

# Boletín

## DE OBSERVACIÓN TECNOLÓGICA EN DEFENSA



SUBDIRECCIÓN GENERAL DE TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN  
Boletín de Observación Tecnológica en Defensa nº 32 • 3º Trimestre de 2011

### Aplicación de técnicas de inteligencia artificial a la detección radar

### EDA JIP-FP: proyecto MUSAS

- El programa de I+D SIRAMICOR
- Cámaras de infrarojo y visión nocturna con nanoestructuras cuánticas
- RTO-IST-080: radio definida mediante *software*



Edita:



NIPO: 075-11-165-4 (papel)

NIPO: 075-11-164-9 (en línea)

Depósito legal: M-8179-2009

**Autor:** Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT), Subdirección General de Tecnología e Innovación (SDG TECIN) 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. **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): T.Col. Alfredo Fernández López, 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): Col. CIP Manuel Engo Nogués; Observatorio de Tecnologías de la Información, Comunicaciones y Simulación (OT TICS): Ing. D. Francisco Javier López Gómez, Fernando Cases Vega, Nuria Barrio Santamaría.

**Portada:** imagen del vehículo no tripulado (UGV), artículo "EDA JIP-FP: Proyecto MUSAS" (fuente: GMV).

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/areasTematicas/investigacionDesarrollo/sistemas/>



DGAM  
Subdirección General de Tecnología e Innovación

## CONTENIDOS

### 3 Editorial

#### Actualidad

4 Resultados del Programa COINCIDENTE 2011

5 **Enlaces de interés:** nuevas monografías del SOPT

6 Jornada informativa sobre el EFC-JIP-CBRN

#### Tecnologías Emergentes

7 Cámaras de infrarrojo y visión nocturna con nanoestructuras cuánticas

### 9 Agenda

10 RTO-IST-080: radio definida mediante *software*

12 EDA JIP-FP: Proyecto MUSAS

14 El programa de I+D SIRAMICOR

#### En profundidad

18 Aplicación de técnicas de inteligencia artificial a la detección radar

## Co-opetencia

En el contexto de globalización en el que vivimos, el desarrollo económico sostenible solo puede sustentarse sobre la generación de conocimiento. La investigación, la innovación y la educación son los tres pilares del triángulo que lo sustenta.

Al introducirse en el proceso de innovar, resalta como propiedad intrínseca la de su visión abierta, ya que, muy pocas veces o nunca, los nuevos conocimientos necesarios están en la propia empresa. La cooperación, que permite una colaboración activa con otros socios tecnológicos en proyectos conjuntos de I+D+i, multiplica las posibilidades de éxito y redimensiona la propia capacidad competitiva de la entidad, permitiéndole aspirar a unos objetivos cada vez más ambiciosos. Esto es especialmente útil en las pymes que descubren las ventajas de trabajar mano a mano con el mundo científico.

Por todo ello, la innovación abierta avanza traspasando las paredes de las propias empresas, para establecer unos lazos de colaboración, que además y como característica omnipresente en nuestro sector, deben tener una alta dualidad y flexibilidad, ya que necesitan a la vez cooperar y competir, simultánea-

mente (co-opetencia) entre ellas, tanto en la generación de la tecnología como en su incorporación a la producción.

En este contexto de co-opetencia está el recientemente evaluado programa COINCIDENTE de la DGAM, donde los consecuentes contratos establecerán como entrega final un demostrador tecnológico para su evaluación. La ventaja de este modo de actuación radica en focalizar la innovación en unas necesidades específicas, cuyos progresos pueden ser supervisados por la Administración. Así, al financiar la innovación en el campo de la seguridad y la defensa se brinda a la industria una excelente oportunidad para desarrollar nuevas tecnologías y le proporciona un marco de cooperación entre las universidades y las empresas del tejido industrial de nuestro sector. Además, este marco les permite colaborar con los institutos de Defensa, para poder sacar adelante unos proyectos que repercutirán en la mejora de su productividad, en su expansión, en mejorar sus exportaciones y en destacar su excelencia.

# Actualidad

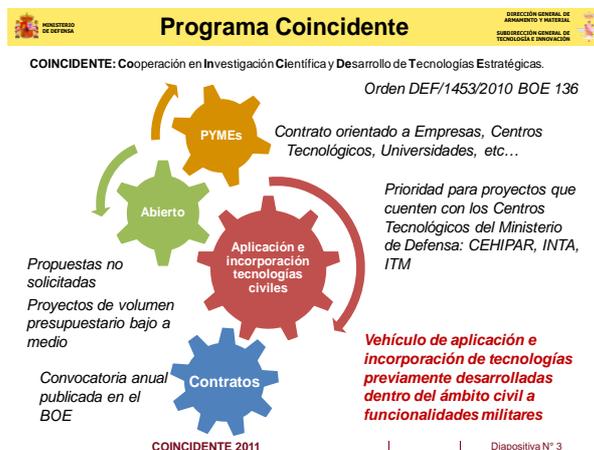
## Resultados del Programa COINCIDENTE 2011

Pedro Carda Barrio, SOPT

La convocatoria 2011 del Programa Coincidente (para más información, consultar la editorial del Boletín 31 y [www.defensa.gob.es/areasTematicas/investigacionDesarrollo/programas/programa-coincidente/](http://www.defensa.gob.es/areasTematicas/investigacionDesarrollo/programas/programa-coincidente/)) fue publicada en el BOE con fecha 19 de mayo de 2011. En dicha convocatoria se contemplaba un plazo de un mes para la presentación de propuestas. Una vez finalizado dicho plazo, se recibieron un total de 111 propuestas que cumplieran con los requisitos incluidos en la convocatoria.

En la mayor parte de las propuestas se presentaron consorcios de diferentes tipos de entidades, entre los que participaron 40 grandes empresas, 50 pymes y 47 universidades y centros tecnológicos. De las 111 propuestas, 51 de ellas contaban con la participación o colaboración de algún Instituto Tecnológico del Ministerio de Defensa (28 con el ITM, 16 con el INTA y 3 con el CEHIPAR) u otro de sus organismos (IGESAN, MAAA, DISA, SDG TIC, MADOC, CLAEX, 4º Tercio de la Legión, Comandancia MCM de la Armada, etc.).

Los temas abordados por las propuestas recibidas están alineados con las áreas prioritarias establecidas en la



convocatoria y se centran fundamentalmente en:

- Sistemas de ayuda a la detección de C-IED y agentes NBQ.
- Sistemas aéreos no tripulados, bien referidos a la plataforma completa, a alguno de sus subsistemas o a la carga de pago.
- Comunicaciones tácticas, fundamentalmente basadas en radio software.
- Sistemas de información (interoperabilidad, seguridad, funcionalidades de gestión de vídeo, etc.)
- Simuladores para adiestramiento y apoyo a la decisión.
- Diferentes tipos de sensores (opto-electrónicos, radar, etc.), y su integra-

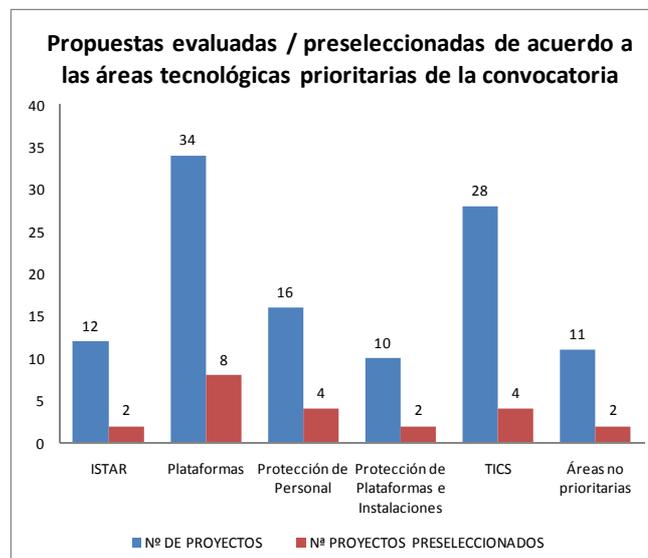
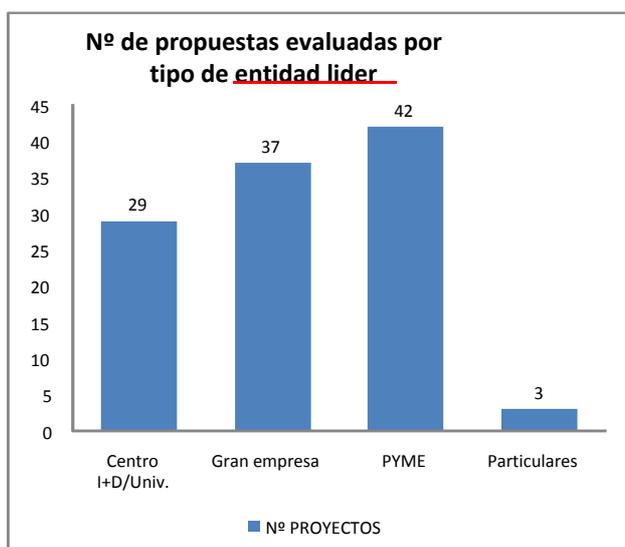
ción en sistemas.

- Empleo de energía fotovoltaica en sistemas convencionales.
- Pilas de combustible para suministro de energía eléctrica.
- Materiales para protección personal y de sistemas.
- Robots terrestres (vigilancia, apoyo en catástrofes, etc.) y navales (lucha contra minas, etc.).

El Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT) de la SDG TECIN fue el encargado de realizar la evaluación de las propuestas recibidas, siguiendo los criterios establecidos por la DGAM en la convocatoria pública:

1. **Interés tecnológico.** Se valoró el interés tecnológico de la propuesta analizando en qué medida, los trabajos y resultados esperados se encuentran alineados con las prioridades tecnológicas establecidas en la presente convocatoria. Igualmente se valoró el planteamiento propuesto para la adecuada puesta en mercado de los resultados generados y la forma en que esta impacta en la consecución de los objetivos tecnológicos marcados.

2. **Interés para Defensa.** Se valoró la adecuada descripción y de-



finición del alcance de las funcionalidades militares que incorpora el proyecto y su respuesta a las necesidades militares actuales y futuras.

3. **Carácter innovador del proyecto** en lo que se refiere a la aplicación de las tecnologías al ámbito militar. Se valoró la inclusión de una descripción del estado del arte actual de las tecnologías en las que se basa la propuesta dentro del ámbito militar y valor añadido así como la componente de innovación que ofrece el proyecto.

4. **Calidad y viabilidad técnica.** Se analizó el riesgo tecnológico que se asume en la realización del proyecto para lo que se tuvieron en cuenta tanto los objetivos del proyecto como la experiencia y proyectos de I+D previos y

capacidades tecnológicas de las entidades participantes.

5. **Medios de colaboración con Defensa.** Se valoró, en caso de existir, las colaboraciones con, o participación de, centros de investigación del Ministerio de Defensa y/o de usuarios finales del Ministerio de Defensa.

6. **Aspectos de gestión.** Se valoró la adecuación de paquetes de trabajo y actividades tanto al alcance del proyecto como a los resultados esperados en el mismo. Igualmente se valoró el establecimiento de un calendario acorde con los objetivos del proyecto, considerando el grado de avance en las diferentes fases o hitos del proyecto.

7. **Viabilidad económica y financiera del proyecto.** Se conside-

raron aspectos tales como la adecuación del presupuesto a los objetivos del proyecto, su alcance y resultados esperados. Se valoró igualmente la adecuación del plan de financiación propuesto con los objetivos y funcionalidades militares incorporadas al proyecto.

