderación de la mesa redonda titulada “Creating synergies with defence”, a cargo del Cor. Luis Beltrán Talamantes. En esta mesa, que contó además con representantes de la CE, la Agencia Europea de Defensa (EDA), la OTAN y de la industria, se discutió la importancia de la colaboración civil-militar (civmil) y la transversalidad de las tecnologías.

“Joint EC-EDA Workshop on the CBRN European Framework Cooperation”, en la presentación “ES. CIV-MIL Research cooperation in Spain”, con una ponencia sobre el Programa COINCIDENTE, en la que se resaltaba el papel de esta iniciativa en la adaptación de tecnologías desarrolladas en el ámbito civil a los requisitos militares, y otra, a cargo de la UCM, sobre el proyecto COINCIDENTE DABRA, de descontaminación de textiles a través de dióxido de carbono,

financiado en la convocatoria del año 2011 de este programa.

“Spanish cyber security demonstration”, organizado por el ITM y CIDITES, centro de I+D para tecnologías de seguridad. En este evento se realizó la demostración de varios tipos de ataques sobre un sistema, realizando un análisis para identificar sus vulnerabilidades y tomar el control del mismo.

Además, el director general de Armamento y Material participó en la feria con dos actividades el día 14, mediante la visita a los stands de varias empresas y en una conferencia enmarcada en el II Congreso Internacional ATENEA titulada “Cooperación y asociación de empresas españolas e iberoamericanas en el sector de Seguridad y Defensa”.

En términos generales, y según los datos proporcionados por los organizadores del evento, el Grupo Atenea, el salón contó con más de 120 expositores y más de 8.000 visitantes de 40 nacionalidades diferentes, lo que supone un incremento sustancial con respecto a ediciones anteriores.

El HOMSEC 2013 fue clausurado por el Secretario de Estado de Defensa (SEDEF), Pedro Argüelles Salaberria, el viernes 15 de marzo. En su clausura, el SEDEF destacó la importancia de este salón al establecer vías de comunicación entre Europa y Latinoamérica.



Fig. 1. Panel de Isdefe, el CEHIPAR y la Subdirección General de Tecnología e Innovación, dentro del stand de la Secretaría de Estado de Defensa. (Fuente: cortesía Isdefe).



Fig. 2. Cubos indicadores del stand, con las entidades presentes en el mismo. (Fuente: cortesía Isdefe)

## Jornada UPM-FAS

Patricia López Vicente,  
Nodo Gestor-SOPT

Palabras clave: Fuerzas Armadas,  
universidad, I+D, tecnología, jornada

Metas tecnológicas relacionadas:  
MT 0.1.

Los pasados días 20, 21 y 22 de noviembre de 2012 tuvieron lugar las XV Jornadas UPM-FAS. Durante estos tres días, se celebraron diversas charlas y visitas que se repartieron entre el rectorado de la UPM, el MACOM y el CESEDEN.

La apertura de las jornadas corrió a cargo del teniente general director del CESEDEN y del rector de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). A continuación, el director general de Armamento y Material impartió la conferencia inaugural titulada "Adquisiciones tecnológicas de las FAS".

La SDGTECIN participó en la primera sesión de dichas jornadas, celebrada el 20 de noviembre, con asistentes a la misma y con la ponencia "La ciencia y tecnología en el marco de la OTAN" dentro del panel "Evolución de las políticas europeas de I+D en



Fig. 1. El Director General de Armamento y Material, General de División D. Juan Manuel García Montaño, en la jornada UPM-FAS.

Defensa y Seguridad", realizada por D. Tomás A. Martínez Piquer, Jefe de la Unidad de Cooperación Tecnológica. Esta misma sesión contó con otras dos ponencias sobre "Programas y evolución de la Agencia Europea de Defensa (EDA)" y "Las prioridades de I+D en seguridad en el Programa Marco de I+D de la UE".

El segundo panel de esta sesión trató sobre la cooperación universidad empresa en el sector aeroespacial, que contó con ponencias centradas en el desarrollo de programas en este ámbito, a cargo de la ETSI Aeronáuticos, el INTA y GMV.

## Jornada Técnica sobre Aeronáutica y Defensa

Pedro Toledano Lanza, ETSIAN

Palabras clave: ETSIAN, patrulla marítima, lucha antisubmarina, SEOSAT, Hispasat

Metas Tecnológicas relacionadas: MT 3.5.; MT 3.6.; MT 3.7.

El 25 de octubre tuvo lugar en la ETSIAN una Jornada Técnica sobre Aeronáutica y Defensa que ha integrado cuatro conferencias.

Con su celebración se pretendía cumplir con un doble enfoque-objetivo: por una parte, que las conferencias tuvieran un substrato base de importante contenido técnico paracumplir con la misión docente de la ETSIAN de formar oficiales ingenieros y que, a la vez, se les pusiera de manifiesto con ellas la aplicación al mundo real de la ingeniería de muchos de los contenidos académicos que se les imparten.



Fig. 1. Ponentes en la jornada

Por otra parte, se seleccionaron profesores que además pudieran presentar contenidos de actualidad, con un fuerte componente de alta tecnología y, en definitiva, interesantes para cualquier otro profesional de elevada cualificación que asistiera a la jornada de conferencias.

Todo lo anterior quedó avalado por las ponencias de los conferenciantes, todos ellos ingenieros aeronáuticos con una ya dilatada experiencia de 15 años, en una línea continuamente ascendente en sus respectivas carreras profesionales, y de tan diferente especialidad como la gestión del I+D+i,

la guerra antisubmarina o la ingeniería aeroespacial a nivel de proyecto y operativa.

La jornada comenzó con la exposición de Francisco Herrada Martín, del Ministerio de Economía y Competitividad, quien trató aspectos relevantes, tanto estratégicos como de detalle, del estado de la investigación, el desarrollo y la innovación en nuestro país.

La siguiente ponencia, compartida por los ingenieros de Airbus Military Julio Gutiérrez Martín y Miguel Ángel Cuenca Retana, trató sobre patrulla marítima y lucha antisubmarina, desarrollando tanto los fundamentos y

aspectos más generales de definición y funcionamiento de este tipo de sistemas navales, como algunas de las cuestiones tácticas a tener en cuenta y las técnicas involucradas relativas a la detección mediante sensores.

A continuación intervino el ingeniero de SENER, doctorando y profesor de la Escuela de Ingenieros Aeronáuticos de la UPM, Demetrio Zorita Gómez-Escolar, quien, entre otras dedicaciones relevantes, ha participado en diversos proyectos de satélites con tecnología española, abordando todas las fases desde la idea inicial hasta la puesta en servicio operativo. En su intervención se centró en el de-

sarrollo de un proyecto complejo de ingeniería aeroespacial que partió en la carga del satélite de observación SEOSAT.

Para finalizar la jornada técnica, el ingeniero aeronáutico Óscar Franch Martínez, especializado inicialmente en el ámbito de la simulación y posteriormente en la planificación del funcionamiento y operación en tiempo real de satélites, presentó una ponencia en la que puso de manifiesto las vicisitudes técnicas relacionadas con la misión del satélite de comunicaciones Hispasat, centrándose en los aspectos más relevantes del control de actitud y órbita de su vuelo.

## Primer vuelo del UCAV Neuron

**Comte. Manuel A. Ferré, SDGTECIN**

**Palabras clave:** UCAV, Neuron, UAV, Cassidian, Dassault Aviation

**Metas tecnológicas relacionadas:**  
MT 3.6.1.

El sábado día 1 de diciembre, el avión no tripulado UCAV Neuron ha efectuado con éxito su primer vuelo desde la base aérea de Istres, situada en la costa sur de Francia. La aeronave ha completado un circuito en el que se han demostrado sus características aerodinámicas básicas y se ha comprobado con éxito el control desde la estación de tierra.

Tras un periodo de trabajo discreto y eficiente, en el que se ha diseñado, desarrollado y fabricado el sistema, se ha cumplido uno de los hitos más importantes de la vida de este demostrador que viene a recompensar la gran cantidad de horas de trabajo de ingenieros y especialistas en los seis países participantes en este proyecto.

A este importante hito seguirá el análisis de los parámetros registrados durante el vuelo, para proceder seguidamente, y con mucha prudencia, a continuar nuevas campañas de vuelos en las que se irán poniendo a prueba paulatinamente las características avanzadas de esta aeronave.

El Programa UCAV Neuron es un proyecto internacional europeo para el desarrollo de un demostrador tecnológico de un Vehículo Aéreo No Tripulado de Combate (UCAV). Su

objeto es comprobar la capacidad de la industria europea de diseñar, desarrollar y fabricar un UCAV con características de baja observabilidad (radar e infrarrojo) y verificar las soluciones tecnológicas adoptadas con este fin por medio de las campañas de vuelos. La empresa francesa Dassault Aviation lidera el proyecto con el apoyo del gobierno francés, que firmó acuerdos bilaterales con cada una de las naciones participantes en el programa: España, Italia, Suecia, Suiza y Grecia. La industria española participante en el programa es Cassidian, que ha diseñado, desarrollado y fabricado la estación de control de tierra del sistema (*Ground Control*

*Station-GCS*), ha diseñado y fabricado el ala y ha participado en la integración de los enlaces de datos entre la GCS y el UCAV.

La participación española y la coordinación internacional con los organismos correspondientes de los Ministerios de Defensa de las naciones del programa se gestiona desde la Oficina del Programa en la Subdirección General de Tecnología e Innovación (SDGTECIN) de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM). La porción española del programa se ha financiado con fondos dedicados a los programas de Investigación y desarrollo de defensa que gestiona la SDGTECIN.



Fig. 1. El demostrador tecnológico europeo UCAV NEURON despegando en el Dassault Aviation Istres Flight Test Center (Francia). (© Dassault Aviation - V. Almansa).

## Conferencias sobre “Innovación de las FAS”

CF. Ing. José M.<sup>a</sup> Riola Rodríguez, Jefe Unidad de Observatorios Tecnológicos

Palabras clave: IEEE, UAX, CEHIPAR, ITM, INTA

Metas Tecnológicas relacionadas: MT 0.1.

Dentro del programa de colaboración entre el Instituto Español de Estudios Estratégicos del Ministerio de Defensa y la Universidad Alfonso X el Sabio, el día 27 de noviembre tuvieron lugar unas conferencias bajo el lema “Innovación de las Fuerzas Armadas”, impartidas por los capitanes de Fragata de la DGAM, Fernando M. Bandín y José María Riola.

## Asamblea PTME

Juan Jesús Díaz Hernández, OT SNAV-SOPT

Palabras clave: PTME, INNOVAMAR, ETID

Metas Tecnológicas relacionadas: MT 0.1.; MT 3.5.

La Plataforma Tecnológica Marítima Española (PTME) celebró el pasado día 12 de diciembre su Asamblea Anual en las instalaciones del Ministerio de Economía y Competitividad. Dicho evento, inaugurado por la Subdirectora General de Colaboración Público Privada del MINECO D.<sup>a</sup> María Luisa Castaño Marín, y por el director general de la Fundación INNOVAMAR D. Arturo González Romero, se estructuró en dos sesiones.

Durante la sesión de la mañana se presentó el informe de actividades de 2012 y las previsiones para el 2013 de la PTME, así como las líneas generales del nuevo Plan Estratégico.

2012-2015 de la fundación INNOVAMAR cuya misión es contribuir a la mejora de la competitividad del sector marino-marítimo mediante el fomento de la innovación, proporcionando productos y servicios de valor reconocido, a través del impulso de la transferencia de conocimiento y la potenciación de la colaboración entre los ámbitos públicos y privados.

Posteriormente se desarrollaron tres talleres y se concluyó con la presen-

Ante los estudiantes y profesores de la Escuela Politécnica Superior de dicha Universidad, se hizo hincapié en los factores emergentes que se identifican en las investigaciones orientadas hacia los sistemas del futuro y en la identificación de las áreas de investigación y desarrollo que posiblemente producirán innovación y beneficios económicos y sociales a medio y largo plazo.

En este contexto, se presentaron las capacidades de los institutos tecnológicos del Ministerio, como el Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo, el Instituto Tecnológico “La Marañosa” y el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial “Esteban Terradas”, así como las oportunidades para los investigadores de la Universidad de participación en el Portal de

tación del proyecto X-POSSE desarrollado en el marco del Programa Marco Polo de la Comisión Europea cuyo objetivo general era promover el “transporte sostenible” mediante la reducción del transporte por carretera y de la contaminación asociada al transporte de mercancías enfocándose en todos los actores involucrados en la cadena de transporte especialmente en puertos. Los talleres se centraron en los siguientes aspectos: gestión del conocimiento; internacionalización; crecimiento económico, empleo y emprendimiento.

Destacar el alto contenido informativo de estos talleres que contaron con la presencia de diversos organismos estatales tales como: Ingeniería de Sistemas para la Defensa de España (IS-DEFE); Oficina Española de Patentes



Fig. 1. Presentación en las conferencias “Innovación de las Fuerzas Armadas”.

Tecnología e Innovación del Ministerio de Defensa.

Cabe destacar que, dentro de la colaboración con este Ministerio y durante el mes de noviembre, los estudiantes de la UAX visitaron instalaciones y dependencias militares, así como los centros tecnológicos anteriormente mencionados.

y Marcas (OEPM); ICEX España Exportación e Inversiones; Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI). Así como otras instituciones y empresas como: el Cluster de empresas baleares IDIMAR, Universidad Politécnica de Madrid, Transaval, Investissement Québec, Fundación Repsol.

La sesión de tarde se organizó en dos salas independientes en las que en la primera de ellas tuvo lugar una mesa de trabajo bajo el lema “Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID) desde una perspectiva marítima” coordinada por la SDGTECIN/DGAM, y en la segunda se estableció una reunión de coordinación del Foro de Energías Marinas, en la que se planificaron la estrategia y siguientes reuniones de dicho foro.



## Foro TRANSFIERE

CF. Ing. José M.<sup>a</sup> Riola Rodríguez, jefe Unidad de Observatorios Tecnológicos

Palabras clave: TRANSFIERE, Horizonte 2020, transferencia de tecnología, Compra Pública Innovadora

Metas Tecnológicas relacionadas: MT 0.1.; MT 0.4.

Durante los pasados días 13 y 14 de febrero, se celebró en el Palacio de Congresos de Málaga el 2.º Foro para la Ciencia, Tecnología e Innovación "TRANSFIERE". Este foro multisectorial contó con una alta participación de empresas y universidades creando un espacio único para el fomento de la cooperación ente el ámbito científico y el sector empresarial.

El diseño del evento se inspiró en parte en las ideas centrales de la Ley de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, de 2011, que apuesta por la transferencia del conocimiento como germen básico para el desarrollo económico y la mejora de la competitividad. Estos dos días sirvieron para poner en contacto a diversos grupos de investigación universitarios y dependientes de Organismos Públicos de Investigación (OPI) y a pymes con la demanda tecnológica del entorno

empresarial, el cual dio traslado de sus inquietudes, expectativas y necesidades reales.

Esta nueva edición contó con una nueva herramienta de *matching* que simplificó el proceso de citas y aumentó el porcentaje de éxito de las mismas gracias también a la adaptación de un lenguaje más empresarial, comercial y dinámico frente al lenguaje científico utilizado por los grupos de investigación. Asimismo se habilitó una zona de trabajo denominada *Trend Area* en la que se debatió en mesas redondas sobre tendencias actuales en materias de transferencia e internacionalización.