La evaluación se realizó cumpliendo los plazos estipulados y, como resultado, se preseleccionaron un total de 23 proyectos (se pueden consultar en: [www.defensa.gob.es/Galerias/areasTematicas/investigacionDesarrollo/fichero/DGM\\_proyectos\\_preseleccionados\\_coi\\_ncidente2011.pdf](http://www.defensa.gob.es/Galerias/areasTematicas/investigacionDesarrollo/fichero/DGM_proyectos_preseleccionados_coi_ncidente2011.pdf)).

El paso siguiente será iniciar las negociaciones con las entidades responsables de los proyectos preseleccionados.

## enlaces de interés

### Nuevas monografías del SOPT

Durante este año se han publicado varias nuevas monografías del SOPT, contando ya la colección con 9 números. Las monografías se pueden descargar de Internet en: <http://publicacionesoficiales.boe.es/> (buscando por Colección "Monografías del SOPT").

Y de la Intanet del Ministerio de Defensa en:

- Sistema de Gestión del Conocimiento Tecnológico de la DGAM: <http://observatecno/observatorios/?q=node/99>
- Centro de Publicaciones de Defensa -> Publicaciones electrónicas de Defensa:

- <http://portal.mdef.es/portalspublicaciones/docs/docPublicaciones/index.html>

Los títulos disponibles de la Colección de Monografías del SOPT son:

1. UAS "Unmanned Aircraft System" Sobre su integración en el espacio aéreo no segregado.
2. La Guerra electrónica en España.
3. Network Centric Warfare / Network Enabled Capability.
4. Detección e Identificación de Material Nuclear y Radiológico. Estado de Arte y Tendencia Futura. 2009.
5. 5 Años de Boletín de Observación Tecnológica de Defensa.
6. Detección e Identificación de Agentes de Guerra Biológica. Estado del Arte y Tendencia Futura.
7. Jornada Monográfica: Materiales Textiles y Tejidos Multifuncionales.
8. Tecnologías de Semiconductores GaN Y SiC. Edición Actualizada 2010.
9. Los Metamateriales y sus aplicaciones en Defensa.

Y próximamente se publicarán:

10. Jornada monográfica "Sistemas de generación de energía y eficiencia energética en operaciones internacionales".
11. Detección e Identificación de Agentes de Guerra Química. Estado del Arte y Tendencia Futura.



## Jornada informativa sobre el EFC-JIP-CBRN

Angélica Acuña Benito, OT NBQ



El pasado 14 de septiembre de 2011, se celebró la Jornada informativa sobre el Programa de inversión conjunta en Defensa NBQR, EFC-JIP-CBRN, organizada por la Subdirección General de Tecnología e Innovación (SDG TECIN) y el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) donde tuvo lugar el evento.

Como en otras jornadas informativas organizadas por la SDGTECIN, el objetivo que se persigue es promover la cultura de I+D en Defensa, tanto dentro como fuera del Ministerio, e informar sobre las oportunidades que puedan surgir para la colaboración y el desarrollo de nuevos programas y proyectos de carácter nacional e internacional en el área de Defensa.

El JIP-CBRN, desarrollado dentro del nuevo marco de cooperación europeo (*European Framework Cooperation*) para la coordinación de las actividades de la EDA con las de la Comisión Europea y la Agencia Espacial Europea, evidencia la preocupación a nivel europeo que supone la amenaza NBQR. La complejidad de esta amenaza demanda el aporte de soluciones en diferentes áreas de capacidad: conciencia situacional (incluyendo detección e identificación de agresivos químicos y biológicos), descontaminación, modelado y simulación, integración de información, así como protección individual y colectiva. Este JIP es el primero de una serie de iniciativas encaminadas a la coordinación de las inversiones conjuntas de I+D en el ámbito europeo para obtener soluciones útiles tanto en Defensa como en Seguridad, aumentando las sinergias civil/militar.

Los JIPS son programas singulares que persiguen el desarrollo de un conjunto de objetivos tecnológicos a

partir de un fondo económico aportado por los países participantes. A diferencia de otros programas de la EDA, de este fondo económico común, se financian proyectos a consorcios multinacionales, que participan en competencia abierta. Todo esto no puede estar más en línea con el espíritu del Mercado Europeo de la Defensa. Se trata de fomentar sinergias y futuros consorcios que resulten en soluciones conjuntas para las fuerzas y cuerpos de seguridad de las naciones participantes. Para el tejido industrial y tecnológico nacional, supone una oportunidad de conseguir financiación de proyectos en áreas de interés para Defensa y facilitar el contacto con homólogos europeos de forma que se establezcan redes de colaboración que marquen el inicio del desarrollo de una base tecnológica e industrial europea sólida y competitiva.

La participación en este programa además permitirá el aumento de la competitividad de las empresas nacionales en futuros concursos, tanto nacionales como internacionales.

España lleva participando en este tipo de programas desde el 2007. El primero de ellos fue el JIP *Force Protection*, para la mejora de las capacidades de "Protección de la Fuerza" en entorno urbano y el segundo el JIP ICET, sobre conceptos innovadores y tecnologías emergentes. Ambos proyectos despertaron el interés de entidades españolas, no sólo de grandes empresas, sino también de pymes y de centros de I+D y de la

universidad. De los 30 proyectos contratados en el marco de estos JIPs, 11 cuentan con la participación nacional y en 7 de ellos lidera España, obteniendo un nivel de retorno superior a nuestra aportación en ambos programas.

A la jornada asistieron más de 20 entidades diferentes, no sólo de la industria sino también de centros de investigación y Universidad, lo que indica el interés que el I+D de Defensa está cobrando en este tipo de entidades que hasta hace poco estaban más enfocados al sector civil.

Las presentaciones están disponibles en la intranet de Defensa en la dirección:

<http://observatecno/observatorios/?q=node/1753>

y en la página web del Ministerio de Defensa, en la siguiente dirección:

<http://www.defensa.gob.es/areasTematicas/investigacionDesarrollo/colaboracion/>

El 15 de septiembre se celebró un *workshop* en la EDA sobre el EFC-JIP-CBRN, cuyo objetivo era por un lado reunir a los actores de los diferentes marcos (EDA, CE y ESA) para tratar cómo llevar a cabo la transferencia de información y por otro lado intercambiar ideas con la industria sobre los temas de la primera llamada del JIP. Para más información sobre este *workshop* visitar

<https://extranet.eda.europa.eu/Forums/ForumSubscriptions1.aspx>.



Fig. 1. Clausura de la jornada.

# Tecnologías emergentes

## Cámaras de infrarrojo y visión nocturna con nanoestructuras cuánticas

Álvaro de Guzmán Fernández, ISOM

El Instituto de Sistemas Optoelectrónicos y Microtecnología (ISOM), perteneciente a la Universidad Politécnica de Madrid, posee una línea de investigación muy activa centrada en el desarrollo de detectores cuánticos de infrarrojo (IR) basados en nanoestructuras para su aplicación en cámaras de IR y visión nocturna. Empleando aleaciones de GaAs (arseniuro de galio) con aluminio e indio, se pretende desarrollar una nueva generación de dispositivos con una serie de importantes ventajas respecto a los detectores actualmente existentes.

Una de estas ventajas es la gran selectividad que poseen, ya que es posible sintonizar la absorción del dispositivo en una región muy estrecha del IR (~0,5  $\mu\text{m}$ ) mediante un correcto diseño de su estructura de bandas. Esta región puede centrarse en un amplio espectro entre 1  $\mu\text{m}$  y 30  $\mu\text{m}$ . De esta manera, los detectores cuánticos de IR pueden emplearse en la detección

de gases contaminantes diseñando su espectro de absorción para que coincida con el pico principal del gas que se pretende detectar. Midiendo la intensidad de la señal recibida, se puede estimar de forma cuantitativa la concentración de gas presente. Esta propiedad de selectividad también tiene un gran interés en la detección remota de incendios, la clasificación de blancos o la alerta temprana de amenazas. En este caso, es posible diseñar y construir detectores sensibles a varias bandas estrechas dentro del intervalo IR. Analizando las intensidades relativas recibidas en cada una de las bandas puede ser posible distinguir los blancos, ya que cada combustión presenta una huella característica (incendio forestal, salida de gases de un motor jet, salida de gases de un motor cohete, calor emitido por el rozamiento de un objeto con el aire, etc.).

Otra de las ventajas que hacen muy atractivos a este tipo de detectores es su facilidad de fabricación y procesamiento. La tecnología del GaAs se encuentra actualmente muy consolidada y es posible fabricar capas de material con alta homogeneidad. Los costes asociados al procesamiento para obtener detectores individuales o matrices para cámaras de IR son relativamente

bajos cuando se comparan con otros materiales como el HgCdTe, donde su fragilidad y reducida homogeneidad incrementan mucho dichos costes. Además, para cubrir el espectro IR entre 1  $\mu\text{m}$  y 30  $\mu\text{m}$  con los detectores tradicionales, es necesario recurrir a diversos sistemas de materiales: InSb, PdSe, HgCdTe, InGaAs, Si, Ge, etc. Con los detectores cuánticos de IR, y mediante un correcto diseño, se puede obtener detección en cualquier longitud de onda.

Además, estos detectores permiten una alta velocidad de detección. Las leyes físicas predicen tiempos de respuesta del orden de los nanosegundos, mientras que los detectores tradicionales pueden presentar tiempos que varían entre los microsegundos y algunos segundos. Esto es particularmente importante si se pretende desarrollar cámaras que permitan observar movimientos rápidos.

No obstante, a pesar de estas ventajas, los detectores cuánticos de IR también poseen algunos inconvenientes que dificultan su uso a nivel industrial y comercial. Concretamente, los dispositivos basados en pozos cuánticos (capas finas de InGaAs de entre 3 y 15 nm embebidas dentro de la red cristalina del GaAs) poseen algunos factores que afectan a su apli-

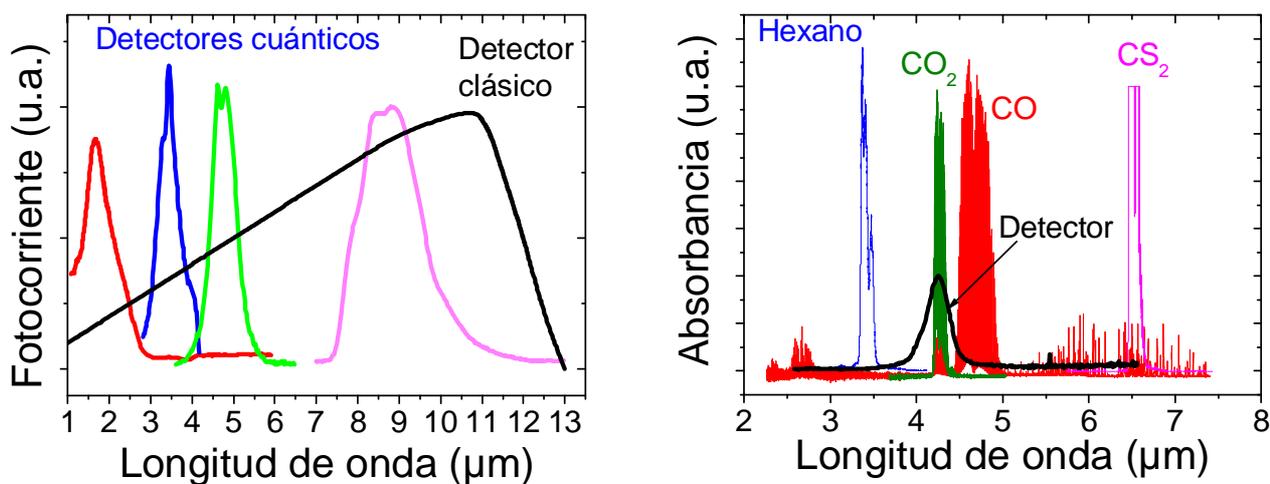


Fig. 1. a) Diferencia entre un detector clásico y los detectores cuánticos. Estos últimos presentan una anchura espectral muy estrecha, b) la selectividad de estos detectores los hace muy apropiados para la detección de gases o el reconocimiento de emisiones IR.

cación directa en sistemas comerciales de amplia difusión.