La Subdirección General de Tecnología e Innovación (SDGTECIN) participó con una presentación en una de estas mesas redondas, concretamente en el área específica "Soluciones prácticas a la Transferencia de Tecnología: Compra Pública Innovadora, consorcio y box de patentes y colaboración público-privada". Esta mesa estuvo conformada por D.<sup>a</sup> M.<sup>a</sup> José de Concepción, de la Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM), D. Luis Cueto Álvarez de Sotomayor, subdirector general de Fomento de la Innovación Empresarial del Ministerio

de Economía y Competitividad (MINECO); D.<sup>a</sup> Eva Martínez, del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI); D. José María Riola (SDGTECIN); D.<sup>a</sup> Elena Requena Rodríguez, Neuron Bio, y D. Pablo Hervás, VET+I. La composición de la mesa reforzó el papel de las Administraciones Públicas como impulsoras de la innovación empresarial, ofreciendo diferentes puntos de vista y tendencias en relación a la transferencia de conocimiento del tejido innovador al tejido empresarial (de OPI al Estado, de agrupaciones investigadoras al tejido productivo, de Universidad y de OPI a Plataformas Tecnológicas). Además, durante su desarrollo se expusieron los avances en la puesta en marcha del próximo Programa Marco de Investigación Europea (HORIZONTE 2020).

El foro en datos: asistencia superior a los 1.500 participantes (15 por ciento de incremento con respecto a la edición de 2012); más de 200 empresas e instituciones; alrededor de 250 grupos de investigación; medio centenar de universidades españolas; más de 1.600 perfiles de oferta y demanda tecnológica; y más de 2.700 citas programadas.



# Transfiere

2º Foro Europeo para la Ciencia, Tecnología e Innovación  
2<sup>nd</sup> European Meeting on Science, Technology and Innovation

Málaga 2013  
13 - 14  
f e b

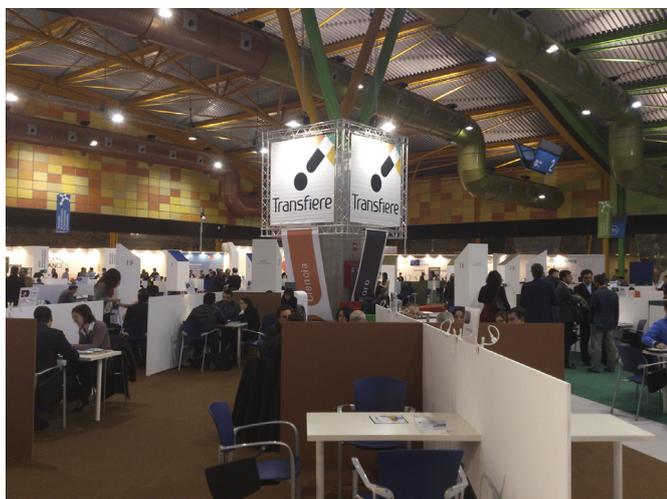


Fig. 1. Foro TRANSFIERE



Fig. 2. Mesa "Soluciones prácticas a la Transferencia de Tecnología: Compra Pública Innovadora, consorcio y box de patentes y colaboración público-privada".

## Evaluación del 32.º Proficiency Test de la OPAQ

Esther Gómez Caballero, LAVEMA, Unidad Defensa Química, ITM

Palabras clave: agresivos de guerra química, LAVEMA, OPAQ

Metas tecnológicas relacionadas: MT 4.2.1.

El Laboratorio de Verificación de Armas Químicas, LAVEMA, perteneciente al Instituto Tecnológico “La Marañosa” (ITM), es un laboratorio designado por la Organización para la Prohibición de Armas Químicas, OPAQ, desde 2004. Para llegar a ser un laboratorio designado por la OPAQ, el laboratorio debe estar acreditado según la norma de calidad ISO17025 y superar con resultados satisfactorios, tres ensayos de intercomparación (*Proficiency Tests*, PT) consecutivos. Una vez el laboratorio obtiene la designación, debe participar, al menos una vez al año, en un *Proficiency Test* y obtener una calificación adecuada para mantenerla.

El *Proficiency Test* consiste en analizar seis muestras medioambientales en busca de agresivos de guerra química y compuestos relacionados. El informe de resultados, en inglés, debe enviarse a la OPAQ en un plazo máximo de 15 días a contar desde el día en que se reciben las muestras. Las actividades de los laboratorios designados son diversas, entre las que destacan labores de apoyo técnico a la OPAQ como son la preparación de las muestras objeto de análisis de los PT y la evaluación de los resultados de los laboratorios participantes en estos ensayos de intercomparación.

La OPAQ ha organizado 32 PT, hasta la fecha. El LAVEMA preparó las muestras del 23.º PT en 2008 y ha evaluado los resultados del 32.º PT en 2012.

Los laboratorios colaboradores con la OPAQ en el 32.º PT han sido el laboratorio indio VERTOX, como preparador de las muestras y el LAVEMA, como laboratorio evaluador de los resultados. Previamente a la convocatoria del PT, la OPAQ y el laboratorio indio VERTOX, diseñaron las muestras, los compuestos químicos objeto de estudio y los retos analíticos del ejercicio.



La OPAQ convocó la participación en el 32.º PT el 8 de agosto de 2012. Las muestras fueron enviadas por el laboratorio indio a los laboratorios participantes el 12 de octubre de 2012.

Las actividades a realizar por el laboratorio evaluador de los resultados son:

- Análisis de las muestras como laboratorio participante y emisión del informe de resultados a la OPAQ en un plazo máximo de 28 días a partir de la recepción de las muestras.
- Evaluación de los informes de resultados de los laboratorios participantes y envío del informe de evaluación preliminar a la OPAQ en un plazo máximo de un mes a partir de la recepción del último informe.
- Reunión con representantes de la OPAQ en la sede del laboratorio evaluador para discusión y acuerdo del informe conjunto de evaluación preliminar.
- Asistencia a la sede central de la OPAQ en La Haya (Holanda) para explicar a los laboratorios participantes el proceso de evaluación y participar en reuniones individuales con los laboratorios para discusión de resultados.
- Una vez finalizada la reunión en la sede central de la OPAQ, los laboratorios disponen de un plazo de ocho semanas para enviar a la OPAQ y al laboratorio

evaluador sus comentarios sobre los resultados preliminares (*follow-ups*). Dichos comentarios se evaluarán entre la OPAQ y el laboratorio evaluador y se emitirá el informe final de resultados, concluyendo así el 32.º PT.

El LAVEMA ha estado inmerso en el proceso de evaluación del 32.º PT desde octubre de 2012. La fecha prevista para emitir el informe final es en abril de 2013. Veinticuatro laboratorios han participado en el 32.º PT. El índice de éxito ha sido del 58%, valor muy inferior respecto a otros PT. Este porcentaje tan bajo es debido no solo a la dificultad de la identificación de los compuestos químicos y a los interferentes presentes en las muestras sino también a las exigencias de presentación de los resultados en los informes.

El LAVEMA ha obtenido la máxima calificación por su trabajo realizado durante el proceso de evaluación. Este laboratorio tiene previsto presentarse al 34.º PT en octubre de 2013 para mantener su designación.

Finalmente, cabe destacar la importancia para los laboratorios designados de disponer de la instrumentación necesaria para hacer frente a los retos analíticos presentes en los PT. La dinámica actual de estos ejercicios es incrementar su dificultad analítica por lo que técnicas como la espectrometría de masas de alta resolución y la resonancia magnética nuclear (RMN) son prácticamente imprescindibles para poder superar con éxito estos ejercicios y mantener la designación.



Fig. 1. Personal del LAVEMA y representantes del laboratorio OPAQ. (Fuente: ITM).

# Tecnologías Emergentes

## CD&E: Ciberdefensa Táctica

Cte. Javier Bermejo Higuera,  
Cap. Fernando Llorente Santos,  
Área TICS, ITM

Palabras clave: ciberdefensa,  
experimentación, mando y control

Metas tecnológicas relacionadas: MT  
6.4.4.

En la actualidad, la mayoría de los sistemas de mando y control e información militar, así como determinados sistemas de combate y de control de plataformas y armas, están conectados a través de redes militares de comunicaciones que, en mayor o menor medida, también están expuestos a las diferentes amenazas que existen en el ciberespacio: disponen de interconexiones a otros sistemas, ya sean OTAN, UE o de países aliados; forman parte de una federación de redes en el ámbito operativo; o sus enlaces se realizan en ciertas ocasiones a través de infraestructuras civiles, lo que complica el establecimiento y mantenimiento de la seguridad.

Además, la futura adaptación de estos sistemas al concepto NEC (*Network Enabled Capability*) incrementará la capacidad de mando y control

de los ejércitos. Las nuevas plataformas aéreas ya disponen de sistemas de comunicaciones para recibir y transmitir información constantemente; los sistemas de defensa aérea son teleoperados por ordenador; los sistemas de inteligencia, vigilancia y reconocimiento (ISR) recogen tanta información que el desafío está en obtener los datos críticos; las unidades de infantería disponen de sistemas de comunicación de banda ancha, sistemas de posicionamiento (FFT, *Friendly Force Tracking*) y dispositivos de visión nocturna, en todos ellos existen dispositivos de proceso que representan una fortaleza pues incrementan la capacidad de combate, pero que también podrían convertirse en una debilidad pues presentan vulnerabilidades, lo que exige la adopción de medidas para su protección, con la consecuente y necesaria puesta en marcha de capacidades de ciberdefensa.

Para obtener una radiografía del estado de ciberdefensa en el entorno táctico, nació un proyecto de desarrollo y experimentación de conceptos (CD&E) en la Dirección de Investigación, Doctrina, Orgánica y Materiales (DIDOM) del Mando de Doctrina (MADOC) del Ejército de Tierra. El objeto de este ejercicio consiste en analizar, mediante la experimentación, el estado de los sistemas CIS desplegables

del Ejército, proponer y validar soluciones de mejora, así como extraer las enseñanzas, mediante la fase de análisis de los datos capturados durante la realización del mismo, que sirvan para depurar estas soluciones y elaborar una guía de recomendaciones útiles que incrementen sus capacidades y su eficacia en el uso del ciberespacio.

Dentro del marco del proyecto, se incluía la ejecución de un experimento de objetivo limitado (LOE) de ciberdefensa en el marco de un escenario virtual, que simule un posible despliegue de una brigada con apoyos de guerra electrónica, con todos los sistemas CIS desplegables del Ejército, como pueden ser el SIMACET, TALOS, GESTA, FFT, etc. El ejercicio tuvo lugar en las instalaciones del

Área TICS del Instituto Tecnológico La Marañosa (ITM) entre los días 10 al 14 de diciembre de 2012, con amplia representación tanto de personal experto en ciberdefensa desde su aspecto técnico, como con respecto a sus repercusiones en aspectos legales, políticos, sociales y económico-empresariales.

En el mismo han participado organismos de Defensa como el MADOC, REW31, RT22, BRITRANS, DIVOPE, JCISAT, PCMHS, CIFAS, ISDEFE, ITM-TICS; de la Administración Pública como



Fig. 1. El General del ITM recibe al General de DIDOM.

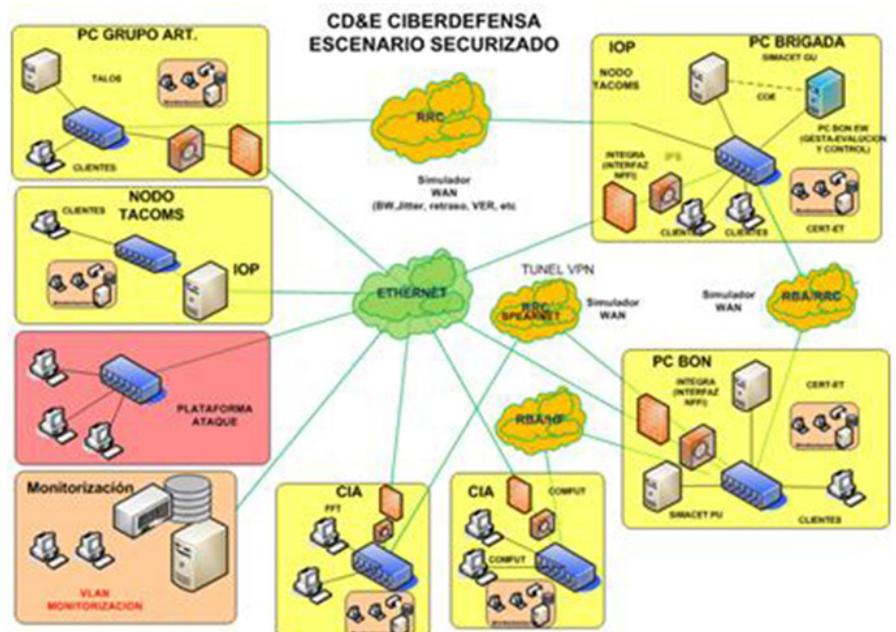


Fig. 2. Escenario implantado.



Fig. 3. Diagrama de fases.

CNPIC (Centro Nacional para la Protección de Infraestructuras Críticas) o INTECO, la Unidad Central Operativa de la Guardia Civil; periodistas de Asociación de Prensa de Madrid, ATENEA e INFODEFENSA; empresas privadas S21SEC, INNOTEC, CIDITES, INDRA; expertos en jurisprudencia y representantes de la academia como la Universidad de Granada y de la de Oviedo.

El ITM, y en particular su área TICS, realizó el apoyo tecnológico a la experimentación del concepto de ciberdefensa militar a petición del mando del MADOC. Dentro de este proceso se han llevado a cabo las reuniones pertinentes para la definición y elaboración de los distintos documentos, como el de “Concepto de Ciberdefensa Militar del ET”, base del proyecto CD&E en donde se plantea el problema a resolver, así como el “Documento de Descripción del Proyecto (DDP)”, donde se planifica el alcance y desarrollo del concepto y del experimento que lo apoya, del “Documento de Diseño del Experimento (DDE)”, donde se explican detalladamente los aspectos relativos a la realización del experimento.

Para la preparación del evento se dispusieron de dos entornos de trabajo en paralelo, uno que albergaba la Plataforma de Ataque y otro en el que se emplazaron los sistemas tácticos de mando y control SIMACET (batallón y brigada), COMFUT, FFT, TALOS, GESTA y TACOMS interoperando a través de la herramienta INTEGRA del IT M, así como el CERT (*Computer Emergency Response Team*) desarrollado por JCISAT.

Se dividió el ejercicio en dos fases en las que se seguía una metodología de ataque idéntica en cada una de ellas: mapeo de red; análisis de vulnerabilidades; proceso de ataque; instalación de puertas traseras y ataques de denegación de servicio, pero estableciendo en la segunda medidas de seguridad específicas desarrolladas por la Unidad de Seguridad del Área TICS, para mejorar y securizar el entorno táctico de mando y control. También se establecieron una serie de métricas para poder evaluar de forma cuantitativa la mejora del nivel de seguridad entre las dos fases.

Por otra parte se desarrolló un escenario ficticio en el que se planteaban distintas incidencias de seguridad desde aspectos diferentes al técnico y que pueden influir en la vulnerabilidad de los sistemas tácticos de mando y control desplegados en zona

de operaciones, con el propósito de recabar la opinión de expertos en la materia y determinar su influencia en el éxito de las misiones encomendadas al Ejército. La infraestructura empleada para el evento fue la siguiente:

- Dos salas de trabajo, con los ordenadores necesarios para recrear las plataformas de ataque y los sistemas tácticos C2 desplegados.
- Infraestructura virtual de soporte compuesta por varios servidores físicos y alrededor de sesenta máquinas virtuales, un puesto de control y un equipo de dos personas proporcionando soporte técnico.
- Una infraestructura de recolección de información independiente en cada una de las áreas de trabajo para conocer qué sucesos estaban produciéndose.
- Una sala de reuniones para la revisión y recapitulación de lo acontecido durante cada jornada de trabajo.
- Una sala con doce puestos de recolección de información mediante cuestionarios orientados a recabar el estado de las capacidades de ciberdefensa actualmente desplegadas en los distintos organismos participantes y su relación con los controles de seguridad específicos implantados en cada uno de ellos.
- Una sala de discusiones dirigidas para la participación abierta de expertos en la materia.
- Un puesto de red Wi-Fi e Intranet de Defensa en cada sala para acceso y consulta de información externa.



Fig. 4. Sala de equipos de atacantes.

## tecnologías emergentes

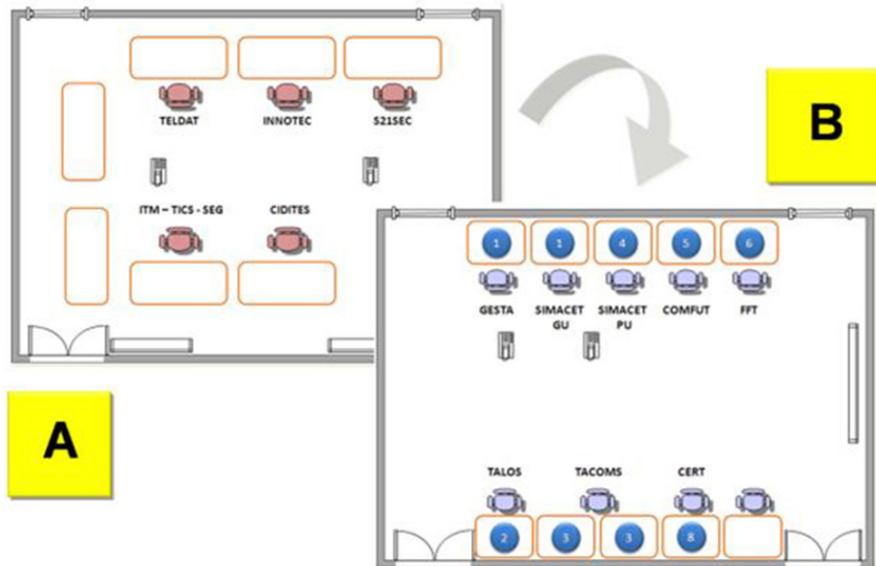


Fig. 5. Disposición de los equipos de trabajo.

El ITM, para la preparación y ejecución del ejercicio, tuvo que realizar las siguientes actividades:

- Descripción del proyecto CD&E y diseño del experimento: 8 semanas.
- Preparación de la infraestructura virtual para la realización del experimento: 8 semanas.
- Desarrollo de la plataforma de recolección y análisis de datos: 3 semanas.
- Desarrollo de la aplicación de gestión y recolección de información del evento.
- Preparación y pruebas del entorno de experimentación del evento.
- Participación como responsables de la recolección y análisis de la información: 8 semanas.

En la actualidad, el ITM está finalizando la fase de análisis del experimento. A modo de resumen el experimento se estructuró de la siguiente forma:

- Dos fases de ataque, una sin securizar el entorno de sistemas de mando y control y otra con el entorno securizado.
- Se delimita el tiempo de realización de ataques en cuatro días (El número que mencionaron los representantes del CERT (Centro de Emergencias y Respuesta Temprana).
- Cuatro sesiones de reuniones de expertos en distintas disciplinas para estudiar el problema de la ciberdefensa desde otros aspectos como el

social, político, económico y militar. Para ello se presentó un escenario con distintas incidencias para que los expertos en estos campos pudieran debatir libremente en cuatro sesiones de discusiones dirigidas que se plantearon.

- Tres cuestionarios (Demográfico; Controles vs . Capacidades ; Desarrollo de las sesiones) con sesenta preguntas en total.
- Un registro de los eventos que se estaban produciendo.

La sesión final del día 14 fue dedicada a la presentación de las “primeras impresiones” del experimento por parte de los distintos implicados.

Fundamentalmente se presentaron las conclusiones cualitativas alcanzadas,

a expensas de realizar un análisis cuantitativo exhaustivo de los datos recogidos en las diferentes jornadas, que se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Se considera de gran importancia la aplicación de las guías STIC (Sistemas y Tecnologías de Información y Comunicaciones) del CCN (Centro Criptológico Nacional) a los sistemas y actualización de su software de base (sistemas operativos, sistemas gestores de bases de datos, etc.) al objeto de que sean más resistentes a los ataques y no sean tan dependientes de las medidas de protección de red (cortafuegos, detección de intrusiones, etc.).
- Potenciar la formación en ciberdefensa tanto a nivel de los administradores, operadores de sistemas y personal de seguridad incluyendo las capacidades de respuesta y fomentar la concienciación e implicación en ciberseguridad de todo el personal destinado en zona de operaciones.
- Se considera necesario la capacidad de disponer de un CERT desplegables con capacidades de detección y monitorización de ciberataques, tal y como ya lo tiene implementado el Ejército de Tierra.
- Necesidad de implantar en el ITM un laboratorio que verifique, valide y certifique la seguridad de los sistemas TIC del Ministerio de Defensa en lo relativo al *hardware* y al *software*. Actualmente ya se disponen de capacidades auditoras de seguridad de código fuente de software.



Fig. 6. Sala de encuestas y recogida de información.

- Importancia de desarrollar un sistema de ofuscación *Honey Net* (redes trampa) como medida para incrementar la seguridad de los sistemas y detección de patrones de ataques. Actualmente el ITM está desarrollando una, en la que se incluye una línea de investigación de detección de patrones de ataque basado en ontologías.
- Impulsar la celebración de una serie de futuros LOE de sistemas específicos dentro del dominio de la Ciberseguridad. En este sentido, se ha propuesto a primeros de año la realización de uno con la nueva versión del Sistema de Mando y Control del Ejército SIMACET 4.01.
- Se ha comprobado la vulnerabilidad de los sistemas a uno de los ataques de denegación de servicio distribuido (DDoS), usados masivamente en los ataques a Estonia y Georgia en 2007 y 2008 respectivamente.
- Los procesos CD&E constituyen una magnífica iniciativa que permite aprender de las experiencias vidas y mejorar en función de ese aprendizaje. El valor añadido en el realizado, es el examen de los sistemas C2 sometidos a la operación de actores reales, con herramientas y perfiles de atacante que son los que se encuentran en el ciberespacio.

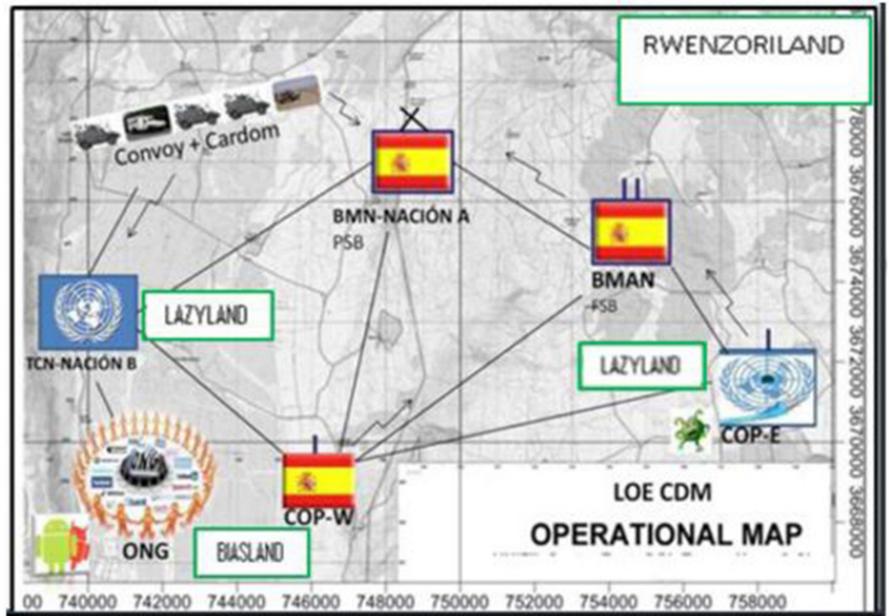


Fig. 7. Escenario de incidencias.



Fig. 8. Mesa de debate de percepción del medio.

## enlaces de interés

La Subdirección General de Tecnología e Innovación ha puesto en marcha los espacios colaborativos del Portal de Tecnología e Innovación del Ministerio de Defensa.

Estos espacios surgen con el objetivo de fomentar el intercambio de información y el trabajo colaborativo entre los diferentes actores de la I+T de Defensa, facilitando que los distintos usuarios puedan compartir sus opiniones e ideas sobre las nuevas tecnologías y soluciones innovadoras de aplicación a defensa.

Para acceder a los espacios colaborativos es necesario registrarse en el sistema. Esto se realiza a través de la opción "Registro en el sistema" del menú "Contacto y participación" de la página principal del Portal de Tecnología e innovación del Ministerio de Defensa [www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es](http://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es) o directamente a través del siguiente enlace:

[www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/eses/Contacto/Paginas/Registro.aspx](http://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/eses/Contacto/Paginas/Registro.aspx)

The screenshot shows a web portal titled 'Espacio PLATAFORMAS'. The main heading is 'Bienvenido al espacio colaborativo sobre Plataformas'. Below this, there is a list of announcements with columns for 'Título' and 'Modificado'. The announcements include:
 

- 'Papelera de reciclaje' (22/01/2013 16:37)
- 'Todo el contenido del año' (17/01/2013 17:44)
- 'Informe sobre robótica terrestre de aplicación a seguridad y defensa' (17/12/2012 18:01)
- 'Una desarrollado algún proyecto que quiere compartir con el resto de la comunidad de PLATAFORMAS del portal?' (17/12/2012 18:05)
- 'Inicio de los trabajos de revisión de las metas sobre PLATAFORMAS de la ETID' (17/12/2012 17:53)
- 'Inicio de las actividades del espacio de trabajo Plataformas' (17/12/2012 17:53)

 There is also a section for 'Ámbito' which lists: 'Comunas - Plataformas', 'Materias', 'Energía', 'Plataformas terrestres', 'Plataformas móviles', and 'Plataformas aéreas'.

# Metodologías emergentes en la toma de decisiones

Tte. EA. Raúl Bonilla Bernal, Base Aérea de Torrejón

Palabras clave: incertidumbre, conjuntos borrosos, redes neuronales, MATLAB toma de decisiones  
Metas tecnológicas relacionadas: MT 0.3.

Información e incertidumbre son dos conceptos íntimamente relacionados, la existencia de esta última está relacionada con deficiencias en la información disponible, las características inherentes al mundo real (no determinista) y deficiencias del modelo que intenta, para nuestro caso, establecer una adecuada toma de decisiones. Asimismo, en ocasiones el problema cuya solución óptima se trata de lograr es computacionalmente imposible de alcanzar, de tal forma que, es aquí, donde metodologías tales como las redes neuronales artificiales y la lógica borrosa se constituyen como modelos que han propiciado un cambio de paradigma y cuyo potencial así como su amplio espectro de aplicación invitan a que sean tenidos en cuenta y que su estudio y desarrollo continúen.

Sin duda, estas metodologías emergentes, dotan al responsable de toma de decisiones de un aparato teórico y técnico que en cierta forma atenúa los perniciosos efectos de la incertidumbre, logrando en última instancia definir modelos que permiten resolver problemas irresolubles con metodologías clásicas.

## Lógica borrosa

Lotfi A. Zadeh [6], en 1965, puso de manifiesto el potencial de la lógica borrosa y, aunque a priori, el concepto de lógica borrosa puede parecer como algo poco claro o poco

elaborado, nada más lejos de la realidad, ya que, tal y como su creador mantiene: *There is nothing Fuzzy in Fuzzy logic*, tanto por su aplicación en las ciencias, tecnología, etc., como por el importante aparato matemático que sustenta los *fuzzy sets*.

Los *fuzzy sets* o conjuntos borrosos nos muestran conceptos que no tienen una definición clara, ofreciendo una nueva perspectiva: ¿a partir de qué edad dejamos de ser jóvenes?, ¿cuándo una persona pasa de estar delgada a padecer obesidad mórbida?, etc. Hasta la llegada de los *fuzzy sets*, la lógica clásica imperante resultaba demasiado restrictiva, al haberse mantenido al amparo del modelo aristotélico de razonamiento, el cual se sustentaba en el razonamiento exacto, es decir, una lógica dicotómica o binaria que admitía sólo dos posibilidades: verdadero-falso. Pero nuestro mundo real es distinto: la información que tenemos es incierta, imprecisa, generando todo ello incertidumbre. Ya no se trata únicamente de blancos y negros, sino de grises.

La paradoja del céntimo para ser millonario es provocadora. Una persona recibe un céntimo cada minuto de forma continua. Al cabo de un tiempo se volverá millonaria. ¿Cuál fue el céntimo que convirtió a esa persona en millonaria? Antes de ese céntimo era casi millonaria, ¿puede un céntimo dividir al conjunto millonario de los que no lo son?

Los contornos de cada conjunto borroso (figura 1) no son “nítidos”, y sí “borrosos” o “graduales”.

La teoría de los conjuntos difusos o borrosos se sustenta en la noción de pertenencia parcial, la cual también ha sido definida por el profesor Gil Aluja (1996) [3] como “principio de la simultaneidad gradual”, cuyo enunciado es el siguiente: “Una proposición puede ser verdadera y falsa a la

vez, a condición de asignar un grado a la verdad y un grado a la falsedad”.

## Sistemas basados en lógica borrosa

Lo que a priori es un formalismo para manipular de forma más eficiente la imprecisión y la vaguedad del razonamiento humano expresado lingüísticamente se ha convertido en una solución útil para problemas de nuestra vida diaria. Existen gran cantidad de productos en el mercado que portan tecnología borrosa. De hecho, algunos de ellos ostentan la etiqueta *fuzzy* como símbolo de innovación. Así pues podemos encontrar desde lavadoras a cámaras fotográficas cuyo funcionamiento y prestaciones han sido optimizados gracias a la implementación de los *fuzzy sets*.

Uno de los aspectos más interesantes de los sistemas basados en lógica borrosa reside en las reglas lingüísticas que implican tanto a las variables de entrada como las de salida. Dichas reglas sustentan la base de conocimientos y deben ser elaboradas por expertos para obtener los mejores resultados (figura 2).

## Redes neuronales artificiales

¿Cómo es posible que máquinas con un poder de cómputo increíble, capaces de realizar 100 millones de operaciones en coma flotante por segundo, no sean capaces de entender el significado de las formas visuales o de distinguir entre distintas clases de objetos? En nuestro caso, ¿cómo es posible que máquinas con un poder de cómputo increíble, capaces de realizar 100 millones de operaciones en coma flotante por segundo, no sean capaces de estimar de forma óptima la trayectoria seguida por un objetivo detectado por un radar?

Los sistemas de computación secuencial son buenos a la hora de resolver problemas matemáticos o científicos, pero con una gran incapacidad de interpretar el mundo.

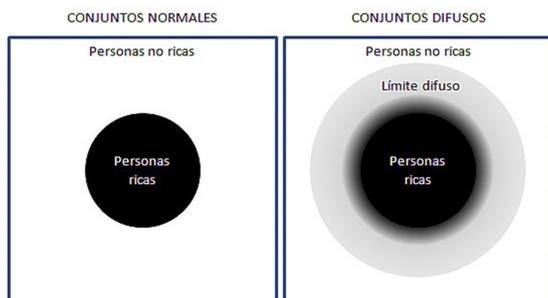


Fig. 1. Conjuntos normales y conjuntos borrosos.