El más limitante de estos inconvenientes es la ausencia de absorción cuando la luz alcanza el detector con incidencia normal (90° respecto a la superficie del mismo). Esto afecta especialmente a las matrices de plano focal para ser empleadas en cámaras de IR. Se han estudiado numerosas alternativas para evitar este problema, encontrándose que la solución viene nuevamente de mano de la nanotecnología. La técnica más efectiva hallada hasta la fecha consiste en depositar una red de difracción sobre la superficie de los detectores. Dicha red dispersa la luz incidente, permitiendo que un alto porcentaje de la misma sea absorbido por el detector. Estas redes de difracción están compuestas por motivos de tamaño nanométrico (entre 100 y 300 nm) regularmente repetidos sobre la superficie y con un patrón definido.

Otro inconveniente importante es la necesidad que tienen estos detectores de trabajar a muy bajas temperaturas (-196°C). Este problema, compartido por muchos otros tipos de detectores de IR, solamente es salvable mediante el uso de sistemas de criogenia (refrigeradores) que mantengan al detector o a la matriz a la temperatura de trabajo. Estos sistemas son por lo general caros, pesados y difíciles de transportar, por lo que se precisa desarrollar algún tipo de tecnología que permita solucionar este problema de manera más eficiente.

### Desarrollo de detectores y matrices de detectores

En el ISOM se han desarrollado con éxito tanto detectores individuales como matrices para ser empleadas en cámaras de IR y de visión nocturna. Se han utilizado pozos cuánticos con sistemas de criogenia y redes de difracción para superar los inconvenientes propios de estas estructuras,

Gracias a la financiación de los Ministerios de Educación (programa CICYT), Industria (programa TRACTOR) y Defensa (programa COINCIDENTE), y a la colaboración que el ISOM mantiene con el Instituto Tecnológico La Marañosa (ITM), la empresa española Indra s.a. y universidades españolas y extranjeras, ha sido posible obtener detectores con responsividad de 0,5 A/W, anchura espectral de 0,5  $\mu\text{m}$  y operación en las 2ª y 3ª ventanas de transmisión atmosférica (3-5  $\mu\text{m}$  y 8-12  $\mu\text{m}$ ). También se han fabricado detectores multicolor (sensibles a varias longitudes de onda) y matrices de plano focal con respuesta espectral en 3 colores. Dichas matrices han sido hibridadas con circuitos integrados de silicio para la lectura y el procesamiento de la señal dando lugar a un sistema integrado de detección que puede ser usado como elemento activo en cámaras de visión nocturna.

### Hacia la detección de IR de alta eficiencia a temperatura ambiente

La principal actividad dentro de las líneas actuales de investigación en IR del ISOM consiste en el desarrollo de

detectores cuánticos con posibilidad de trabajar a temperatura ambiente y en condiciones de incidencia normal con alta eficiencia.

Para ello se están estudiando detectores que, en lugar de pozos cuánticos, emplean nanoestructuras tridimensionales formadas por pirámides o semi-esferas de InGaAs enterradas en la red cristalina del GaAs. Estas estructuras, llamadas puntos cuánticos, poseen dimensiones entre 5 y 50 nm, lo cual les confiere unas propiedades muy interesantes. La teoría predice que los detectores con puntos cuánticos en su interior deberían operar a temperaturas más altas, permitiendo la absorción de luz en incidencia normal. Además, variando las aleaciones empleadas para cubrir los puntos (añadiendo por ejemplo Sb en una fracción molar entre el 3 y el 20%), se puede incrementar la respuesta de los detectores gracias al particular alineamiento de su estructura de bandas.

Por otro lado, también se emplea la técnica conocida como "modulación de dopaje" para conseguir perfiles de potencial asimétricos que permitan trabajar al dispositivo con tensión de polarización de 0 V (modo fotovoltaico). En estas condiciones, la corriente de oscuridad es muy baja, por lo que el ruido eléctrico es mínimo y la detectividad del dispositivo se incrementa de manera notable.

Combinando adecuadamente todas estas técnicas, ha sido posible realizar detectores con picos de absorción que se mantienen hasta los 180K (-93°C), temperatura muy superior a la necesaria para el funcionamiento de los dis-

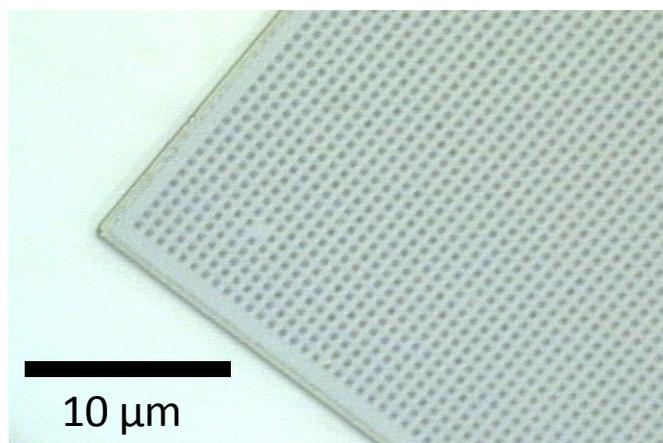
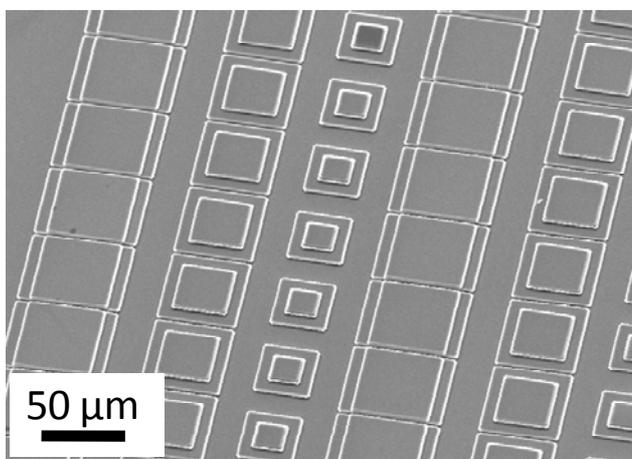


Fig. 2. a) Aspecto exterior de un detector con red de difracción en superficie, b) matriz de píxeles para detección en tres bandas del IR.

positivos de pozo cuántico.

Finalmente, gracias a la colaboración que el ISOM mantiene con el Dr. D.A. Cardimona del *Air Force Research Laboratory* (AFRL, USA), el Instituto está investigando también la posibilidad de incrementar la temperatura de funcionamiento de estos detectores mediante nuevos procedimientos de procesado aplicados a detectores de pozo cuántico.

Generalmente, estos detectores se procesan para su operación con dos terminales. En esta nueva configuración se están desarrollando estructuras con más de dos terminales que permitan bloquear la alta corriente de oscuridad presente a temperatura ambiente, utilizando campos eléctricos externos. Medidas preliminares realizadas sobre estas estructuras han mostrado picos de absorción muy débiles a temperatura ambiente, en longitudes de onda acordes con los cálculos teóricos. Los prometedores resultados obtenidos nos permiten ser optimistas a la hora de considerar esta técnica como una posible solución futura al problema de las bajas temperaturas de trabajo.

La aplicación de todas estas nuevas tecnologías en la industria es una cuestión de tiempo. En la actualidad, existen empresas en EE.UU. y Europa que ofertan matrices de plano focal

basadas en detectores cuánticos. Dichas matrices detectan generalmente en una única longitud de onda y necesitan de un sistema de criogenia para refrigerar los detectores, empleando además redes de difracción para obtener absorción en incidencia normal. No obstante, al tratarse de una tecnología híbrida (los detectores se fabrican en GaAs y la electrónica en Si), es posible mejorar las características de los dispositivos sin realizar prácticamente modificaciones en la electrónica. De esta manera se pueden aprovechar diseños anteriores o circuitos integrados comerciales para realizar la hibridación posterior. El ISOM, junto con sus colaboradores externos, ha realizado una labor de transferencia de tecnología a la industria para intentar extender el mercado a dispositivos multicolor, de bajo ruido y con operación a temperaturas más altas. Se espera que a lo largo de esta década puedan encontrarse matrices y cámaras comerciales con estas características.

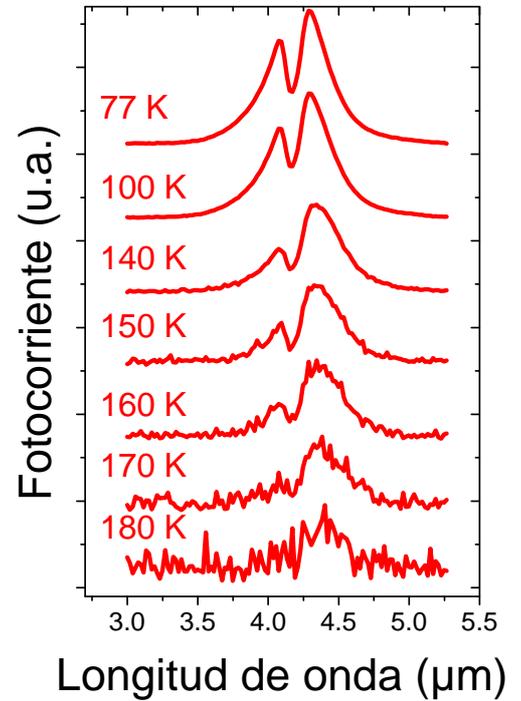


Fig. 3. Respuesta de un detector fotovoltaico con modulación de dopaje donde se observa respuesta hasta 180K (-93°C)

## agenda

### Seminario "Aspectos técnicos, sociales y económicos de la tecnología del hidrógeno"

8 de noviembre de 2011, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid

Inscripciones en [cinttec@urjc.es](mailto:cinttec@urjc.es)

### V Asamblea General de la plataforma Fotónica21

10 y 11 de noviembre de 2011, Barcelona

Más información en: [www.fotonica21.org](http://www.fotonica21.org) y [www.icfo.es](http://www.icfo.es)

### CD&E Conference 2011

Del 14 al 17 de noviembre, Lisboa (Portugal)

<http://www.act.nato.int/cde>

### TNT 2011, Trend in Nanotechnology

Del 25 al 27 de noviembre de 2011, Tenerife

<http://www.tntconf.org/2011/index.php?conf=11>

### Conferencias sobre la "Situación de la I+D+i de Defensa y Seguridad" y II Jornadas de Transferencia de Tecnología en Defensa y Seguridad

30 de noviembre de 2011, ITM, Madrid

Inscripciones: [www.syd2011.b2b-match.com](http://www.syd2011.b2b-match.com)

Más información: [een@madrimasd.org](mailto:een@madrimasd.org)

## RTO-IST-080: radio definida mediante software

Alberto Quintana Ocaña, Indra Sistemas

Durante los últimos años se ha puesto de manifiesto que la radio definida por software (SDR, *Software Defined Radio*) es una tecnología imprescindible dentro del nuevo panorama de las comunicaciones tácticas. Debido a su importancia, a finales de 2005 la NC3A (*NATO Consultation, Command and Control Agency*) publicó un artículo en el cual se pedía la colaboración dentro del entorno OTAN para investigar la tecnología SDR. Esta llamada se tradujo en la formación de varios grupos de trabajo, entre los que se encuentra el grupo RTO-IST-080, enmarcado bajo el panel de Tecnologías de Sistemas de Información de la RTO de la OTAN. El grupo de trabajo ha contado con la participación activa de representantes gubernamentales e industriales de varios países, entre los que se encuentran Alemania (FKIE y Telefunken), Dinamarca (DALO), Italia (Selex), Noruega (FFI), Turquía (Tubitak) y España (DGAM e Indra).