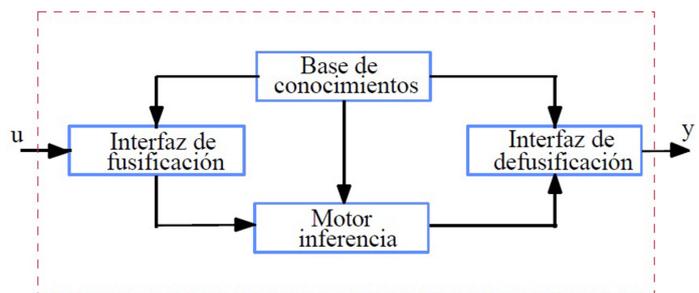


Fig. 2. Componentes de un sistema borroso Lee (1990).



Por ello, no es de extrañar que la tendencia futura sea vincular ambas metodologías, con lo cual, el paso siguiente será la creación de sistemas basados en metodologías neuroborrosas, que son sistemas híbridos que aprovechan las bondades de una metodología en beneficio de la otra y viceversa. De esta forma se obtiene una mejora importante en el comportamiento global del sistema.

## Conclusiones

A lo largo del presente artículo se ha pretendido mostrar una visión muy general de la lógica borrosa y de las redes neuronales artificiales, como herramientas para la toma de decisiones, tendencias futuras y evolución

## Vigilancia de fronteras marítimas: capacidades UE

David Ríos Morentin, ISDEFE

**Palabras clave:** vigilancia de fronteras y marítima, capacidades planeamiento, Capability Based Planning, seguridad, EUROSUR, Pre-Operational Validation

**Metas tecnológicas relacionadas:** MT 2.2.1.; MT 2.2.2.; MT 2.2.3.; MT 2.2.5.

La visibilidad de la oferta y de la demanda de tecnología orientada a la mejora de las capacidades para la vigilancia de fronteras marítimas es un factor clave para potenciar la innovación en el sector.

Tender puentes entre el ámbito operativo y el ámbito tecnológico, o lo que es lo mismo, entre actores públicos y privados, puede servir de impulso para facilitar la cooperación entre los agentes implicados en el proceso de innovación.

Desde diversos foros actualmente se apuesta por una aproximación metodológica a la definición de capacidades de vigilancia y se plantea un ciclo que parte de una definición precisa de las necesidades de los usuarios en base a los objetivos operativos que se plantean en los distintos contextos de vigilancia en el ámbito europeo.

El estudio de las carencias detectadas en materia de sistemas plantea nuevas líneas de capacitación a corto

previsible. Los sistemas de control basados en lógica borrosa, presentan su mayor debilidad en la elaboración de las reglas de diseño, las cuales deben ser enunciadas por un experto. Dichas reglas, o más bien, la calidad de su diseño serán determinantes para que dichos sistemas alcancen el objetivo deseado. Por otra parte, cuando hablamos de redes neuronales artificiales, su talón de Aquiles, reside en el diseño de la red, dado que no existe una metodología definida que garantice a priori un funcionamiento adecuado de la red neuronal artificial, estamos pues ante un proceso creativo.

En consecuencia, la solución a estas "carencias" reside en vincular ambas

y medio plazo que precisan de mecanismos innovadores y, tanto desde la Comisión Europea como desde los Estados miembros, se está trabajando en esta línea.

Dos aspectos, entre otros muchos, son especialmente relevantes. Por una parte la articulación de los mecanismos de colaboración públicoprivada de los que dispone la legislación vigente en materia de compra pública, y por otra, la configuración de los futuros programas de investigación, desarrollo e innovación en el ámbito de la seguridad en función de criterios similares a los utilizados para la determinación de necesidades operativas. Esto último facilitaría el alineamiento y realimentación constante entre usuarios e industria, permitiendo así el

desarrollo de tecnologías próximas a su fase de mercado siguiendo criterios realistas de necesidad y urgencia.

La aplicación de estas metodologías en el ámbito de Defensa resulta interesante, toda vez que su potencial para afrontar la creciente complejidad de los nuevos escenarios que tienen lugar en un entorno globalizado y en continuo cambio como el actual dotarían de capacidades adicionales a los decisores para dar respuesta a la estimación de necesidades en cualquier sistema logístico que estén condicionadas por un factor de incertidumbre y sean irresolubles por medio de herramientas o algoritmos de cálculo tradicionales.

desarrollo de tecnologías próximas a su fase de mercado siguiendo criterios realistas de necesidad y urgencia.

Se propone por tanto una línea de trabajo a corto y medio plazo que parta de un planteamiento modular, tanto en la definición de los objetivos de vigilancia en los planos político, estratégico, operativo y táctico, como en la determinación de las capacidades necesarias para la consecución de los mismos. La cooperación de los cuerpos de seguridad de los Estados miembros en dicha tarea es fundamental de cara a un planeamiento de recursos conjunto entre los cuerpos de seguridad de la Unión. Dicho planeamiento debería abordar no solo aspectos relacionados con la adquisición de recursos materiales, sino también con su

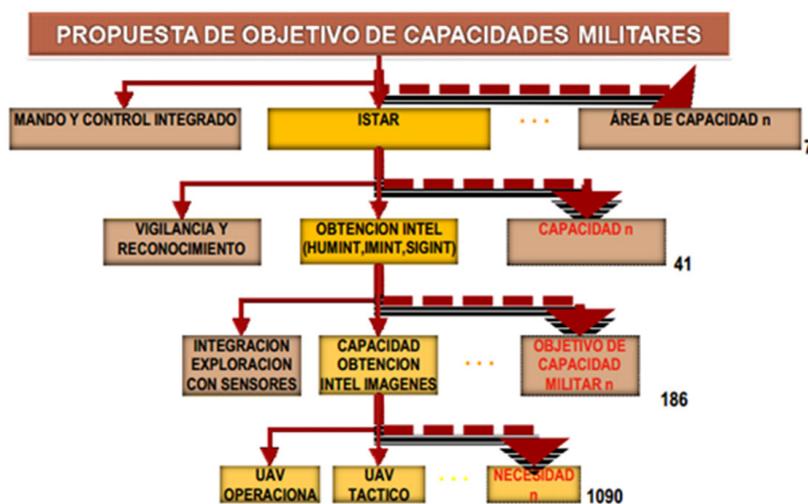


Fig. 1. Esquema de planeamiento basado en capacidades (fuente: Nuevo Sistema de Planeamiento de la Defensa. Ciclo: 2005-2008. MINISDEF).

sostenimiento y renovación, así como con medidas de personal, orgánicas y de procedimientos.

**Capacidades para la vigilancia de fronteras marítimas**

Observando el ámbito fronterizo europeo desde distintas perspectivas comprobamos que su inestabilidad y la necesidad de reforzar la flexibilidad y la capacidad de adaptación a nuevas amenazas, *modus operandi*,

áreas geográficas, etc., son dos de los aspectos determinantes para articular la acción de vigilancia.

Como se ha comentado anteriormente, la acción conjunta de los Estados miembros, bajo el paraguas de iniciativas regulatorias como EUROSUR, dibuja un plano operativo en el que la cooperación, la homogeneización de estructuras y de procedimientos se plantean como la clave del éxito en la búsqueda de la eficiencia y la efectividad.

Atendiendo a un modelo de planeamiento basado en capacidades, y a la vista de los principales objetivos operativos que se derivan del análisis del contexto de vigilancia europeo, las capacidades de mando y control, que en la mayoría de los casos incluyen áreas como el intercambio, almacenamiento y explotación de información, así como las comunicaciones, cobran un especial protagonismo. Más aun si consideramos que uno de los motores de la cooperación entre cuerpos de seguridad es el intercambio de información y la interoperabilidad de sistemas.

Por otra parte, las capacidades de adquisición de información, entre las que destaca la de vigilancia y reconocimiento, suponen asimismo un gran reto dado el peso que tienen en la consecución de los objetivos operativos atendiendo a parámetros de eficiencia y efectividad.

El peso que la tecnología tiene en el desarrollo de capacidades de vigilancia es elevadísimo. En este sentido, los sistemas que actualmente sirven de apoyo a las tareas de vigilancia de fronteras marítimas son muy diversos. Pero a pesar de que la mayoría de estos sistemas están totalmente operativos, aún presentan ciertas limitaciones

que impiden la dotación completa de las capacidades a las que contribuyen. Son precisamente estas limitaciones técnicas las que abren la puerta a nuevas líneas de capacitación.

Estudios realizados en proyectos de seguridad europeos apuntan a la estandarización de sistemas, la homogeneización de modelos de datos y la búsqueda de la interoperabilidad organizativa, física, sintáctica y semántica como herramienta para superar algunas de las limitaciones más destacables. También destaca la necesidad de perfeccionar sensores que permitan una mejor detección, identificación y seguimiento de blancos de pequeño tamaño, así como el desarrollo e implantación de plataformas aéreas, tripuladas o no tripuladas, que permitan extender los rangos de vigilancia más allá de la zona de costa de manera sostenible.

En cuanto a las nuevas líneas de capacitación mencionadas, desde este artículo se ha querido destacar la importancia del desarrollo de nuevas soluciones alineadas con las necesidades reales de sus usuarios por encima de la adquisición directa de soluciones disponibles en el mercado en la actualidad.

Una de las claves para la potenciación de este desarrollo tecnológico será sin duda la proliferación de esquemas de cooperación publicoprivada en el campo de la investigación y el desarrollo de sistemas de seguridad. La articulación de programas como el futuro HORIZONTE 2020 mediante criterios similares a los utilizados para la determinación de necesidades operativas, como

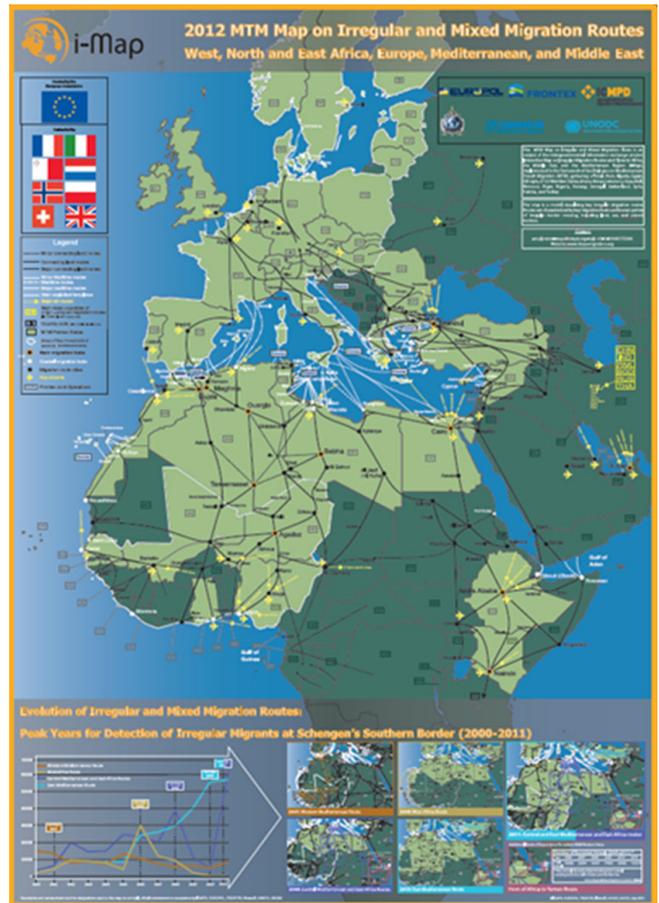


Fig. 2. Mapa 2012 rutas de inmigración ilegal (fuente: i-Map).

es el caso de la metodología de planeamiento basado en capacidades mencionada aquí, facilitaría el alineamiento y realimentación constante entre usuarios e industria y permitiría el desarrollo de los sistemas que realmente se necesitan, quedando estos validados antes de su comercialización.

En este sentido, ya existen iniciativas que no solo plantean esquemas similares al propuesto en estas líneas, sino que también ponen en manos de los usuarios las herramientas necesarias para orientar la investigación, desarrollo e innovación tecnológica en materia de seguridad. Un buen ejemplo de lo anterior serán los proyectos de tipo POV (*Pre-Operational Validation*), ya presentes en las llamadas de seguridad del 7.º Programa Marco, y que a buen seguro sentarán las bases para una cooperación intensa entre los agentes involucrados en el proceso de desarrollo de capacidades en un futuro a corto y medio plazo.

# Proyecto EDA JIPICET: NICE

Juan José Piñeiro García de León,  
Enrique Martín Romero E&Q  
Engineering

Palabras clave: control y guiado,  
control óptimo, estabilidad y robustez,  
métodos pseudoespectrales,  
restricciones cuadráticas integrales

Metas tecnológicas relacionadas:  
MT 3.6.3.

## El reto

El proyecto de la Agencia Europea de Defensa NICE (*Nonlinear Innovative Control design and Evaluation*) tenía como objetivo principal el desarrollo de nuevas metodologías, más allá del estado del arte, para diseño y análisis de sistemas de control orientadas a aplicaciones de plataformas militares altamente no lineales. Este ambicioso objetivo estaba en consonancia con el del propio programa ICET (*Innovative Concepts and Emerging Technologies*), que pretendía la Investigación en tecnologías emergentes que pudieran tener un efecto disruptivo en el campo de batalla. Como objetivo adicional, NICE buscaba promover la cooperación entre las instituciones involucradas en el proyecto, contribuyendo de esta manera a reforzar una “Europa de la investigación” y para lograrlo se constituyó un consorcio de 13 miembros de cinco países. NICE, con una duración total de 24 meses (marzo de 2010-marzo de 2012), fue liderado por ONERA (FR) y contó con la participación de la PYME española E&Q Engineering, además de Bertin Technologies (FR), Dassault Aviation (FR), DLR (DE), Irida Labs (EL), LAAS (FR), LFK (DE), MBDA France (FR), LFK (DE), MBDA Italy (IT), ONERA (FR), Universidad Técnica de Múnich (DE), Universidad de Trento (IT) y la Universidad de Roma (IT).

## La necesidad

Es importante señalar que en la actualidad, la mayor parte de los sistemas de control empleados en la industria europea de aeronáutica y defensa, se diseñan y analizan mediante técnicas lineales que son aplicadas a su vez a modelos linealizados de la dinámica de vehículos como UAV, misiles y aviones de combate (a pesar del comportamiento altamente no lineal que presentan en múltiples zonas de la envuelta de vuelo). Por tanto, la mejora

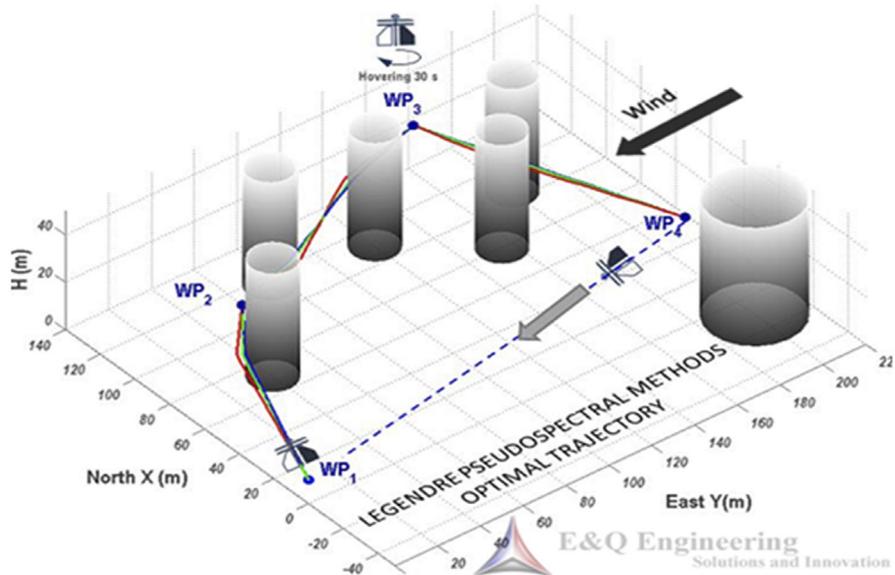


Fig. 1. Trayectoria óptima obtenida mediante métodos PS para uno de los escenarios con viento propuestos en NICE . (Fuente: E&Q Engineering).

en el tratamiento de las no linealidades constituye un reto del máximo interés para las aplicaciones industriales del sector defensa, especialmente por la creciente demanda en prestaciones y fiabilidad que hoy día se exige a las plataformas aéreas.