A continuación se presentan algunos de los principales conceptos vinculados a la tecnología SDR sobre los que se ha articulado el grupo de trabajo, así como los principales resultados de las actividades del mismo.

### SDR y arquitectura SCA

El *Wireless Innovation Forum*, en colaboración con el IEEE define la SDR como "La radio en la cual una parte o todas las funciones de la capa física de comunicaciones (según la arquitectura OSI) están definidas mediante software".

La tecnología SDR permite el diseño flexible de plataformas radio genéri-



cas. Estas plataformas pueden adaptarse a las necesidades específicas de la misión mediante la carga de formas de onda específicas como si de aplicaciones software se tratara.

Con el objeto de facilitar el desarrollo y la portabilidad de este tipo de aplicaciones, se define la arquitectura de comunicaciones software SCA (*Software Communication Architecture*), especificada originalmente dentro del programa militar americano *Joint Tactical Radio System (JTRS)*.

A continuación se describe la versión 2.2.2 de la arquitectura, tomada como referencia durante el desarrollo de las actividades del grupo. Sin embargo, actualmente existen iniciativas que buscan complementar y actualizar ciertos aspectos de la SCA 2.2.2. Es el caso de la arquitectura *ESSOR* en Europa, o la propia *SCANext* del programa *JTRS*.

La SCA es una arquitectura marco que especifica a los diseñadores de sistemas de comunicaciones cómo deben operar los elementos hardware y software entre sí. Para ello establece una frontera clara entre lo que es la plataforma radio (hardware + software), de lo que son las aplicaciones de comunicaciones (denominadas formas de onda). Los mecanismos de interacción de las aplicaciones con la plataforma y con el resto de aplicaciones vienen definidos mediante un conjunto de APIs (*Application Programming Interfaces*), facilitando la portabilidad entre plataformas que sean SCA-compatibles. Por otro lado la SCA define el entorno operativo de la radio, como el conjunto de funcionalidades mínimas que debe ofrecer a las aplicaciones. Estas funcionalidades incluyen la gestión, despliegue, configuración y con-

trol tanto de la plataforma como de las formas de onda.

La figura 1 muestra los diferentes componentes de la arquitectura SCA.

Como resumen puede decirse que las principales ventajas que ofrece la arquitectura SCA y la SDR son:

- **Portabilidad:** Es la facilidad con la que un componente (forma de onda) puede ser trasladado de un entorno hardware o software (por ej. terminal radio) a otro diferente.
- **Reconfigurabilidad:** Es la capacidad de cargar y configurar diferentes componentes (formas de onda) sobre un mismo terminal, sin realizar ninguna modificación al hardware subyacente.
- **Interoperabilidad:** Es la capacidad de dos componentes de intercambiar información de acuerdo a un protocolo previamente establecido entre ambos.

### Actividades realizadas

El principal objetivo del grupo de trabajo ha sido evaluar hasta qué punto la combinación SDR/SCA facilita la portabilidad de las aplicaciones de forma de onda, habilitando la interoperabilidad entre sus diferentes implementaciones. Para la evaluación se realizó un caso práctico con la implementación de una forma de onda real basada en el STANAG 4285. Este estándar define una capa física para comunicaciones en la banda de HF. Debido a la variabilidad del canal en esa banda, el 4285 ofrece siete modos o configuraciones diferentes, con velocidades que van desde los 75 bps hasta los 2500 bps. Cada una de estas configuraciones combina diferentes esquemas de modulación (2/4/8-PSK), tasas de codificación de canal (1/16 hasta 2/3), y longitudes de entrelazado.

La evaluación se realizó en tres actividades que se describen a continuación.

### Modelado e implementación

Durante esta actividad, las diferentes organizaciones realizaron sus propias implementaciones SCA del STANAG 4285. Para ello se utilizaron diferentes herramientas con el fin de evaluar la madurez de los productos disponibles en el momento de la realización de las pruebas. En este punto Indra contribuyó con su experiencia con las herramientas utilizadas durante el desarrollo del demostrador nacional de radio software TERSO [3].

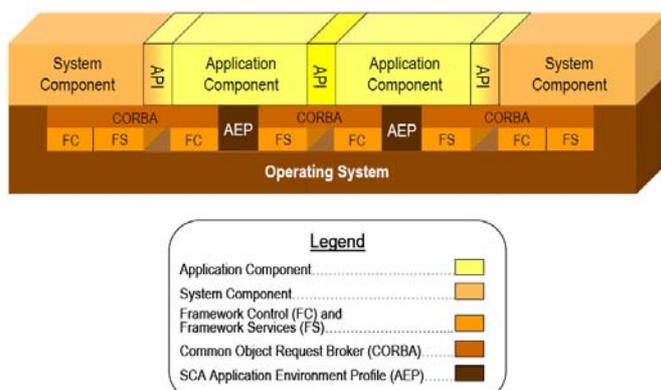


Fig. 1. Elementos de la arquitectura SCA 2.2.2.

Con el objetivo de evaluar la sobrecarga que produce la utilización de la arquitectura SCA, se realizaron varios diseños con diferentes niveles de granularidad, midiendo los recursos consumidos en cada caso. El análisis dio algunos resultados significativos. Concretamente, ciertos diseños contenían componentes con una carga de procesamiento dedicada a la arquitectura mayor que la dedicada al procesamiento de señal. Este tipo de comportamiento indica que a la hora de realizar el diseño hay que ser cuidadoso con las funciones de procesamiento que se modelan como componentes SCA. Estos componentes deben tener una entidad de procesamiento suficiente como para justificar su existencia como recurso independiente. De lo contrario existe el riesgo de malgastar más recursos en las interacciones entre componentes, que en el procesamiento de la forma de onda en sí. Este comportamiento está en línea con lo observado durante el desarrollo del proyecto del programa COINCIDENTE TERSO, donde se optó por un diseño para las formas de onda de prueba que buscaba un compromiso entre prestaciones y reusabilidad de los componentes.

La figura 2 presenta tres diseños SCA del transmisor con diferente granularidad. El bloque en azul representa la implementación en C y por tanto la referencia de consumo en cuanto a recursos de procesamiento. El primer diseño en amarillo representa una implementación monolítica en un solo componente SCA, mientras que el diseño inferior tiene un total de diez componentes. Los cuatro últimos bloques de este diseño simplemente retransmiten las muestras de señal. El objetivo de introducir estos bloques es evaluar la sobrecarga debida al código "no funcional" inherente a la utilización de la arquitectura SCA. Puede obser-

verse que la simple introducción de la arquitectura SCA no tiene un impacto significativo en el caso de un diseño de baja granularidad como el monolítico del primer caso. Sin embargo el impacto empieza a ser mayor a medida que aumenta la granularidad del diseño.

**Pruebas de interoperabilidad**

Durante esta actividad se realizaron las pruebas de interoperabilidad entre las diferentes implementaciones realizadas. Los países participantes fueron Alemania (FKIE), Noruega (FFI) y Turquía (Tubitak). Para probar la interoperabilidad se definieron tres escenarios:

- Intercambio de ficheros de muestras
- Comunicación por cable: usando la tarjeta de sonido para la transmisión en frecuencia intermedia mediante cable.
- Comunicación por aire: Este escenario es equivalente al anterior pero hace uso de un altavoz (Tx) y un micrófono (Rx).

Las pruebas de interoperabilidad entre las diferentes implementaciones fueron satisfactorias en la mayoría de los casos. Los problemas encontrados se debieron principalmente al soporte del HW de audio en los diferentes entornos operativos.

**Portabilidad del código**

Durante esta actividad se evaluó el esfuerzo realizado durante la portabilidad entre los diferentes entornos operativos. Las herramientas utilizadas durante el desarrollo usan aproximaciones diferentes para la integración del código de procesamiento dentro de los componentes SCA. Estas diferencias hacen que trasladar los diseños entre herramientas asociadas a un entorno sea un proceso algo costoso. Durante el diseño es conveniente mantener

aislado el código de procesamiento de la forma de onda del resto de código de infraestructura SCA generado de manera automática por las herramientas de desarrollo. De esta manera a la hora de portar el código puede trasladarse únicamente la parte funcional. Adicionalmente las herramientas pueden

hacer un uso específico del middleware de comunicaciones, requiriendo la modificación de parte del código si el nuevo entorno utiliza un middleware diferente.

**Conclusiones**

Durante las actividades realizadas se ha podido observar que la SCA facilita el desarrollo de aplicaciones de comunicaciones de manera estándar, al definir una serie de normas y reglas para su diseño.

El éxito en las pruebas de interoperabilidad demuestra que la aproximación de utilizar una forma de onda de referencia (*Base Waveform*) a partir de la cual se realizan las diferentes implementaciones finales (*Target Waveforms*) minimiza los posteriores problemas de interoperabilidad entre las distintas implementaciones. Esta metodología de desarrollo de formas de onda está siendo utilizada en otras iniciativas internacionales sobre SDR en las que participa España (por ej. Programa ESSOR, *European Secure Software Defined Radio*).

Se ha comprobado que las aplicaciones SCA son fácilmente portables entre diferentes entornos, siempre que se respeten unas mínimas reglas a la hora de realizar el diseño y escribir el código, como por ejemplo no utilizar extensiones propias del entorno que se esté utilizando.

A la hora de realizar el diseño de la forma de onda hay que buscar un balance en la granularidad, de manera que se favorezca la reutilización de los componentes sin penalizar el rendimiento global de la aplicación debido a la sobrecarga introducida por la arquitectura.

Las conclusiones y lecciones aprendidas del grupo de trabajo están alineadas con los resultados obtenidos en el programa nacional TERSO, y se están teniendo en cuenta en otras iniciativas de SDR en las que Indra participa, como el programa de SDR europeo ESSOR.

**Referencias**

[1] RTO, "RTO-IST-080 – Software Defined Radio – Final Report"  
 [2] JPEO JTRS, "Software Communications Architecture Specifications v2.2.2", May 2006.  
 [3] DGAM, "Boletín de Observación Tecnológica en Defensa", nº 17.

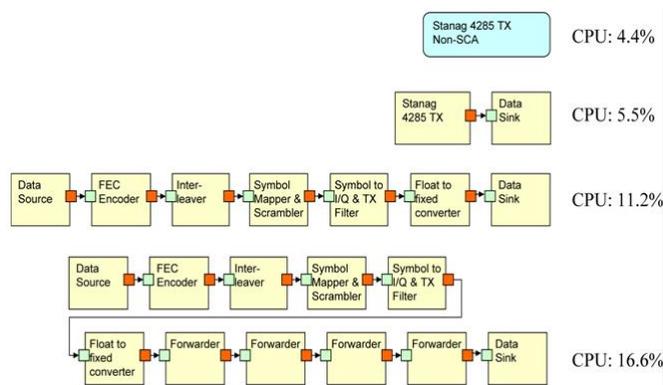


Fig. 2. Consumo de recursos para diferentes diseños SCA del transmisor del STANAG 4285.

### EDA JIP-FP: proyecto MUSAS

Héctor Naranjo Setién, GMV

El proyecto MUSAS (*Multi Sensor Anti Sniper System*), adjudicado en 2007 a través de la Agencia Europea de Defensa (*European Defence Agency - EDA*) por un presupuesto de 5,7 M€ a un consorcio europeo liderado por GMV, concluyó con éxito en septiembre de 2010.

Este proyecto se incluye en el primer concurso de propuestas para el *Joint Investment Programme on Force Protection* (JIP-FP) de la EDA, un innovador proyecto de investigación y tecnología dotado con 55 M€, en el que participan 19 estados miembros de la EDA y Noruega.

MUSAS ha tenido por objetivo la realización de actividades de I+D para la detección, localización y clasificación de francotiradores.

#### Estudios realizados

Dentro del proyecto se han realizado estudios de investigación en diferentes áreas de actividad que han permitido plantear los siguientes conceptos innovadores dentro del marco de la detección de francotiradores.

**Aproximación multisensor:** MUSAS integra varios subsistemas incluyendo cada uno de ellos tanto hardware



(sensores) como software (aplicaciones de procesamiento de datos) y hace uso de distintas tecnologías para detectar indicios de actividad de francotiradores en el entorno:

- Subsistema acústico: detecta los fenómenos físicos vinculados al sonido que se pueden asociar a un disparo, es decir, la onda de choque generada por la bala al moverse más rápido que la velocidad del sonido y la onda expansiva provocada por la expulsión de la bala a través de la boca del rifle.
- Subsistema de procesamiento de imagen: explota la firma visual e infrarroja para detectar y clasificar actividad sospechosa de corresponder a una amenaza de francotirador.
- Subsistema radar: emplea la detección radar de la bala en movimiento para proporcionar información sobre su trayectoria.



Fig. 1: Vista desde una de las posiciones del tirador durante los ensayos en campo.(Fuente: GMV)

#### Aproximación multiplataforma:

MUSAS despliega sus subsistemas y sensores en los distintos elementos de un pelotón (vehículo de patrulla, soldados a pie y un UGV (*Unmanned Ground Vehicle*) de apoyo). También considera el despliegue de elementos fijos con el objetivo de proteger un emplazamiento estacionario (p.ej. una base militar) y una configuración de despliegue rápido para defender un área concreta durante un tiempo (p.ej. una ruta de evacuación).

Así, MUSAS proporciona una red de sensores en el campo de batalla de forma que cada uno de los agentes desplegados puede aprovechar no sólo los datos adquiridos por sus propios sensores sino por los sensores de los demás, incrementando así el área vigilada al mismo tiempo que se reduce el riesgo de exposición al ataque.

**Fusión de datos:** En estas condiciones, un motor de fusión de datos combina los datos adquiridos por los distintos sensores de las distintas plataformas explotando sus sinergias.

La fusión de datos mejora la capacidad de detección reduciendo la tasa de falsas alarmas, incrementando la probabilidad de detección y proporcionando una estimación de la posición del tirador más precisa.

Además, en caso de funcionamiento degradado en que parte de las funcionalidades del sistema puedan no estar disponibles temporalmente, la fusión de datos combinada con las capacidades de comunicación del MUSAS proporcionan una notificación satisfactoria a los soldados aunque sus sensores no estén funcionando.

#### Detección antes del disparo:

MUSAS es capaz de detectar a los tiradores antes del disparo gracias a sus sistemas de procesamiento de imágenes. El software busca indicios de actividad de francotirador en el entorno. Dependiendo de una serie de criterios, las detecciones pueden ser etiquetadas como posiciones sospechosas o presencia enemiga. El sistema permite al operador enfocar los sensores en estas áreas potencialmente conflictivas para confirmar la presencia de tiradores.

MUSAS incorpora también una serie de herramientas de ayuda a la deci-

sión que proporcionan medios para analizar las posiciones más probables de despliegue de francotiradores y el área que cubrirían. Así, se puede planear la misión con antelación reduciendo la exposición a la amenaza (planeamiento de rutas, estrategia de despliegue, equipos de reconocimiento, neutralización del enemigo, etc.). Esto también permite definir zonas de máscara y/o vigilancia permitiendo focalizar los recursos de búsqueda.

Estas herramientas pueden ser empleadas también para proponer comportamientos óptimos durante la ejecución de la misión.

**Integración en un sistema de combatiente futuro (FCS, *Future Combat System*) y en su sistema de información y comunicaciones (CIS, *Communications and Information System*):** Un sistema FCS debe proporcionar al soldado a pie y a sus vehículos de apoyo todo el equipo y capacidades necesarias en el campo de batalla. MUSAS se integra con el equipo del sistema FCS añadiendo nuevos dispositivos enfocados a la detección de francotiradores pero compartiendo capacidades para evitar la duplicación de elementos.

**Incorporación de información operativa:** Al estar integrado con el FCS, MUSAS puede acceder a la información C41STAR (*Command, Control, Communication, Computers, Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance*) disponible tanto en el propio sistema como en otros, incluyendo características de la tropas propias y enemigas (posición, armamento, despliegue) y la información geográfica disponible del campo de batalla. El GIS (*Geographic Information System*) permite contrastar las detecciones con la información geográfica para refinar la estimación de las posiciones, para clasificarlas como amigas o enemigas y para mostrar los francotiradores detectados en el mapa incrementando la conciencia situacional.

**Adaptación a factores humanos:** La investigación y el desarrollo de MUSAS ha tenido en cuenta la necesidad de adaptar el HMI (*Human Machine Interface*), miniaturizar los componentes, reducir las necesidades de energía y optimizar el peso y el tamaño del sistema para asegurar su usabilidad en condiciones de combate.

**Incorporación de un vehículo terrestre no tripulado (UGV, *Unmanned Ground Vehicles*):** Se ha des-

arrollado un UGV como elemento clave de MUSAS extendiendo su cobertura a zonas de alta exposición.

#### Evaluación del sistema

Como parte del proyecto MUSAS se ha desarrollado un demostrador basado en estos conceptos con el objetivo de poder evaluar su aplicabilidad y usabilidad. Desde abril a julio del 2010 se realizaron ensayos de campo empleando fuego real que han permitido realizar las pruebas de integración del demostrador, tomar unas métricas para la evaluación de las prestaciones, recopilar el análisis de resultados y definir el desarrollo tecnológico pendiente.

Estos ensayos en campo fueron realizados en una antigua cementera en Francia, que representaba un entorno similar al escenario más probable de confrontación en nuestros días, el cual viene marcado por estrategias asimétricas en entornos urbanos que no permiten sacar partido de la ventaja tecnológica.

En este escenario se plantearon distintos ensayos de campo empleando fuego real e incluyendo detección antes y después del disparo, detección y discriminación de fuego amigo, detección en condiciones degradadas (con pérdida de sensores y de comunicaciones) y detección empleando la asistencia del vehículo no tripulado auxiliar (UGV).

Finalmente, el 22 de julio del 2010, tuvo lugar una demostración en el mismo escenario con la asistencia de distintos representantes europeos que manifestaron su gran interés en el proyecto así como su satisfacción por las prestaciones obtenidas.

#### Conclusiones

El proyecto MUSAS plantea conceptos innovadores, allanando el camino para solucionar uno de los principales problemas que tienen hoy los Ministerios de Defensa de toda Europa: la protección de sus fuerzas que forman parte de misiones humanitarias en países en conflicto, como Líbano y Afganistán.



Fig. 2: Imagen del vehículo no tripulado (UGV). (Fuente: GMV)

## El programa de I+D SIRAMICOR

CF Ing. José M<sup>a</sup> Riola, SOPT-SDG TECIN,  
Juan Jesús Díaz, OT Sistemas Navales

El pasado día 1 de febrero de 2011, el Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT) de la Subdirección de Tecnología e Innovación (SDG TECIN) de la DGAM celebró en las instalaciones de la Jefatura de Apoyo Logístico de la Armada (JAL) una jornada monográfica que presentaba los resultados del programa SIRAMICOR (Sistema de Rastreo de Minas de Influencia por Control Remoto) [1], completando un hito en el sector nacional de defensa al finalizar el primer programa encaminado a plataformas navales de superficie no tripuladas, en el que se ha desarrollado un sistema de control para embarcaciones autónomas capaces de remolcar rastras multi-influencia.

En la jornada ha intervenido NAVANTIA, que se ha encargado del sistema plataforma; SAES, con el sistema de rastras; NAVANTIA-FABA, en el sistema de control, navegación y comunicaciones SCNC; el CEHIPAR, con ensayos con modelo a escala; y la Universidad Complutense de Madrid (UCM), encargada de la simulación de la maniobrabilidad y posicionamiento.

El objetivo inicial era desarrollar un prototipo de sistema de rastreo de minas de influencia (magnéticas, acústicas, eléctricas y cualquier combinación de ellas) por control remoto con validez táctica, que complementara la técnica de caza de minas en aquellos escenarios en los que las condiciones medioambientales o las características de las minas imposibilitaran el uso eficaz de buques cazaminas. Comprendía el diseño de tres subsistemas: dos embarcaciones de superficie no tripuladas (*drones*), capaces de remolcar, cada una de ellas, una rastra multi-influencia (acústica, magnética y eléctrica); dos juegos completos de rastras multi-influencia, diseñadas para actuar contra minas modernas; y un sistema de control remoto de los *drones* a instalar en un cazaminas de la clase Segura o en un contenedor transportable.

En la fase de definición del programa se contemplaba el uso de rastras comerciales que contaran con capacidad de emulación en modo MSM (en

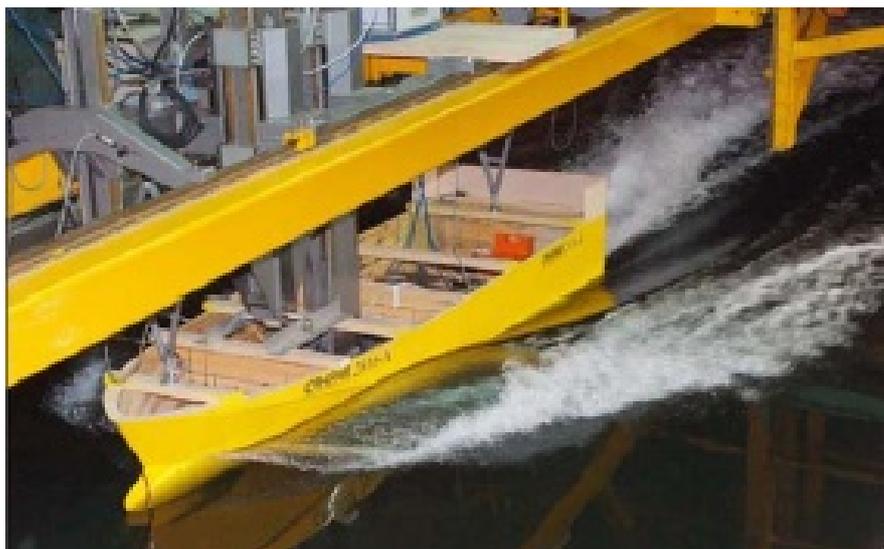


Fig. 1. Modelo a escala – CEHIPAR.

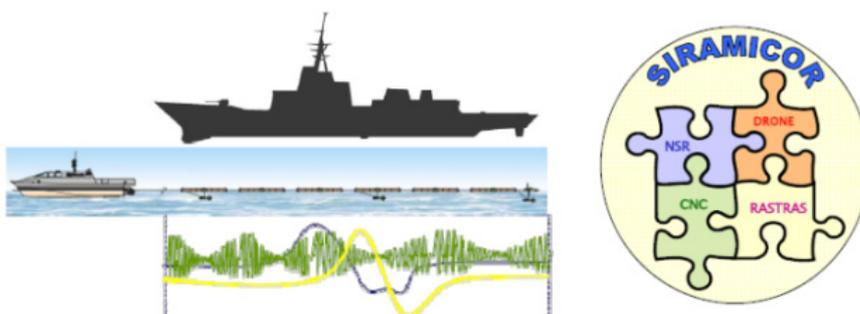


Fig. 2. Concepto de emulación de firmas en modo TSM.

función de la lógica de la mina lo que implica el conocimiento sobre el tipo y características de las minas desplegadas en el campo de minas, y cuyo objetivo es generar las influencias que ocasionan la activación de esas minas) y modo TSM (en función del tipo de buque cuyo principal propósito es la protección de un buque o tipo de buques del que se tiene el conocimiento de sus firmas, y por tanto se lleva a cabo la emulación de estas firmas para provocar la activación de las minas que pudieran responder a su paso).