## El proyecto

NICE se estructuró en tres grandes bloques que comprendían el diseño de sistemas de control, el desarrollo de algoritmos de guiado y la aplicación de métodos de análisis. Estas líneas se aplicaron a tres tipos de plataformas concretas proporcionadas por los miembros industriales del consorcio: un avión de combate, un misil de defensa aérea y un UAV de despegue y aterrizaje vertical (VTOL) de tipo táctico.

En el bloque relativo a sistemas de control se investigaron técnicas de diseño basadas en el concepto NDI (inversión dinámica no lineal) de control multivariable de amplia difusión en la industria aeronáutica y primera aproximación sistemática al control de vuelo no lineal. Previamente a este desarrollo, las leyes de control se diseñaban con un conjunto de modelos de plantas lineales y se implementaba con controladores lineales de ganancia programable. Los inconvenientes principales de los métodos NDI residen en requerir un conocimiento preciso del sistema y en carecer de robustez frente a incertidumbres de la planta. Con la finalidad de resolver estos inconvenientes, en NICE se

investigaron dos técnicas de diseño aplicadas a un misil y a un avión de combate: *Robust NDI* (RNDI) y *Adaptive NDI* (ANDI).

El objetivo del segundo bloque relativo a nuevos métodos de guiado, era el diseño de algoritmos avanzados para la optimización de trayectorias. El desarrollo de los algoritmos se planteó de forma competitiva entre los participantes: DLR, Universidad de Trento y la empresa española E&Q Engineering. Como plataforma de referencia se utilizó un micro UAV de la empresa francesa Bertin Technologies, la cual definió un conjunto de escenarios complejos (incluyendo waypoints, obstáculos y perturbaciones) junto con misiones, reglas y criterios para la optimización de las trayectorias.

E&Q desarrolló una metodología basada en su suite de *software* Optima® para el diseño de los algoritmos de guiado basada en métodos pseudoespectrales (PS). Históricamente, los métodos PS fueron empleados por primera vez con éxito en una maniobra de desplazamiento angular sin gasto de propulsante (*Zero Propellant Maneuver* –ZPM–) de la Estación Espacial Internacional (ISS) en los años 2006 y 2007. Debido al ahorro de propulsante de los motores (*thrusters*) se estima que ambas maniobras ZPM permitieron un ahorro económico superior al millón de euros.

Desde el punto de vista matemático, la optimización de trayectorias puede plantearse como un problema de

control óptimo, siendo esencial para su resolución la selección de un método apropiado. Los métodos PS son métodos directos<sup>1</sup>, que discretizan el problema en puntos a lo largo de la trayectoria denominados nodos, transcribiéndolo en uno de programación no lineal (NLP). La característica esencial de los métodos PS para la resolución de problemas de control óptimo complejos, consiste en que son capaces de aproximar funciones continuas con un número óptimo de nodos, resultando en problemas NLP de menor orden y teniendo una convergencia muy rápida denominada espectral.

La investigación realizada por E&Q se centró en los métodos PS de Legendre y Chebyshev utilizando diferentes clases de nodos de cuadratura (Gauss, Lobatto y Radau). En estos métodos, los puntos para la cuadratura se determinan por medio de polinomios de Legendre y Chebyshev.

Los algoritmos de guiado desarrollados por E&Q pasaron rigurosamente y con éxito la evaluación industrial realizada por Bertin<sup>2</sup>, siendo posible su implementación en tiempo real en su VTOL UAV. Además E&Q extendió, más allá del proyecto, la investigación de modelización de obstáculos para la optimización de trayectorias utilizando métodos PS con el fin de utilizarlos en misiones en entornos urbanos de mayor complejidad y realismo (edificios, árboles, postes, líneas de tendido eléctrico, etc.).

En cuanto a la tercera parte del proyecto NICE, relativa a métodos de análisis, el objetivo principal consistía en desarrollar métodos avanzados para evaluar la estabilidad y robustez de una plataforma no lineal en toda su envuelta de vuelo. Dentro de las líneas de mejora se pretendía un análisis de robustez menos conservativo, acelerar el análisis de estabilidad reemplazando los métodos de Montecarlo<sup>3</sup>, disminuir la complejidad computacional y aumentar el grado

<sup>1</sup> A diferencia de los métodos indirectos que se basan en el principio de mínimo de Pontryagin y en el cálculo de variaciones.

<sup>2</sup> Paso secuencial por waypoints con precisión, sin colisión con obstáculos ni el terreno y optimizando la misión según criterios especificados.

<sup>3</sup> Los métodos de Montecarlo requieren la realización de un número extensivo de simulaciones, requiriendo un elevadísimo tiempo de computación.



Fig. 2. Misil antiaéreo de Diehl DGT (IRIS-T-SL), con una configuración aerodinámica semejante al empleado en NICE. (Fuente: Diehl).

de automatización de las herramientas de análisis.

El análisis de estabilidad y robustez ha sido una línea de investigación en la Teoría de Control debido a su utilidad e importancia práctica. Múltiples aproximaciones y técnicas se han desarrollado para tratar con este asunto desde 1940. Una técnica básica de análisis de estabilidad para aviones de combate altamente maniobrables y de misiles, consiste en linealizar las ecuaciones dinámicas en bucle cerrado sobre diferentes puntos de operación y comprobar la estabilidad de los autovaleores. En los últimos años, se han desarrollado técnicas más sofisticadas para el análisis de estabilidad que permiten la inclusión de no linealidades e incertidumbres en los modelos. Estas nuevas técnicas pueden llevar a resultados menos conservadores en la evaluación. Concretamente, las Restricciones Cuadráticas Integrales o IQC (*Integral Quadratic Constraints*) proporcionan un marco general para el análisis de robustez. ONERA y E&Q emplearon estas técnicas para abordar el análisis propuesto en NICE.

El concepto original de los IQC surge en los años 60 de los trabajos de Popov acerca de la estabilidad absoluta. IQC constituye un marco para el análisis de sistemas basado en una combinación de trabajos de la teoría de control ruso y de occidente que ha sido investigado desde los años 90. Abarca múltiples campos como el

control óptimo, estabilidad absoluta, control robusto y otras teorías. Las técnicas IQC han sido utilizadas con múltiples fines como explotar información estructural acerca de perturbaciones, caracterizar propiedades de señales externas y analizar combinaciones de múltiples perturbaciones y señales externas. Megretski y Rantzer (1997) fueron los impulsores que empezaron a fusionar estas teorías.

Dentro de NICE, E&Q desarrolló un conjunto de herramientas que constituyen un marco unificado de análisis basado en IQC. Estas técnicas de análisis se aplicaron al sistema de control de un misil moderno de defensa aérea (propuesto por LFK) con configuración cruciforme y cuatro superficies de control; la envuelta se extiende hasta una altitud hasta 11 km y rango de Mach entre 0,9 y 4,4.

Como conclusión, cabe evaluar el resultado del proyecto como altamente innovador, cumpliendo con todos los objetivos propuestos. Concretamente, E&Q no tiene constancia de que las técnicas utilizadas para el diseño de los algoritmos de guiado (métodos pseudoespectrales) y para el análisis (IQC), hayan sido utilizadas anteriormente en España con tales fines. NICE ha posicionado a E&Q en el campo del control y guiado de la industria de aeronáutica y defensa europea, habiendo facilitado el desarrollo de herramientas y capacidad esenciales para plataformas aéreas y sus misiones.

## Proyecto EDA JIPICET: NANOCAP

Francisco Cuesta, DAS Photonics

Palabras clave: nanofotónica, fotónica integrada, detección química, comunicaciones de radio sobre fibra, chip fotónico

Metas tecnológicas relacionadas: MT 2.3.2.; MT 4.2.1.

La fotónica integrada se presenta como una novedosa alternativa con un alto potencial de cara a superar las limitaciones actuales en ancho de banda de los componentes microelectrónicos. Se trata de aprovechar las ventajas de la tecnología óptica relativas a la inmunidad electromagnética, al ancho de banda así como a la integración de dispositivos con una gran capacidad de escalabilidad y producción en masa.

El proyecto NANOCAP (*Novel Nanostructured optical Components for CBRN detection and high performance optical-microwave links*) consiste en un contrato de investigación y tecnología dentro de la convocatoria JIP-ICET (*Defence R&T Joint Investment Programme on Innovative Concepts and Emerging Technologies*) de la EDA (*European Defence Agency*) coordinado por la empresa española DAS Photonics, S.L., y en la que intervinieron empresas e instituciones de hasta cuatro países europeos.

El programa JIP-ICET tiene como objetivo la identificación y desarrollo de ideas novedosas. En este marco de trabajo, el proyecto NANOCAP introduce la tecnología fotónica integrada como una posible solución con un alto potencial en diversas aplicaciones de defensa. Para ello, en el desarrollo del

proyecto se realizó una demostración experimental de las capacidades de la fotónica integrada en el campo de los sistemas radio-sobre-fibra y en el campo de la detección química. Esta doble demostración deja constancia de la potencialidad de la tecnología en cada área por separado así como de la versatilidad de la misma.

De igual forma que la microelectrónica ha sufrido una evolución espectacular en los últimos años (extendiéndose en todo tipo de áreas tanto en el campo de la defensa como en el de las aplicaciones domésticas) la tecnología fotónica propuesta, es compatible desde el punto de vista de la fabricación y presenta la misma versatilidad. La ventaja obtenida es un aumento de las prestaciones al superarse limitaciones clave en ancho de banda de la microelectrónica y posibilitando nuevas aplicaciones.

A este respecto, en el NANOCAP se realizó la demostración de las capacidades en sistemas de comunicaciones de radio-sobre-fibra. Se demostró la posibilidad de utilizar el chip fotónico en este tipo de sistemas y por lo tanto de aprovechar las soluciones ópticas con una tecnología integrable y escalable. Concretamente se aplicó el chip fotónico para la implementación de distintos esquemas de modulación OSSB (*Optical Single Side-Band*) y reducción de portadora para mejora de márgenes dinámicos (*CR, Carrier reduction*).

Por otro lado, dentro del ámbito de la detección de compuestos químicos se exploró la capacidad de la tecnología fotónica de aportar soluciones innovadoras. Para ello se implementó un sistema de detección basado en reconocimiento molecular. Mediante el uso

de proteínas odoríferas sintetizadas fue posible reconocer moléculas de DMMP (*dimethyl methylphosphonate*, simulante del gas sarín), y haciendo uso del chip fotónico conseguir su detección. Esta aproximación constituye un avance con respecto a las ya extendidas soluciones de reconocimiento molecular debido a que se hace una detección directa sin hacer uso de un proceso de marcaje posterior. Esta eliminación del proceso de marcaje permite que se puedan detectar moléculas tan pequeñas como las del DMMP (~124 Da) que no podrían ser detectadas con otros métodos que requieran un revelado posterior por la ausencia de varios centros de reconocimiento molecular (epitopos). Se consiguió detectar DMMP directamente en muestra de aire con unas concentraciones de 20 ppb<sup>v</sup> (ng x mL<sup>-1</sup>), muy por debajo del límite mínimo de seguridad.

En conclusión, el proyecto NANOCAP, con el objetivo de aportar una nueva tecnología con amplio interés en aplicaciones de defensa, demostró de una forma experimental las capacidades de la tecnología fotónica en dos campos tan dispares como los sistemas radio-sobre-fibra y la detección química. Se trata de una tecnología que permite la integración y por tanto presenta una gran escalabilidad que favorece el desarrollo de aplicaciones más elaboradas y con mejores prestaciones. Su fabricación en tecnología CMOS la habilita para la fabricación en masa de modo análogo a la microelectrónica con la que puede ser combinada. De esta forma permite un paso adelante en prestaciones, aprovechando las propiedades de capacidad e inmunidad electromagnética de la luz y es compatible con soluciones actuales electrónicas.

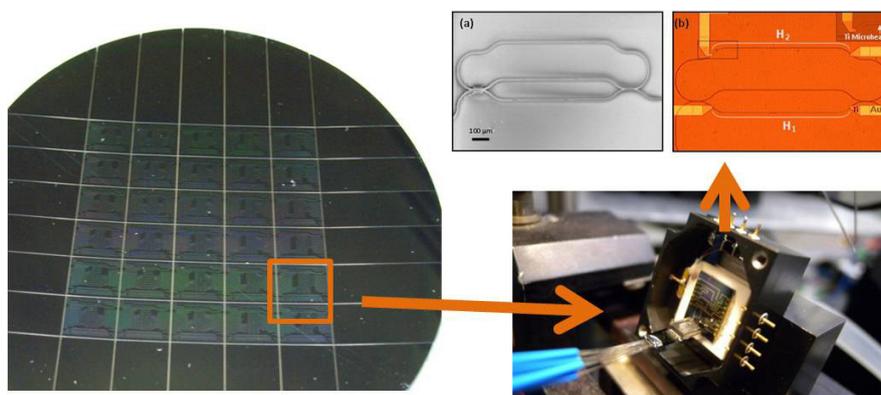


Fig. 1. Proceso de fabricación en masa. A partir de una oblea (izda.) se fabrican numerosos chips que son integrados en un dispositivo. En la parte sup. dcha. se muestra un detalle del filtro fotónico integrado que se ha utilizado. (Fuente: DAS Photonics).

# En Profundidad

## Capacidades AESA en aviones de combate

José Manuel Muñoz Fuentes,  
Dpto. de Aeronaves y Armamento,  
Subdirección Gral. de Experimentación  
y Certificación, INTA

Palabras clave: AESA, aviones de combate, radar, E-scan

Metas tecnológicas relacionadas:  
MT 2.1.1.; MT 2.1.2.; MT 2.1.4.; MT 6.2.7.

La capacidad de los modernos aviones de combate depende de manera esencial de su radar primario (*Fire Control Radar*), situado en la parte frontal de la aeronave y que se puede considerar como el principal de los sensores que lleva embarcados. En la actualidad, los desarrollos más punteros de este tipo de radares están basados en las tecnologías de antenas AESA (*Active Electronically Scanned Array*), que prometen introducir cambios revolucionarios en las capacidades de estos sistemas. En los próximos años, se espera que el progresivo descenso de los costes de fabricación de estos sistemas acentúe esta tendencia y convierta a las AESA en la tecnología dominante en las futuras aplicaciones radar.

En este artículo se describirán brevemente los fundamentos de las tecnologías AESA y las mejoras en capacidad que proporciona para los radares primarios de los aviones de combate. Estos radares son habitualmente radares multifuncionales de pulsos Doppler o *Pulse Doppler Radar* (PDR), operando en banda X de frecuencias (8.0-12.5 GHz), banda I/J si se está empleando terminología OTAN.