Los requisitos iniciales contemplaban la necesidad de que las rastras estuviesen basadas en un concepto modular compuesto por imanes permanentes que permitieran emular la firma magnética triaxial de los buques de guerra de nuestra Armada y buques mercantes de gran tonelaje (clase “fragata” – 6.000/6.500 t e incluso clase “LHD” – 25.000/30.000 t).

El estado del arte en 2009 identificaba como posible solución el “sistema de

rastras de imanes permanentes” desarrollado por THALES Australia. Las necesidades de la propia Armada aconsejaron modificar este requisito debido al inconveniente que presentan las mismas: despleabilidad, proyectabilidad, peso, empacho, incompatibilidad con la propia firma magnética del buque,...

Todo ello derivó en el estudio de otra alternativa que fueron las rastras de electrodos, base de algunos programas como el LCS (*Litoral Combat Ship* de EEUU) o el programa FAST (*Flexible Agile Sweeping Technology* del Reino Unido).

Como consecuencia de todo ello, se plantearon diferentes alternativas a la plataforma en función de diversos parámetros:

- Tipo de plataformas (monocasco, catamarán, trimarán, SES *Surface Effect Ship, hovercraft*).

## tecnologías emergentes

- Propulsores (hélice directamente acoplada, propulsores acimutales, Voith Schneider, *waterjet*).
- Diferentes combinaciones de sistema de propulsión: mecánica diesel, turbina de gas, baterías, turbo generadores, eléctrica o pilas de combustible.
- Prestaciones del sistema (resistencia al avance, comportamiento en la mar, maniobrabilidad durante el rastreo, eficacia en el tiro, resistencia al choque, firma acústica y de presión, estabilidad durante el remolque).
- Transportabilidad (dimensiones, peso, facilidad de varada en dique, modularidad, etc.).
- Otros factores como el coste de adquisición / riesgo.

Tras el estudio completo y posteriores iteraciones se obtuvo una lista corta de alternativas, que finalmente y tras incorporar las condiciones de resistencia a choque y los principales requerimientos de la Armada se concretan en dos posibles soluciones a la plataforma.

Cada alternativa presenta sus pros y contras que dependen de entre otros condicionantes de las rastras a remolcar, autonomía, transportabilidad y desplegabilidad de cada variante, etc. Los criterios establecidos por la Armada para llevar a cabo la selección de las rastras fueron analizados por SAES, estos se pueden resumir en:

- Maniobrables, fácilmente transportables por mar y desplegables, desde un LPD en escenarios marítimos alejados del territorio nacional.
- Tipo "*clip-on*", autoalimentadas sin necesidad de contar con equipos instalados en el *drone* de remolque, sin necesidad de corriente o fuentes externas.
- Resistentes al choque.
- Bajo mantenimiento en operaciones y almacenamiento.
- Capacidad de rastreo MSM (*Mine Setting Mode*) y TSM (*Target Setting Mode*).
- Composición modular con capacidad de emular firmas de buques tipo fragata y LHD.
- Condiciones determinadas de velocidad y de operatividad hasta determinados estados de la mar.

Aplicando estos axiomas, dos son las alternativas de mercado existentes:

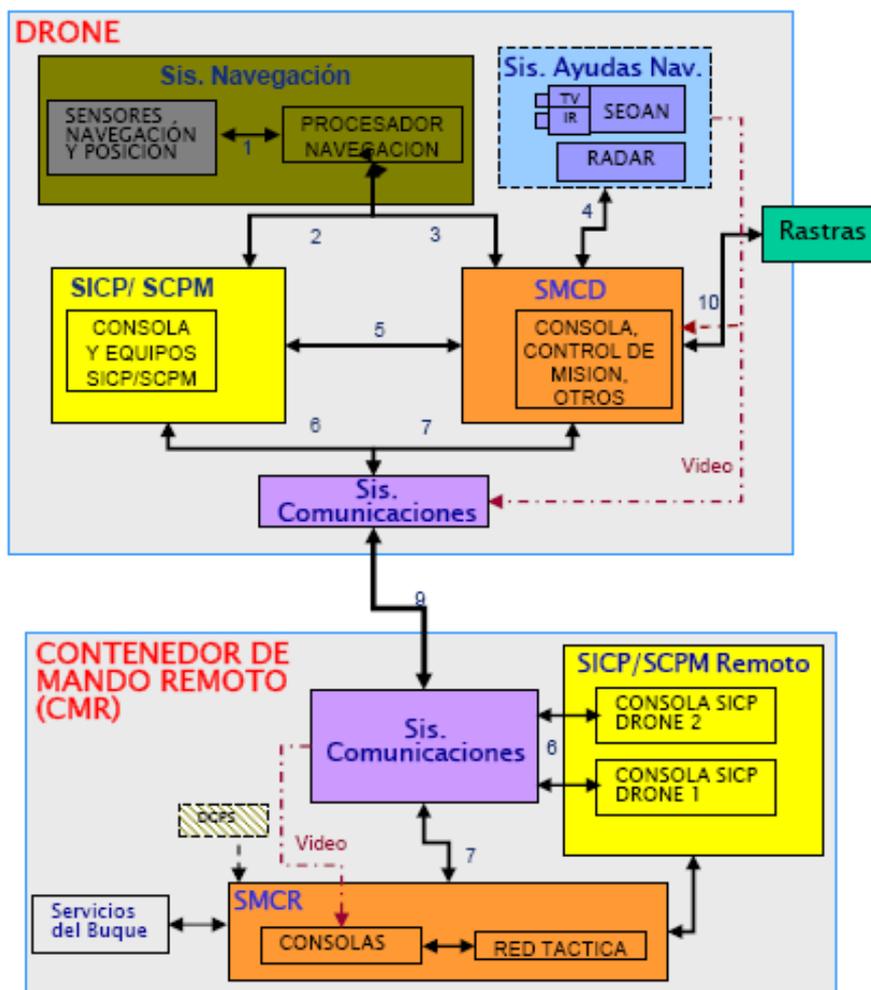


Fig. 3. Esquema de bloques del SCNC.

1. Sistema de THALES AUSTRALIA - AMAS MAGNETIC SWEEPS. Rastras de imanes permanentes - inicialmente eran las que mejor se adaptaban a los requisitos iniciales, fueron evaluadas en la operación NATO BREST, con un buque de pequeño porte, realizando *jamming*, cuentan con un sistema de alimentación magnético independiente del *drone*, la acústica cuenta con generación propia (de 6-15 nudos, sistema AAG), la eléctrica la conforman 8 electrodos. Pero presentan algunos inconvenientes como su tamaño, no embarcables, no transportable en avión,...
2. Sistema ITT - rastras de electrodos, que no cumplen con todos los requisitos, pero puede ser empleada por una RHIB debido a su menor peso (5 t). Este sistema presenta algunos inconvenientes como son que no se pueden generar de forma independiente la

firma eléctrica de la magnética, la corta vida útil del electrodo (150 horas cuando trabajamos a alta intensidad - 1400 amperios) lo que obliga a un mantenimiento costoso por el recambio de los mismos.

Ambas alternativas permiten alcanzar el objetivo de emulación de la firma magnética. En el caso de la firma eléctrica el sistema de THALES permite llevar a cabo una perfecta simulación, mientras que el sistema de ITT cuenta con sólo 2 ó 3 electrodos generando un dipolo o cuatripolo que restringen el tipo de onda.

Si atendemos al criterio de la resistencia a choque, el sistema de Thales sí ha sido probado, mientras que del de ITT no se tiene conocimiento.

El siguiente aspecto evaluado en el programa SIRAMICOR fue el sistema de control, navegación y comunicaciones SCNC. Este apartado fue realizado por NAVANTIA-FABA.

El sistema de mando y control debía soportar de manera integrada, tanto en modo MSM como TSM, diferentes funcionalidades como la configuración de rastras y predicción de campos; predicción de interacción rastra-mina (modo MSM); estimación de efectividad de las rastras (modo TSM); planeamiento; ejecución y operación; y evaluación.

Finalmente se configura un SCNC en base a los siguientes bloques funcionales:

- Sistema de mando y control, formado por el SMCD (sistema de mando y control del *drone*) y el SMCR (sistema de mando y control remoto) situado en el CMR (contenedor de mando remoto).
- Sistema integrado de control de plataforma (SICP) y sistemas de control de posicionamiento y maniobra (SCPM), tanto en el *drone* como en la consola remota del CMR.
- Sistemas de navegación del *drone* y sistemas de ayudas a la navegación del mismo (radar y sistema de vigilancia electroóptico SEOAN).
- Sistemas de comunicaciones: del propio *drone* y de la CMR.

El diseño preliminar del CNC del *drone* agrupa todos los elementos de las unidades de mando (panel de propulsión, consola multifunción integrable, etc.). Cuenta además entre otros con una unidad electrónica de proceso e interfaz y con la unidad electrónica comunicaciones.

De manera paralela se ha llevado a cabo el diseño del CNC del CMR, que cuenta con un diseño similar al descrito anteriormente para el *drone*.

Con todo ello lo que se pretende es contar con puestos de operación situados en el buque nodriza que permitirán la generación y control de órdenes para gobernar los *drones*, así como la monitorización y supervisión de las acciones de rastreo y las de navegación y maniobra.

Otro aspecto que se analizó en los vehículos no tripulados es el mantenimiento de la comunicación entre el sistema remoto y el USV.

Para el sistema de comunicaciones se han realizado los correspondientes



Fig. 4. AMAS Magnetic Sweeps de THALES Australia.

estudios en las tecnologías WIMAX, UHF, VHF, WiFi y el enlace vía satélite.

Concluyéndose que el sistema de comunicaciones debería estar conformado por módulos compuestos de sistemas transceptores y antenas UHF y WIMAX, definiendo la arquitectura del sistema de comunicaciones basada en el establecimiento de dos enlaces simultáneos (UHF y WIMAX) entre el *drone* y el buque nodriza, estudiando diferentes configuraciones de antenas (direccionales, sectoriales y omnidireccionales) y en modo repetidor (*Mesh*) como alternativa de banda ancha al enlace WIMAX que cumple los requisitos de alcance con antenas omnidireccionales.

En el Canal de Experiencias Hidrodinámicas del Pardo (CEHIPAR), se llevó a cabo la construcción de las dos carenas anteriormente citadas, a diferentes escalas y con distintas formas (redondeada con bulbo en proa y en V).

Un aspecto supuso un nuevo hito en este laboratorio consistió en el diseño y la fabricación de los sistemas de propulsión *waterjets* a escala.

El diseño cuenta con dos impulsores accionados por motores diesel rápidos que adaptados a las formas hidrodinámicas de la obra viva permitirán alcanzar el requisito de velocidad establecida, ya que el diseño de las formas se realiza tratando de minimizar la resistencia al avance, comprobándose su óptimo comportamiento en la mar para las condiciones de mar requeridas, reduciendo las necesidades de potencia y consumo de manera que el peso y empacho del

sistema propulsor y por tanto del peso en rosca del *drone*.

Adicionalmente se han fabricado el sistema de rastras para conseguir emular el sistema completo (*drone* + rastra), y se llevó a cabo un meticuloso plan de ensayos que comprendía:

- Canal de aguas tranquilas remolque, autopropulsión y tracción a punto fijo).
- Ensayos en el laboratorio de dinámica del buque (comportamiento en la mar, con olas regulares e irregulares a diferentes velocidades de avance y estados de mar).
- Ensayos de maniobrabilidad.