### Tipos de escaneo

Para la búsqueda de blancos, los radares de los aviones de combate deben realizar un barrido por toda la zona de cobertura, apuntando con su antena a las distintas direcciones del espacio. Este proceso de barrido de la antena o escaneo se puede realizar por medios mecánicos (*M-scan*) o electrónicos (*E-scan*). A continuación se describen brevemente ambos conceptos:

- **M-Scan:** en este tipo de sistemas, el apuntamiento de la antena se consigue gracias a un posicionador mecánico que mueve físicamente a la antena, orientándola a la dirección de interés. En la primera generación de radares de aviones de combate con apuntamiento mecánico la antena era de tipo reflector parabólico. A partir de la década de 1970, se empezaron a utilizar antenas planas de tipo *array*, como los radares multifuncionales de las familias AN/APG-65, 70 y 73, que demostraron su utilidad en diversas versiones del F-15 junto con los clásicos misiles Aire-Aire como el Sparrow o las primeras versiones del Sidewinder. Entre las ventajas de las antenas planas de tipo *array* frente a las antenas parabólicas se puede destacar un mejor diagrama de radiación y una menor *Radar Cross Section* (RCS) o firma radar, lo que dificulta la detección de la aeronave por parte de los radares enemigos. Este tipo de sistemas se conoce como *M S A* (*Mechanically Scanned Array*).
- **E-Scan:** en este tipo de sistemas el apuntamiento de la antena se consigue de manera electrónica, no siendo necesario realizar ningún tipo de movimiento mecánico de la antena. El escaneo electrónico se basa en la utilización de las antenas denominadas *phased array*. Las antenas de tipo *array* son antenas compuestas de varios elementos radiantes (antenas elementales) cuyo funcionamiento conjunto permite sintetizar diagramas de radiación con características específicas. Los *phased array* son antenas *array* en las que cada uno de los elementos radiantes está controlado en fase de manera independiente a los demás. Variando de manera coordinada la fase entre los distintos elementos del *array* se consigue orientar el haz de la antena a las diferentes direcciones del espacio. Esto se debe a que la suma de la señal transmitida por cada uno de los elementos radiantes queda reforzada en la dirección del espacio en que dichas contribuciones se suman en fase. En los sistemas E-Scan, se requiere disponer de un procesador local, o destinar parte del procesador del

radar, para controlar la fase en cada elemento radiante. Dicho procesador suele denominarse *B e a m Steering Controller* (BSC) y actúa controlando el retardo de la señal, a partir de los dispositivos electrónicos destinados a tal efecto denominados desfases. Este tipo de sistemas se conocen también como *ESA* (*Electronically Scanned Array*).

La introducción de las tecnologías ESA en los radares de los aviones de combate a partir de la década de 1980 permitió dotarlos de nuevas capacidades y prestaciones mejoradas, siendo las principales las siguientes:

**Agilidad de apuntamiento sin inercias:** los sistemas ESA hicieron posible desarrollar sistemas radar con una agilidad de apuntamiento sin precedentes, ya que con escaneo electrónico puede variarse la dirección del haz de forma casi instantánea y sin inercias. Así, un posicionador puede tardar tiempos del orden de un segundo en variar la dirección del haz, mientras que mediante apuntamiento electrónico esto puede conseguirse en tiempos menores de un milisegundo. Este hecho introdujo sustanciales mejoras en las prestaciones de los radares de los aviones de combate:

- Al haber eliminado prácticamente los tiempos de barrido, se dispone de mayor tiempo para integrar un mayor número de pulsos radar en el proceso de detección, aumentando así la probabilidad de detección de los blancos.
- Gracias a la agilidad y si se tienen suficientes recursos computacionales, se puede determinar si las hipótesis de partida de los modelos de procesado adaptado que emplean estimación paramétrica son ciertas o deben modificarse convenientemente, lo que resulta en una mejora de las técnicas de supresión de *clutter* ("ruido radar") o la obtención de imágenes del terreno mediante *Synthetic Aperture Radar* (SAR) o *Inverse Synthetic Aperture Radar* (ISAR).
- El intervalo de tiempo durante el cual los datos están siendo procesados para la detección o la obtención de un conjunto de medidas o *dwell time*, puede optimizarse en función

## en profundidad

de las necesidades de detección y seguimiento en cada escenario como pueden ser la identificación no cooperativa (en inglés, NCI) o *raid assessment*. Pueden iluminarse blancos para guiado de misiles incluso cuando éstos se encuentren fuera del volumen de búsqueda.

- El seguimiento de un blanco puede realizarse de forma estable desde el instante en que es detectado. Pueden conseguirse precisiones propias de *Single Target Track* (STT) para múltiples blancos al mismo tiempo. Una forma de conseguirlo es incrementar el número de pulsos cuando se detecta un blanco para obtener valores estables de sus parámetros.

Capacidad multihaz: las antenas ESA permiten la síntesis de varios haces independientes del diagrama de radiación. Esta característica, unida a la rapidez de apuntamiento, hace posible que los radares que utilizan antenas ESA puedan realizar el seguimiento casi simultáneo de un gran número de objetivos, o bien que puedan emplear cada haz en distintas funciones radar (exploración, seguimiento, etc.) o incluso otro tipo de funciones como ataque electrónico (*jamming*) (ver fig. 1b).

Reducción de firma radar: en segundo lugar, el apuntamiento electrónico facilita la reducción de RCS del sistema de armas. Por ejemplo, las reflexiones directas de la antena de la propia plataforma al ser iluminada

por un radar enemigo, pueden reducirse inclinando un poco la antena, lo que se conoce como *tilting*, corrigiendo dicha inclinación por métodos electrónicos.

Alta fiabilidad: la ausencia de partes móviles en los arrays de apuntamiento electrónico mejora sustancialmente la fiabilidad del sistema completo de antena.

A pesar de estas ventajas, el escaneo electrónico presenta un importante inconveniente frente al escaneo mecánico: las antenas ESA sufren el ensanchamiento de su haz a medida que la dirección de escaneo se aleja de la dirección perpendicular del plano de la antena, siendo especialmente grave cuando se superan inclinaciones de 60°. Este ensanchamiento del haz reduce la zona efectiva de cobertura de la antena, imponiendo la necesidad de emplear un posicionador mecánico o varios planos de antenas para conseguir un campo de visión (FoR – Field of Regard) suficientemente amplio.

### Arquitectura de los sistemas eScan: PESA vs AESA

Las primeras arquitecturas de antenas ESA estaban basadas en el esquema representado en la parte izquierda de la fig. 2. En esta configuración, denominada PESA (*Passive Electronically Scanned Array*), la potencia radiada es generada por un transmisor central que distribuye la señal a todos los elementos del array. El apuntamiento del haz se consigue por medio de

desfasadores situados detrás de cada elemento (o grupo de elementos) del array. En recepción, la señal sigue el camino inverso, combinándose las salidas de todos los elementos del array hacia el amplificador de bajo ruido (LNA) de un receptor central. En este tipo de antenas, no es posible controlar la amplitud de manera independiente para cada elemento.

Sin embargo, la configuración PESA presenta un importante inconveniente: entre los elementos radiantes y el amplificador LNA se producen muchas pérdidas de energía, que se traducen en un aumento del ruido en la señal recibida que degrada notablemente la sensibilidad del sistema. Esta menor sensibilidad significa que el radar tendrá mayor dificultad para detectar los objetivos, por lo que se reducirá su alcance efectivo.

No ha sido sino hasta los últimos años cuando los avances tecnológicos han hecho posible la implementación práctica del concepto teórico que soluciona estos inconvenientes: las antenas AESA (*Active Electronically Scanned Array*). En este tipo de configuración (parte derecha de la fig. 2), no existe un transmisor y receptor central, sino que cada elemento del array dispone de su propio módulo transmisor y receptor (denominado módulo T/R), que integra las funciones de desfasaje, amplificación de potencia en transmisión, amplificación de bajo ruido en recepción, conmutación transmisión/recepción, etc. (ver fig. 3). Al situarse



Fig. 1a. Radar AESA RACR (Raytheon's Advanced Combat Radar), integrado en versiones del F-16 de la USAF. Primer vuelo en la base de Edwards, California en julio de 2010. (Fuente: <http://www.raytheon.com>).

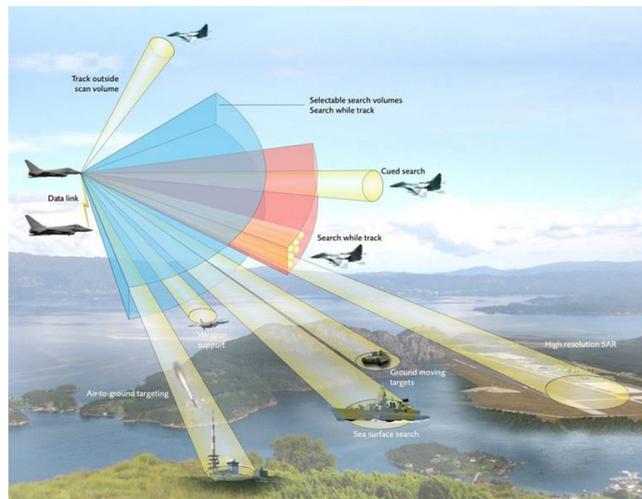


Fig. 1b. La agilidad de apuntamiento de las antenas ESA, unido a su capacidad multihaz, hace posible que los radares multifuncionales puedan entrelazar en el tiempo las distintas funciones radar (búsqueda, seguimiento, iluminación de objetivos, etc.) (Fuente: [www.eurofighter.com](http://www.eurofighter.com)).

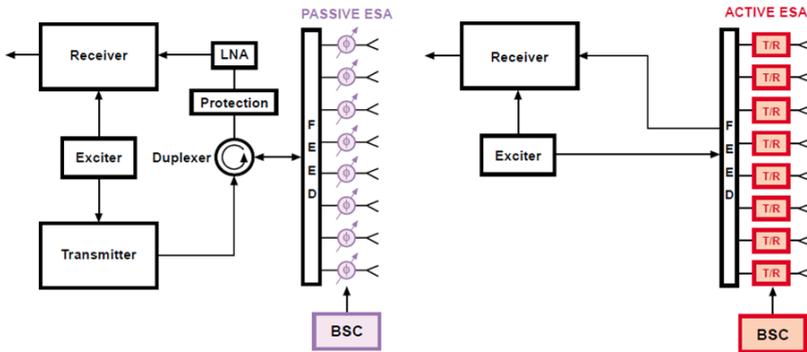


Fig. 2. Arquitecturas de antena en PESA y AESA. (Fuente: Stimson, G.W. Introduction To Airborne Radar. 2nd Ed. Scitech. 1998.).

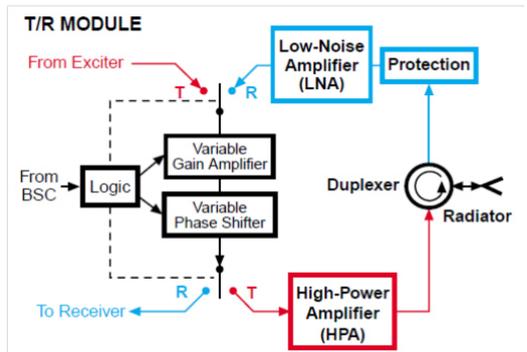


Fig. 3. Elementos funcionales básicos en un módulo T/R. (Fuente: Stimson, G.W. Introduction To Airborne Radar. 2nd Ed. Scitech. 1998.).

los módulos T/R junto con los elementos radiantes, se reducen drásticamente las pérdidas de energía de la señal, aumentando por lo tanto la sensibilidad del sistema.

Para que las antenas AESA se hayan convertido en una realidad han sido fundamentales los avances en la tecnología de circuitos MMIC (*Monolithic Microwave Integrated Circuits*) de arseniuro de galio (GaAs), que permitió el desarrollo de las primeras antenas AESA y sigue siendo fundamental hoy en día, al presentar propiedades excelentes para ser empleados como amplificadores de estado sólido en altas frecuencias, controlando la fase y amplitud de forma muy precisa en frecuencias suficientemente altas. Aunque en los últimos años el GaAs se ha visto superado por el nitruro de galio (GaN) y el carburo de silicio (SiC) en aplicaciones electrónicas de alta potencia y alta frecuencia (debido a las excelentes propiedades de estos materiales), la utilización de MMIC de GaN en antenas AESA se encuentra aún en fase de investigación y desarrollo.

Otro factor importante para la implantación de las AESA en el ámbito de los radares de combate ha sido la disponibilidad de procesadores capaces de asumir el coste computacional necesario para explotar adecuadamente sus capacidades. Actuar de forma independiente sobre cada módulo T/R conlleva un alto coste computacional, dado el gran número de elementos que se tienen que gestionar. Por ejemplo, un valor habitual en aviones de combate podría situarse entre los 1.000 y 2.000 elementos<sup>1</sup>, si bien depende de cada caso particular. En multitud de ocasiones, se subdivide todo el conjunto de elementos radiantes en varios

subconjuntos sobre los que se actúa de forma independiente.

### Prestaciones de los radares AESA

Las ventajas que ofrecen los radares AESA son muy significativas en términos de capacidades de un sistema de armas, como se explica detalladamente en los siguientes párrafos:

Transmisión y recepción en la propia antena: como ya se ha comentado anteriormente, la primera ventaja de las antenas AESA frente a las PESA, viene dada por el hecho de que la transmisión y recepción se realiza en el propio elemento radiante, lo que hace que las antenas AESA presenten menos pérdidas de señal y mayor sensibilidad. A este hecho hay que añadir que los desfases utilizados en las PESA y basados en unión metal semiconductor (*Metal Semiconductor Field Effect Transistor* o MESFET) de GaAs introducen más pérdidas de señal que sus componentes análogos en circuitos MMIC de GaAs, GaN o SiC.

Control de amplitud y fase: como se ha visto anteriormente, el hecho distintivo de la capacidad AESA es la posibilidad de controlar la amplitud, no sólo la fase, gracias a la existencia de los módulos T/R. Si se considera este nuevo grado de libertad de manera conjunta con la agilidad de apuntamiento sin inercias, asumiendo que se disponen de recursos computacionales suficientes, se tiene la capacidad de adaptar el diagrama de radiación a cada escenario de forma casi instantánea. Este hecho tiene importantes consecuencias desde el punto de vista operacional y revoluciona el concepto clásico de *moding* de radar multifuncional en aviones de combate, posibilitando la implementación

de nuevas técnicas y filosofías de procesamiento de señal. A continuación se listan las principales ventajas, que habría que añadir a las ya inherentes al apuntamiento electrónico:

- El intercalado o *interleaving* entre modos aire-aire y aire-superficie puede realizarse de forma casi instantánea. Pueden emplearse diferentes modos radar de forma simultánea o casi, como diferentes modos de seguimiento y bloqueo de blancos. De hecho, pueden destinarse parte de los canales de forma independiente a la realización de otras funciones como: calibración, medidas de apoyo electrónico (*Electronic Support Measures*, ESM), eliminación de lóbulos laterales, enlace de datos tácticos (*data-link*) para apoyo al guiado de misiles, etc.
- Pueden implementarse nuevas técnicas de seguimiento de blancos, como incrementar el *data rate* (número de pulsos) cuando se detecta una maniobra del blanco para poder realizar el seguimiento. El clásico *Track-While-Scan* (TWS), tradicionalmente basado en filtros de Kalman y aproximaciones estadísticas, cambia de filosofía empleando técnicas de seguimiento del tipo monopulso.
- Permite implementar técnicas de procesamiento de señal adaptativas basadas en métodos dinámicos de estimación paramétrica o métodos de superresolución, típicamente:
  1. *Adaptive Beam Forming* (ABF): creando ceros en el diagrama de radiación, para evitar fuentes de perturbación.
  2. *Space Time Adaptive Processing* (STAP): mejorando las capacidades



Fig. 4. F22 Raptor del Ala 3 de USAF en Elmendorf, Alaska. Incorpora el radar AN/APG-77, uno de los primeros radar AESA que se fabricó a gran escala (© 2010, Jeroen Oude Wolbers).