En último lugar la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Complutense de Madrid, presentó su trabajo orientado al simulador de movimientos y control.

Para ello partieron de un estudio inicial detectando los principales aspectos a tratar: seguimiento de pasillos y área que queda cubierta (que puede verse afectada por los fenómenos de corrientes o viento); tensión en el cable entre el remolque y el *drone* (principalmente en los giros); análisis de los giros; control de la plataforma autónoma; situación del *drone* sumergido.

Construyeron un modelo experimental a escala con el fin de explorar los problemas y retos, que sirviera de base para determinar los parámetros que definieran la base de un modelo simplificado pero suficiente, que tuviese en cuenta las ecuaciones de traslación longitudinal y transversal y la ecuación de giro.

Posteriormente validaron los datos obtenidos por simulación con los experimentales obtenidos por el sistema de navegación autónomo y de toma de datos usando waypoints y sistema GPS.

## CONCLUSIONES

Este programa de I+D que comenzó su fase de ejecución en 2008 y finalizó en septiembre de 2010, ha servido de punto de partida y ha supuesto para las empresas y organizaciones que han participado una oportunidad de capacitación.

Gracias a él, se ha accedido al estado del arte y últimas tendencias en esta área tecnológica, ofreciéndoles la oportunidad de cooperar y aprovechar sinergias.

El camino a seguir consiste en identificar las ventajas que aportan estos sistemas, reduciendo riesgos y vulnerabilidades, reducción de costes, aumento de cobertura y disminución de dotación, aumentando las prestaciones de las plataformas tripuladas.

Estos sistemas proporcionarán ventajas frente a algunas de las amenazas y problemas a los que se enfrentan las actuales unidades de MCM, como son la protección frente la amenaza asimétrica donde darían una respuesta adecuada al operar con un riesgo mínimo.

Podemos considerar que el futuro del programa SIRAMICOR está vinculado al programas de I+D UMS (*Unmanned Maritime Systems*) [2] de la EDA, cuyo objetivo es el de elaborar un novedoso concepto de sistema de sistemas que incluya vehículos no tripulados de superficie y submarinos (USVs, UUVs) que permitan mejorar las capacidades europeas en una gran variedad de operaciones navales (MCM - *Mine Counter-Measures*, ASW - *Anti-Submarine Warfare*, vigilancia marítima, protección de puertos, etc.), e incluirá diferentes aspectos entre ellos estandarización, interoperabilidad, modularidad... en base a los cuales se pretende producir demostradores tecnológicos.

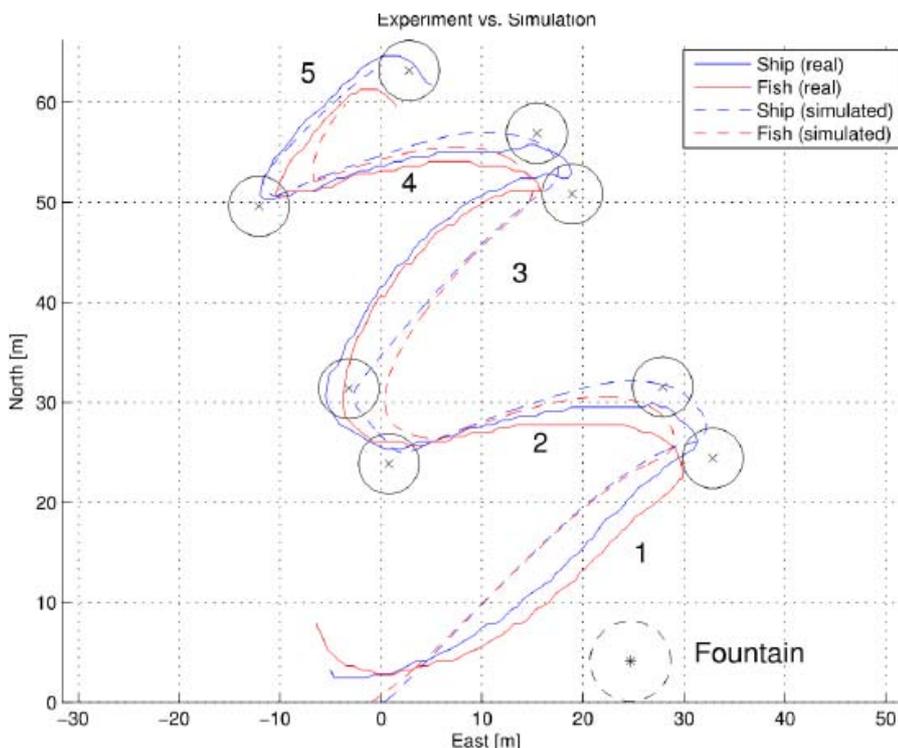


Fig. 5. Ensayo y modelo - UCM.



Fig. 6. Carenas del CEHIPAR.

## Referencias

- [1] Riola, J.M. y Díaz, J.C. (2009). Aplicación de los USVs al rastreo de minas: SIRAMICOR. *Boletín de Observación Tecnológica en Defensa nº 24*, 14-19, Madrid.
- [2] Subdirección General de Tecnología y Centros (2009). Jornada informativa: nuevo JIP Cat. B de la EDA: UMS. *Boletín de Observación Tecnológica en Defensa nº 24*, Madrid: Autor.

# En Profundidad

## Aplicación de técnicas de inteligencia artificial a la detección radar

M. Pilar Jarabo Amores, Manuel Rosa Zurera, David de la Mata Moya. Dpto. Teoría de la Señal y Comunicaciones. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Alcalá

### Introducción

Según una definición bastante aceptada, se entiende por inteligencia artificial "el estudio y diseño de agentes inteligentes, entendiéndose como tales a los sistemas capaces de percibir su entorno (recibir entradas) y realizar acciones (proporcionar salidas) con el objetivo de maximizar sus oportunidades de éxito" [1]. Entre los agentes inteligentes se encuentran las redes neuronales artificiales, cuyo objetivo es el de emular el funcionamiento físico del cerebro de animales y humanos. Si bien en 1990 se demostró matemáticamente su capacidad para aproximar el clasificador bayesiano óptimo [2] (el que minimiza la probabilidad media de error), hasta 2009 no se demostró teóricamente la posibilidad de aproximar el detector óptimo de Neyman-Pearson [3], el cual es la solución más aplicada en problemas de detección radar. En este artículo se presenta un resumen del principio de funcionamiento de las redes neuronales y su capacidad para aproximar detectores óptimos en aplicaciones radar.

### La detección radar

El problema de la detección de blancos radar puede formularse como un test de hipótesis binario en el que el sistema tiene que decidir a favor de una entre dos posibles hipótesis: blanco ausente (hipótesis nula) o blanco presente (hipótesis alternativa). En sentido amplio, el término blanco se aplica a cualquier objeto que interfiera con la onda transmitida y dispersa parte de su energía hacia el sistema radar. Más específicamente, se distingue entre blanco, objeto que se desea detectar, y *clutter*, objetos no deseados que también interceptan la energía del radar y la dispersan (mar, tierra, lluvia y otros

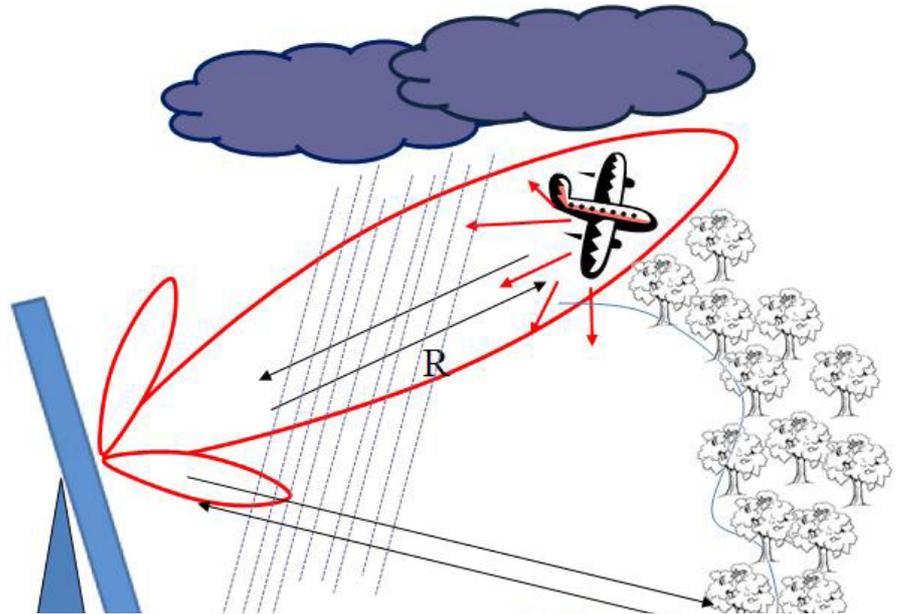


Fig. 1 Ejemplo de escenario radar.

tipos de precipitación, pájaros, insectos, etc.). En la figura 1 se presenta un ejemplo de escenario radar con un blanco (avión) y dos fuentes de *clutter* (la lluvia y una arboleda).

La señal recibida es ruidosa debido a fuentes radiantes externas captadas por la antena y al ruido térmico generado por componentes de la cadena receptora. Además, la presencia de *clutter*, hace que el problema de diseño de detectores radar sea muy complicado.

Los parámetros básicos que se utilizan para evaluar las capacidades detectoras de un radar son la probabilidad de detección, (probabilidad de decidir a favor del blanco cuando se ha recibido el eco de un blanco) y la probabilidad de falsa alarma (probabilidad de decidir a favor del blanco cuando la señal recibida sólo se debe a ruido y, posiblemente, *clutter*).

En un radar pulsado de exploración digital, la antena gira de forma mecánica o electrónica emitiendo de forma periódica pulsos de radiofrecuencia. En el intervalo entre pulsos transmitidos, el sistema captura los pulsos reflejados o dispersados por los blancos y fuentes de *clutter* que están en su volumen de cobertura. Por cada exploración, se pueden generar dos matrices de datos

reales a la salida de los conversores analógico-digitales (ADC), o una única matriz compleja, que constituirán la entrada del procesador de señal radar. Si el radar recibe  $N$  pulsos de un blanco por exploración, cada vector de entrada estará compuesto de  $N$  muestras complejas o  $2N$  muestras reales, dependiendo de si se genera una matriz de datos brutos compleja o dos reales. El objetivo del procesador de señal radar es construir una regla de decisión que asigne cada vector de entrada a una de las dos posibles hipótesis.

El esquema básico de un procesador de señal radar es el que se indica en la figura 2. Las salidas de los conversores A/D son procesadas mediante diversas técnicas de filtrado (sistemas MTI, *Moving Target Indicator*, o MTD, *Moving Target Detector*) para reducir lo más posible la presencia de *clutter*, aprovechando el desplazamiento Doppler inherente a los blancos móviles y el hecho de que los espectros del *clutter* suelen tener Doppler nulo o inferior a los de los blancos deseados.