Fig. 5. Radar AESA CAPTOR-E, desarrollado por el consorcio EuroRadar para el Eurofighter. Para aumentar el campo de visión, del radar dispone también de la capacidad de reposicionamiento mecánico (Fuente: www.eurofighter.com).

como radar *Ground Moving Target Indicator* (GMTI), es decir, posibilitando la detección de blancos lentos terrestres o en presencia de fuerte *clutter*.

3. Obtención de imágenes SAR de alta resolución.
- Puede realizarse *jamming* o ataques electrónicos de una forma mucho más elaborada que la que permiten las antenas PESA.
  - Disminuye la probabilidad de que sus emisiones radar sean interceptadas (LPI – *Low Probability of Intercept*), lo que resulta esencial en los actuales y futuros escenarios de combate. Se posibilita el empleo de diferentes técnicas para LPI, definiendo mejor el haz, controlando los tiempos de iluminación o barrido y reduciendo la potencia transmitida a lo mínimos necesarios.

Más fiabilidad: cuando un módulo T/R deja de funcionar, las prestaciones del sistema no se degradan de manera importante. A medida que se van produciendo fallos en otros módulos, las prestaciones del sistema se siguen degradando paulatinamente, pero la antena sigue funcionando (lo que se conoce como *graceful degradation*). Esta característica supone

una diferencia fundamental con las antenas PESA, en las que cualquier fallo en el único transmisor/receptor que poseen provoca que la antena deje de funcionar completamente (en concreto, el HPA –*high power amplifier*– es uno de los componentes en radares M-Scan o PESA con menor vida útil y más número de fallos). Se destaca además que los módulos T/R son todavía más fiables que los desfasadores de las PESA.

A pesar de estas ventajas, las antenas AESA presentan también diversos inconvenientes cuya resolución exigirá enfrentarse a importantes desafíos tecnológicos:

Disipación de calor. La principal desventaja de las AESA, sin considerar factores económicos, la constituye la baja conductividad térmica de los MMIC de GaAs, GaN o SiC, lo que obliga a disponer de mecanismos para la disipación del elevado calor generado en los módulos. Este hecho limita la potencia de operación y en consecuencia el alcance del radar.

Peso de la antena. Actualmente, el elevado peso de las antenas AESA hace necesario contrabalancear el avión con lastres, con las implicaciones negativas que supone dicho

incremento del peso en cualquier plataforma aérea.

Factores económicos. El coste de fabricación de los módulos T/R es aún muy elevado, por lo que dotar a un avión de combate de capacidad AESA obliga a realizar una inversión muy costosa.

### Conclusiones

En este artículo se ha pretendido mostrar, de manera no categórica, cuáles son las características de los radares AESA y cómo estas influyen positivamente en las capacidades de los aviones de combate armas, hasta el punto de conseguir que progresivamente estén desplazando a los radares MSA y PESA como radares primarios en dichos aviones. Como ejemplo cercano de esta tendencia se puede citar al Eurofighter, para el que está prevista la dotación de la capacidad AESA en los próximos años (radar CAPTOR-E, ver fig. 5). Actualmente, disponer o no de un sistema AESA puede considerarse el punto de partida para el análisis del estado del arte de los sistemas radar como sensor primario en aviones de combate, hasta el punto de poder considerar como aviones de altas capacidades sólo aquellos que lo incorporan.

<sup>1</sup> Por ejemplo, el radar AESA AN/APG-77 desarrollado por Northrop Grumman para el F-22, está constituido por 1500 elementos, el AN/APG-81 también de Northrop Grumman para el F-35 JSF por 1200, el APG-79 de Raytheon para nuevas upgrade del F-18, por 1.100 elementos. Fuente: <http://www.microwavejournal.com>.

## APIS, radar pasivo en el JIP-ICET

Pilar Jarabo, Manuel Rosa, David de la Mata, J.Luis Bárcena, Nerea del Rey, UAH; Javier Álvarez, Javier Gaitán, INDRA Sistemas

Palabras clave: radar pasivo, multiestático, ISAR, Doppler, CFAR, Space Adaptive Processing

Metas tecnológicas relacionadas: MT 2.2.1.

El proyecto APIS (*Array Passive ISAR adaptive processing*) nació con el objetivo de dar una primera respuesta a la posibilidad de utilizar sistemas radar pasivos en aplicaciones de seguridad y defensa. Estos sistemas utilizan transmisores no cooperativos (iluminadores de oportunidad), en lugar de un transmisor dedicado, característica que les hace muy atractivos por su baja probabilidad de interceptación, menores costes de desarrollo y mantenimiento e instalación no sometida a legislación sobre emisiones electromagnéticas. Estas características, junto con la paulatina erosión que están sufriendo las bandas radar ante el avance de los sistemas de comunicación, los convierte en unos valiosos aliados de los radares activos en aplicaciones de vigilancia.

La característica principal del sistema APIS es la integración de múltiples funcionalidades en una única plataforma: concepto de radar pasivo, utilización de un *array* de antenas, incorporación de técnicas adaptativas de procesamiento espacial (*Space Adaptive Processing*) y la posibilidad de generar imágenes ISAR (*Inverse Synthetic Aperture Radar*) de los blancos detectados con propósitos de clasificación. El proyecto se ha desarrollado en el marco del Programa JIP ICET de inversión conjunta en I+D de Defensa de la EDA (*European Defence Agency*) sobre "conceptos innovadores y tecnologías emergentes", del que el Ministerio de Defensa de España es miembro contribuyente.

El consorcio APIS ha estado constituido por seis entidades de cuatro países: INDRA (líder) y la Universidad de Alcalá por parte de España, el Consorcio Nacional Interuniversitario de Telecomunicaciones y la empresa VITROCISSET SPA por parte de Italia, el Instituto de Investigación en Áreas de Computación y Automatización de Hungría y la Universidad de Chipre.

El proyecto ha abarcado todo el proceso de diseño y desarrollo del sistema, culminando con la construcción y validación en un escenario real de un demostrador. Se ha realizado un profundo estudio teórico que ha permitido la definición de los requisitos de diseño del sistema, desde los elementos radiantes del *array* hasta los algoritmos de procesamiento digital en *array* responsables de la detección, seguimiento y formación de las imágenes ISAR. Todos los algoritmos han sido validados mediante simulaciones de escenarios radar y, finalmente, en el demostrador desarrollado.

El proyecto APIS ha demostrado que un sistema radar pasivo basado en un *array* de antenas es capaz de detectar y seguir blancos aéreos y terrestres en escenarios urbanos complejos y que es posible la generación de imágenes radar de blancos con propósitos de clasificación, utilizando señales de comunicaciones digitales disponibles en el entorno y sin necesidad de un transmisor dedicado.

En las secciones siguientes se presenta una breve descripción del principio de funcionamiento de los radares pasivos, para dar paso a una descripción del proyecto APIS, del demostrador desarrollado y a la presentación de resultados obtenidos en el emplazamiento en el que actualmente se encuentra.

### Radares pasivos

Los radares pasivos (*Passive Bistatic Radar*, PBR) utilizan señales radiadas por sistemas de comunicación, radio-navegación u otros radares activos en lugar de un transmisor propio [1]. Son, por tanto, sistemas multiestáticos, cuyo objetivo es detectar blancos y estimar parámetros como la posición o la velocidad, a partir de la energía que dispersan cuando son iluminados por un iluminador de oportunidad disponible en el entorno. En la figura 1 se

muestra la geometría básica de un radar pasivo biestático: RT es la distancia entre el iluminador y el blanco, RR es la distancia entre el receptor pasivo y el blanco y L es la longitud de la línea base. sB representa la sección radar biestática del blanco, que modela la cantidad de potencia que este refleja hacia el receptor radar. Dado que no se ejerce ningún control sobre la señal transmitida por el iluminador de oportunidad, el sistema dispone de dos canales:

- Canal de referencia, con la misión de capturar la señal transmitida por el iluminador de oportunidad y generar así la señal de referencia para el procesamiento coherente de los ecos de los blancos.
- Canal de vigilancia, encargado de capturar los ecos producidos por los blancos al ser iluminados por el iluminador de oportunidad.

En el receptor, las señales adquiridas por el canal de vigilancia se correlan con copias de la señal de referencia desplazadas en doppler para generar las funciones de ambigüedad cruzadas (CAF, *Cross Ambiguity Functions*) o mapas rango-doppler, que permitirán detectar el blanco y estimar su retardo y desplazamiento doppler respecto a la señal de referencia. En la figura 2, se muestra un esquema de generación del mapa rango-doppler. Como resultado, se obtendrán máximos en los puntos correspondientes al retardo y desplazamiento doppler del blanco respecto al iluminador. A partir de la geometría del sistema y las características de radiación de la antena receptora, será posible estimar la posición del blanco y su velocidad radial.

En la figura 2 también se muestra el mapa rango-doppler resultado de correlar consigo misma la señal de referencia (un canal de televisión digital terrestre, TDT). Esta señal es varios



Fig. 1. Geometría de un radar pasivo biestático.

órdenes de magnitud superior a los ecos esperables de los blancos, por lo que, aunque la antena receptora no apunte al iluminador, la señal de referencia que es adquirida por el canal de vigilancia (el llamado DPI, *Direct Path Interference*) será significativamente superior al eco del blanco y, además, correlará perfectamente con la referencia adquirida por el canal de referencia. Junto con el esperado máximo en el origen, aparece toda una estructura en la CAF que depende de las características de la señal transmitida, la cual no ha sido diseñada para aplicaciones radar. En la figura 2 se muestran los picos de ambigüedad asociados a la señal de TDT, resultado de componentes deterministas introducidas por los transmisores para la correcta sincronización y decodificación de la señal en los receptores TDT. Estos picos pueden confundirse con blancos o enmascarar blancos existentes. Este fenómeno debido al DPI requiere del diseño de etapas de procesamiento capaces de reducir (idealmente eliminar) la señal de referencia de los canales de vigilancia antes de realizar la correlación cruzada.

En la figura 3 se presenta la estructura básica de un radar pasivo:

- Sistema de recepción. La solución más extendida utiliza diferentes sistemas de antenas para los canales de referencia y vigilancia. En los primeros, el sistema de antenas debe rechazar señales emitidas por otros iluminadores de oportunidad de características similares a las del elegido y que estén presentes en el escenario. En los canales de vigilancia, las señales a rechazar son las emitidas por los iluminadores de oportunidad, tanto el elegido con propósitos de detección como otros interferentes. La utilización de agrupaciones (*arrays*) de antenas permite

la aplicación de técnicas de filtrado espacial para la generación de haces en las direcciones de interés, nulos en las direcciones de los iluminadores de oportunidad considerados como interferentes y el clutter (ecos radar generados por objetos que, al igual que los blancos, están en el volumen de cobertura del sistema pero que no se desean detectar).

- Preprocesado de los canales de referencia y vigilancia, con los objetivos principales de reducir el DPI en los canales de vigilancia, el multitrajecto, el clutter y los picos de ambigüedad generados en los mapas rango-doppler debido a la estructura de la señal de oportunidad (TDT en la figura 2).
- Función de ambigüedad cruzada. Siguiendo el esquema indicado en la figura 2, se implementa el filtro adaptado que maximiza la relación señal a ruido en los puntos del mapa rango-doppler correspondientes a la posición y velocidad radial del blanco.
- Etapa de detección: la salida del filtro adaptado (CAF) se aplica al detector que en su etapa final compara su salida con un umbral con el fin de decidir sobre la presencia o ausencia de blanco, cumpliendo unos requisitos de probabilidad de detección y falsa alarma. Los detectores CFAR (*Constant False Alarm Rate*) son los más extendidos.

### Radars activos versus radares pasivos

Entre otras, las principales ventajas de los sistemas pasivos respecto a los activos son las que se enumeran a continuación:

- Menor coste, debido a la ausencia de transmisor dedicado.
- Menor vulnerabilidad frente a contramedidas electrónicas (ECM)

causada por el funcionamiento “silencioso” de estos sistemas.

- Pueden presentar una mayor capacidad de detección ante blancos de baja probabilidad de interceptación, debida a que estos blancos han sido diseñados para presentar una baja RCS ante sistemas monoestáticos y frecuencias radar, diferentes de las utilizadas por sistemas de comunicación.

Pero también presentan algunos inconvenientes, como:

- Un incremento en la complejidad del receptor, al tener que utilizar transmisores no controlados y señales no diseñadas con propósitos de detección.
- Total dependencia respecto a la disponibilidad de iluminadores de oportunidad.
- La resolución en distancia depende de la geometría del sistema, al ser función del ángulo biestático (figura 1).
- Las coberturas suelen ser menores que las de los sistemas activos.

### Análisis de potenciales iluminadores de oportunidad

El hecho de que los sistemas pasivos utilicen de forma oportunista señales no diseñadas de forma específica con propósitos de detección, hace necesaria la realización de estudios de potenciales iluminadores de oportunidad, para determinar su viabilidad en aplicaciones radar. La función de ambigüedad es una herramienta que permite determinar las capacidades detectoras de las señales. Se ha aplicado para el estudio de señales de comunicación analógicas como la radiodifusión FM [2,3] o la televisión analógica [4], concluyendo que sus reducidos anchos de banda y su

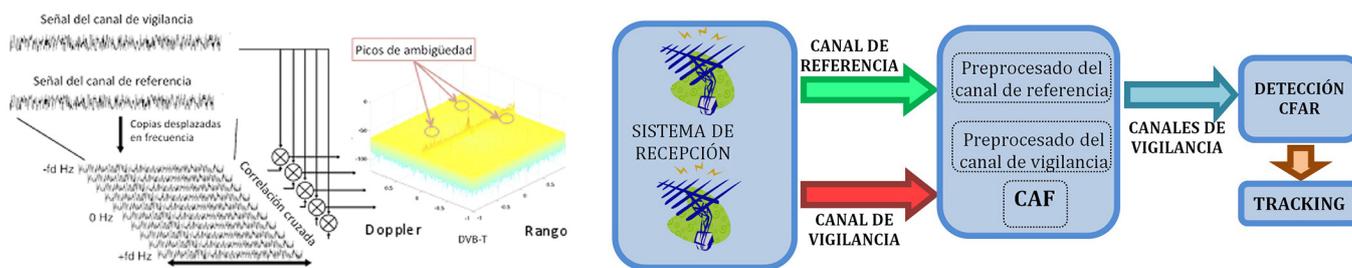


Fig. 2. Esquema básico de generación del mapa rango-doppler (izda.); función de ambigüedad de la señal de referencia adquirida de un transmisor de televisión digital terrestre consigo misma, en el que además del máximo esperable para un retardo y un doppler nulos, aparecen otros máximos asociados a componentes deterministas de la señal y no a la presencia de blancos en el escenario radar (centro). Fig. 3 (derecha). Arquitectura básica de un sistema radar pasivo.

dependencia respecto del contenido de la señal transmitida son serios inconvenientes en aplicaciones radar. Los mayores anchos de banda de las señales de comunicación digitales y su independencia respecto del contenido han despertado un creciente interés en su utilización como señales de oportunidad. Se han realizado estudios de viabilidad de las señales DAB (*Digital Audio Broadcasting*), GSM (*Global System for Mobile*), UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) y DVB (*Digital Video Broadcasting*) o TDT [5-8]. De entre todas ellas, se ha elegido la señal de TDT para el diseño del demostrador APIS, debido a las elevadas potencias transmitidas, disponibilidad de transmisores y ancho de banda (el ancho de banda de un canal TDT es de 8 MHz, que puede incrementarse mediante la utilización de canales consecutivos).

### El proyecto APIS

El proyecto APIS, tiene como objetivo general el estudio y la implementación de una prueba de concepto de un radar pasivo, multicanal y multiestático, haciendo uso de técnicas de procesamiento en array y señales de oportunidad digitales, con el propósito de detectar blancos y generar imágenes ISAR a utilizar en tareas de clasificación.

Las principales contribuciones de APIS respecto a otros sistemas propuestos en la bibliografía se describen a continuación.

### Múltiples configuraciones para generar la señal de referencia

APIS puede utilizar múltiples canales transmitidos por un iluminador de oportunidad (multicanal biestático), diferentes señales transmitidas por diferentes iluminadores (monocanal

multiestático) o la combinación de ambos (multicanal multiestático).

**Técnicas digitales de procesamiento en array**, las cuales proporcionan gran versatilidad al sistema, al permitir:

- La generación de múltiples haces para adquirir las señales de referencia y explorar el área de cobertura.
- La inclusión de nulos para rechazar señales de oportunidad interferentes en el/los canal/es de referencia y estas y el DPI en los canales de vigilancia.
- Implementar técnicas adaptativas de procesamiento espacial (SAP) para reducir clutter, jammers u otras interferencias.
- Estimar la dirección de llegada de los emisores de oportunidad disponibles.

En concreto, se han implementado dos arquitecturas, las cuales comparten las mismas cadenas receptoras y reciben las muestras digitalizadas de las señales adquiridas por cada uno de los elementos del array:

- Arquitectura 1: Utiliza técnicas de *beamforming* deterministas para la generación de el/los canal/es de referencia y SAP para los de vigilancia.
- Arquitectura 2: Utiliza técnicas de *beamforming* deterministas para la generación de los canales de referencia y vigilancia.

Ambas arquitecturas son equivalentes en entornos dominados por ruido, pero la primera presenta capacidades detectoras bastante superiores en entornos dominados por interferencias, a costa de una mayor carga computacional.

### Generación de imágenes ISAR

APIS incorpora nuevos algoritmos ISAR para la configuración multicanal

y multiestática con el fin de generar imágenes radar de los blancos detectados.

### El demostrador APIS

El objetivo último y más ambicioso del proyecto era la implementación de un demostrador como prueba de concepto/viabilidad tecnológica. Atendiendo al objetivo de detectar y generar imágenes ISAR de aviones volando a baja cota, se definió el escenario radar presentado en la figura 4: operaciones de aterrizaje y despegue en el aeropuerto de Barajas (Madrid).

El diseño del demostrador respetó los requisitos generales de APIS: sistema abierto (fácilmente adaptable e integrable en redes de sensores) y modular (facilidad de mantenimiento y reparación, capacidad de crecimiento inherente).

Sus características finales son las que se resumen a continuación (figuras 4 y 5):

- Iluminador de oportunidad: Torrespaña. Señal TDT multicanal (múltiple de 3 canales).
- Geometría: bi-estático (1 TX 1 RX).
- Sistema de antenas: array lineal de dipolos planos responsable de la generación de los canales de vigilancia y una antena *yagi* para la adquisición de la señal de referencia.
- Receptor: COTS *Software-Based Radio boards*.
- Procesador: PC industrial, módulos software en C y Matlab, con ejecución off-line.

En la solución adoptada por el demostrador ha sido necesaria la utilización de una antena independiente para la adquisición del canal de referencia. La utilización del array para la



Fig. 4. De izda. a dcha.: escenario de pruebas definido para el demostrador APIS, emplazamiento del receptor radar (Paracuellos I), iluminador de oportunidad (Torrespaña).



Fig. 5. Antena del demostrador APIS diseñada y construida por Indra.

## en profundidad

generación de los canales de referencia y vigilancia requiere de conversores analógico/digitales con márgenes dinámicos muy elevados, capaces de adquirir la señal directa del emisor de oportunidad y los ecos débiles de los blancos. Estos requisitos no los cumplían las soluciones COTS propuestas para la implementación del demostrador y, dado que la utilización de una antena específica para el canal de vigilancia no introducía ninguna limitación a la demostración de las capacidades de detección y generación de imágenes ISAR pasivas utilizando las técnicas de procesado en *array*, se optó por esta solución.

El demostrador incorpora íntegramente las técnicas de procesado en *array* implementadas para las dos arquitecturas del sistema APIS. Aunque los algoritmos se han implementado en Matlab, se ha realizado un estudio de viabilidad sobre su potencial implementación en GPU (*Graphics Processing Unit*) concluyendo que es posible, debido al elevado grado de paralelización de los algoritmos.

### Análisis del demostrador en el escenario radar definido

A continuación se presentan, a modo de ejemplo, algunos de los resultados obtenidos al detectar y generar imágenes ISAR de aviones Airbus A320, A321 y A340 durante sus maniobras de aterrizaje en la senda sur del aeropuerto de Barajas (figura 6).

La duración de cada adquisición es de 20 s, de los cuales se procesan ventanas de 250ms separadas 500ms. Cada ventana de procesado se denomina PRI (*Pulse Repetition Interval*).

En la figura 7 se muestran las funciones de ambigüedad cruzada obtenidas tras la aplicación de las dos arquitecturas de procesado en *array* implementadas. El Airbus 321 se detecta con ambas arquitecturas, aunque las técnicas SAP que incorpora la arquitectura 1 reducen significativamente el nivel de fondo. La ventaja asociada es más evidente a la hora de detectar el Airbus 320 (más pequeño), pues este avión no se detecta con la arquitectura 2 pero sí con la arquitectura 1. Como valor añadido, manifiesto la capacidad de detectar vehículos circulando en las autovías próximas al aeropuerto de Barajas.

El resultado de superponer las salidas generadas por el detector CACFAR (*Cell Averaging – Constant False Alarm Rate*) para los 40 PRI procesados de los 20 segundos de datos adquiridos se presenta en la figura 8, para la arquitectura 1 y el Airbus 321.

En la figura 10 se muestran ejemplos de imágenes ISAR generadas para un Airbus A320, un Airbus A321 y un Airbus de la familia A340. Se observa cómo es posible una estimación de las dimensiones de las aeronaves, si bien deben tenerse en cuenta una serie de factores que dificultan la interpretación de estas imágenes. Aunque se llaman imágenes, no deben interpretarse como imágenes ópticas, sino como el resultado de la energía retrodispersada por un objeto al ser iluminado por una onda electromagnética de una determinada frecuencia.

La consideración anterior es aplicable a sistemas radar monoestáticos, pero en el caso del radar biestático, la geometría del problema dificulta la interpretación de la imagen utilizando únicamente indicadores geométricos. Se requiere de un estudio profundo que permita identificar las características a extraer de las imágenes generadas con el objetivo de desarrollar clasificadores, a partir de bases de datos reales. El demostrador APIS es un elemento clave para la generación de estas bases de datos.

Airbus	A320	A321	A340
Longitud	37m	44m	63-75m
Envergadura	34m	34m	60-63m

Fig. 6. Dimensiones de los tres aviones detectados durante su maniobra de aterrizaje en el aeropuerto de Barajas

### El radar pasivo en aplicaciones de seguridad y defensa

A continuación se enumeran algunas de las aplicaciones en las que un radar pasivo como APIS podría ser de relevante utilidad:

#### Aplicaciones terrestres

Vigilancia perimetral de infraestructuras estratégicas: refinерías, centrales nucleares, edificios gubernamentales, etc.

Control de accesos no autorizados en áreas restringidas abiertas: zonas de difícil cobertura.

Control de fronteras: zonas de difícil cobertura, complemento de radares activos con posibilidad de clasificación de blancos mediante ISAR.

Radar de baja probabilidad de interceptación (LPI) en entornos militares para clasificación de blancos basada en imágenes.

#### Aplicaciones marítimas

Supervisión del tráfico portuario mediante señales UMTS o LTE (*Long Term Evolution*). El radar pasivo se presenta como una solución eficiente frente a los radares activos (contaminación electromagnética), con

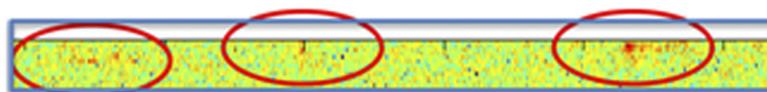
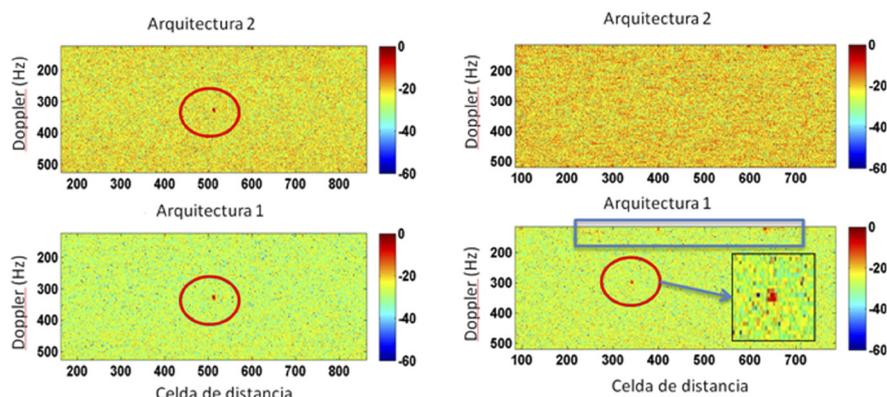


Fig. 8. Detalle de la función de ambigüedad cruzada mostrada en la figura 7 para el Airbus 320 y la Arquitectura 1.

posibilidad de clasificación de blancos mediante ISAR para identificación de situaciones de riesgo, control de embarcaciones de diferente se ha marcado un rectángulo azul en la zona situada en las proximidades del doppler nulo (blancos estacionarios o con velocidades bajas). Un zoom de esta zona se muestra en la figura 8, donde se pone de esloro y tonelaje en vías de navegación compartidas y vigilancia de mercancías peligrosas, contaminantes, etc., en aproximación o tránsito.

Vigilancia costera en zonas de orografía compleja (cabos, rías, islotes, etc.), zonas de difícil cobertura, como complemento de radares activos con posibilidad de clasificación de blancos mediante ISAR.

**Aplicaciones aéreas**

Apoyo a control de tráfico aéreo: complemento de radares activos en zonas de difícil cobertura (valles, coberturas a baja cota), GAP FILLER.

Aplicación en plataformas embarcadas (helicópteros y UAV por su reducido peso y versatilidad de posición): zona de cobertura adaptativa en función del O (iluminador de oportunidad) y trayectoria de la plataforma.

**Otras aplicaciones**

Pronóstico meteorológico local. Control de velocidad de vehículos en zonas de alta densidad de tráfico.

Protección de estaciones de seguimiento de misiones espaciales.

**Conclusiones**

El proyecto APIS (*Array Passive ISAR adaptive processing*) se ha desarrollado en el marco del Programa JIP ICET de inversión conjunta en I+T de Defensa de la EDA sobre “conceptos innovadores y tecnologías emergentes”, del que el Ministerio de Defensa de

España es miembro contribuyente. El consorcio APIS ha estado constituido por seis entidades de cuatro países, en el que la empresa INDRA ha sido líder, y que ha contado también con la participación de la Universidad de Alcalá por parte de España.

La característica principal de APIS, y que constituye su contribución al diseño y desarrollo de radares pasivos en aplicaciones de seguridad y defensa, es la integración en una única plataforma del concepto de radar pasivo, la utilización de técnicas de procesado en *array* y técnicas de procesado espacial adaptativas y la posibilidad de generar imágenes ISAR (*Inverse Synthetic Aperture Radar*) de los blancos detectados con propósitos de clasificación. En concreto, APIS es el primer sistema pasivo capaz de generar imágenes ISAR.

Como valor añadido, el proyecto ha culminado con el diseño, desarrollo y validación en un entorno real de un demostrador como prueba de concepto/viabilidad tecnológica. El caso de estudio definido para el test fue la detección y generación de imágenes ISAR de aviones volando a baja cota, durante las maniobras de aterrizaje y despegue en el aeropuerto de Barajas (Madrid).

Los resultados han demostrado que un radar pasivo que incorpora técnicas de procesado en *array* puede aplicarse en las siguientes tareas:

- Detección y seguimiento de blancos aéreos en escenarios urbanos complejos. Más aún, las pruebas de validación de I demostrador han probado la viabilidad de utilizar el sistema para la detección de blancos terrestres.
- Generación de imágenes ISAR con propósitos de clasificación.

La disponibilidad del demostrador APIS es una pieza clave en el desarrollo de nuevas versiones, debido a la posibilidad que brinda de generar bases de datos de imágenes ISAR de blancos con el objetivo de diseñar estrategias de clasificación, así como bases de datos de *clutter* biestático a frecuencias de sistemas de comunicaciones, cuya caracterización estadística permitirá la mejora de las etapas de detección en entornos especialmente complicados y hostiles.

**Referencias**

[1]. IEEE Standard Radar Definitions. IEEE Aerospace and Electronic Systems Society Sponsored by the Radar Systems Panel (2008). *IEEE Std 686-2008*.

[2]. Howland, P. E. (2005). FM radio based bistatic radar. Radar Sonar and Navigation, *IEE Proceedings*, vol. 152, n3, pp. 107-115.

[3]. Malanowski, M. K. (2008). PaRa-De Passive Radar Demonstrator family development at Warsaw University of Technology. *MRRS-2008 Sym*, pp.22-24.

[4]. Griffiths, H. L. (1986). Television-based bistatic radar. Communications, Radar, and Signal Processing, *IEE Proceedings F*, vol. 133, no. 7, pp 649-657.

[5]. Coleman, C. W. (2008). A practical bistatic passive radar system for use with DAB and DRM illuminators. *Radar Conference 2008, IEEE RADAR'08*, pp. 1-6.

[6]. Zemhari, R. N. (2009). GSM passive radar for medium range surveillance. *EuRAD2009, European Radar Conference*, pp.49-52.

[7]. Petri, D. C. (2009). Ambiguity function study for UMTS Passive Radar. *EuRAD 2009, European Radar Conference*.

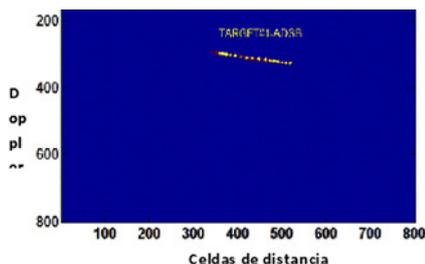


Fig. 9. Detecciones generadas por el CA-CFAR para los 40 PRI procesados en la secuencia de 20 s adquirida durante el aterrizaje del Airbus 321. Para evaluar la calidad de las detecciones aparecen superpuestos los datos proporcionados por un receptor ADSB.

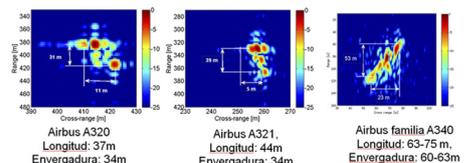


Fig. 10. Imágenes ISAR generadas para un Airbus 320 (izda.), 321 (centro) y 341 (dcha.). Se indican las dimensiones estimadas y las reales.

# Boletín de Observación Tecnológica en Defensa

Disponible en

<http://www.defensa.gob.es/areasTematicas/investigacionDesarrollo/sistemas/#sub5>



 **SOPT**  
SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y  
PROSPECTIVA TECNOLÓGICA



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE DEFENSA

SECRETARÍA  
GENERAL  
TÉCNICA

SUBDIRECCIÓN GENERAL  
DE PUBLICACIONES  
Y PATRIMONIO CULTURAL