Finalmente, un detector binario compara la salida del detector de envolvente con un umbral y decide la presencia o ausencia de blanco. Si el *clutter* se eliminase totalmente en las etapas

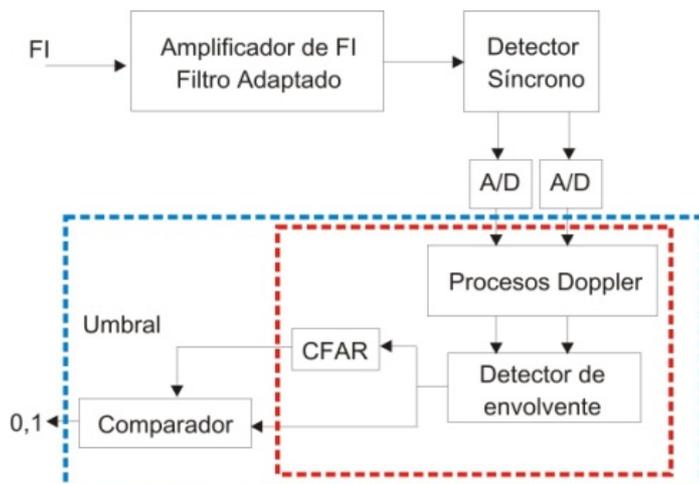


Fig. 2 Esquema básico de un procesador de señal radar.

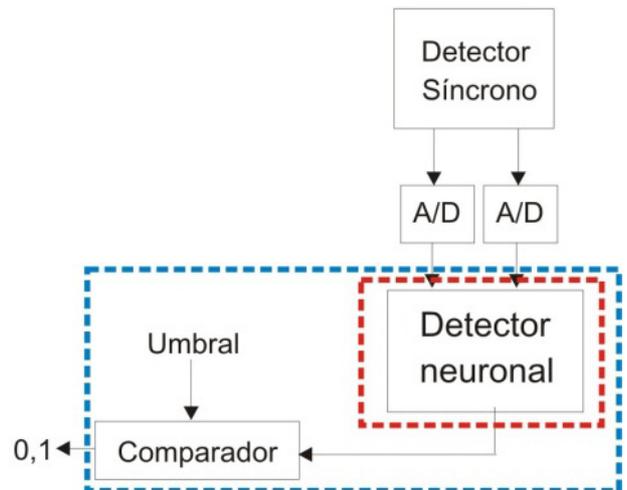


Fig. 3 Detector radar basado en redes neuronales.

previas de filtrado, podría emplearse un umbral fijo para conseguir una determinada probabilidad de falsa alarma. En la práctica, debido a la presencia de residuos de *clutter*, un umbral fijo podría dar lugar a un elevado número de falsas alarmas. Un detector CFAR (*Constant False Alarm Rate*) tiene como objetivo mantener la probabilidad de falsa alarma constante.

**El detector de Neyman-Pearson**

En sistemas radar, el criterio de detección más apropiado es el de Neyman-Pearson [4], el cual maximiza la probabilidad de detección manteniendo la probabilidad de falsa alarma menor o igual a un valor especificado. El esquema de detección de la figura 2 es una aproximación al LRT (el *Likelihood Ratio Test*) en el caso Gaussiano. Los modelos Gaussianos son aplicables a algunos blancos, al ruido térmico y a algunos tipos de *clutter*. Este modelo no es válido en radares de alta resolución donde otras distribuciones estadísticas como la Weibull, la K o de Hankel o la Log-Normal son más apropiadas para modelar los ecos del *clutter*. Además, las características de los blancos y el *clutter* suelen ser desconocidas y cambiantes.

Teniendo en cuenta que los estadísticos Gaussianos no se cumplen en la mayoría de los radares de alta resolución, se han propuesto soluciones basadas en técnicas de inteligencia artificial y, en concreto, en redes neuronales, para aproximar de forma eficiente el LRT aprovechando la capacidad de estos sistemas para aproximar funciones y de adaptarse a cambios en las mismas debido a

fenómenos no estacionarios. En la figura 3 se muestra el esquema de un procesador de señal radar basado en una red neuronal.

**Redes neuronales artificiales**

El cerebro humano es una prueba de que el procesamiento paralelo y tolerante a fallos no es sólo físicamente posible sino además rápido y potente. Las redes neuronales artificiales, comúnmente llamadas redes neuronales, surgen como un intento de aproximar el comportamiento del cerebro.

Realmente están muy lejos de este objetivo, pero análisis estadísticos de su comportamiento han revelado su versatilidad y potencial en tareas de detección, clasificación y, en general, de aproximación de funciones. Pueden definirse de la siguiente forma [5]: "Procesador masivo paralelo distribuido, formado por unidades simples, llamadas neuronas, con una propensión natural a almacenar conocimiento experimental y hacerlo disponible para ser usado. Se asemeja al cerebro en dos aspectos: la red adquiere el cono-

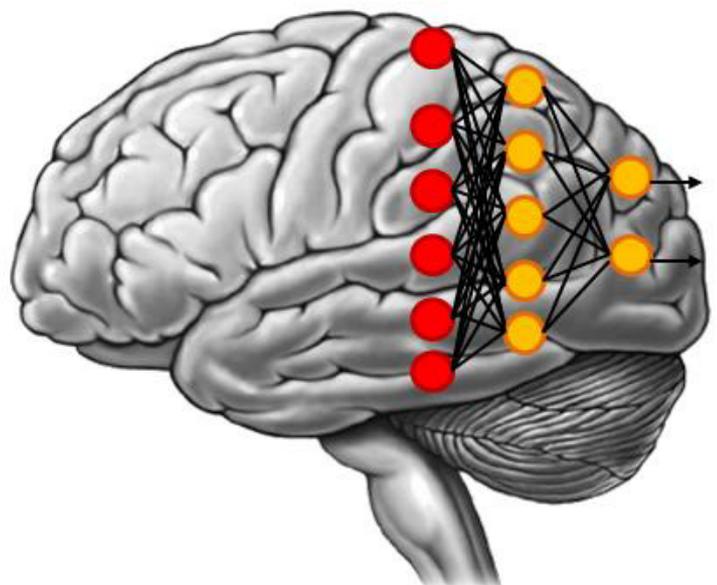


Fig. 4. Modelo de red neuronal.

cimiento del entorno a través de un proceso de aprendizaje; la intensidad de las conexiones inter-neuronales, pesos sinápticos, almacenan el conocimiento adquirido".

En las redes neuronales, las neuronas se organizan formando capas. En la figura 4 se muestra un modelo de una red neuronal de propagación directa compuesta por tres capas. Los círculos rojos representan las entradas y las naranjas las neuronas. Como cada neurona está conectada a cada una de la capa siguiente, se trata de una red de propagación directa, en concreto, de un perceptrón multicapa (*MultiLayer Perceptron*).

# tecnología en profundidad

## Modelo matemático de una neurona: el perceptrón

El mecanismo de transmisión y procesamiento de información que tiene lugar en una neurona biológica puede resumirse del modo siguiente: la neurona adquiere un nivel de activación atendiendo a la combinación de las señales de excitación o inhibición recibidas de otras neuronas a través de las dendritas y genera impulsos nerviosos que se transmiten a lo largo del axón hacia otras neuronas a las que está conectada. En la figura 5 se muestra el modelo biológico de la neurona y el matemático conocido como *perceptrón*. Existen distintos modelos matemáticos de una neurona; en este artículo se considerará el *perceptrón*.

### Entrenamiento de la red

En la figura 6 se presenta el esquema de una estrategia de entrenamiento supervisada por corrección del error. Para su utilización se requiere de un conjunto de entrenamiento formado por un conjunto de vectores de entrada pre-clasificados por un supervisor (ejemplos capturados del entorno y que han sido clasificados como pertenecientes a una de las dos hipótesis, blanco presente o blanco ausente). Por ejemplo, puede ser el resultado de una campaña de medidas con blancos cooperativos en condiciones controladas. Estos ejemplos se muestran a la red y se calcula el error cometido por la misma comparando su salida actual con la proporcionada por el supervisor. El error estimado será utilizado por el algoritmo de entrenamiento para modificar los parámetros, los vectores de pesos de las neuronas, con el objetivo de obtener un error menor cada vez que se repite el proceso.

### Detección de blancos Gaussianos en ruido blanco y Gaussiano

Como ejemplo ilustrativo, en primer lugar se analiza el caso en el que el detector toma la decisión en base a un único pulso, en lugar de considerar los  $N$  pulsos recibidos de un blanco. De este modo, el espacio de entrada es  $R^2$  y se podrán representar las fronteras de decisión aproximadas por la red. Si los blancos son Gaussianos y el ruido es blanco y Gaussiano, el detector óptimo es un detector de envolvente y las fronteras de decisión son cir-

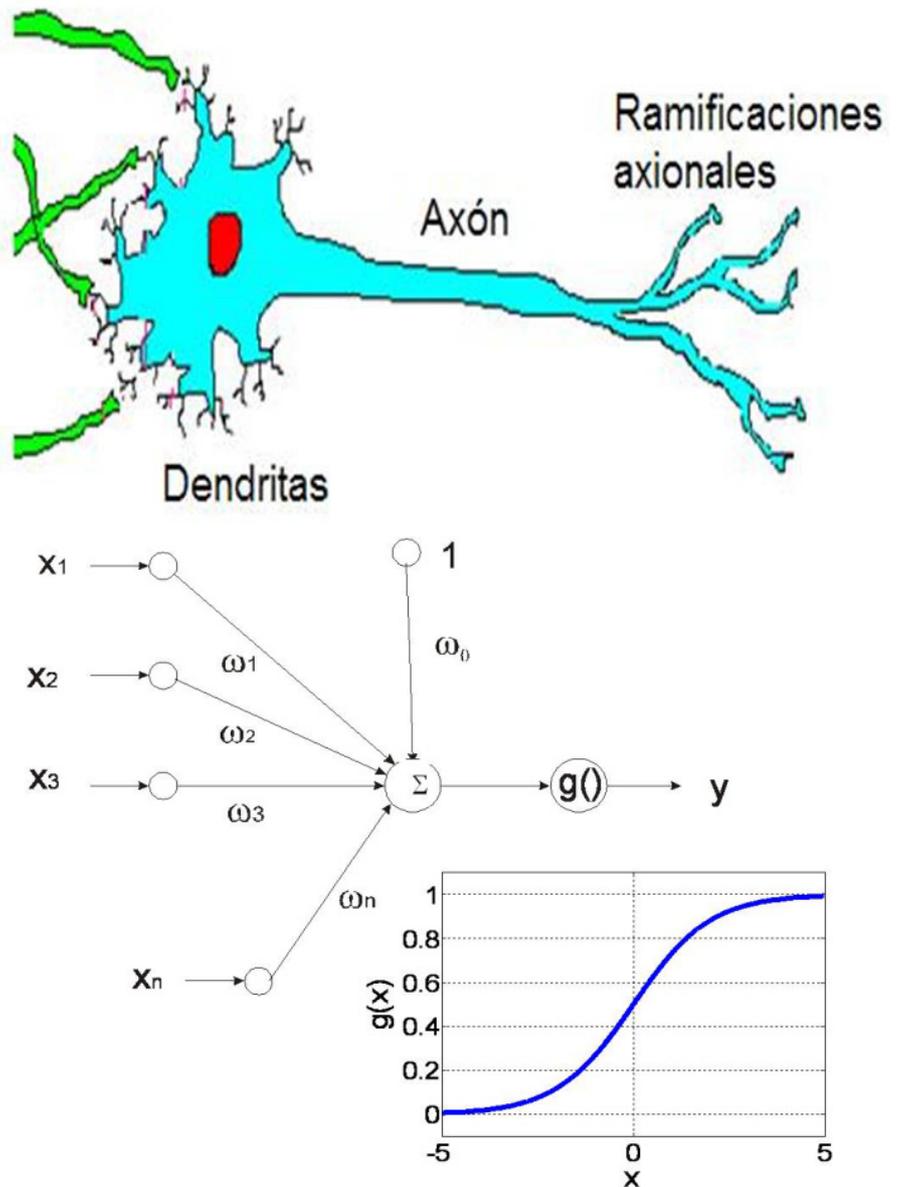


Fig. 5 Modelo de neurona: biológico y matemático (perceptrón).

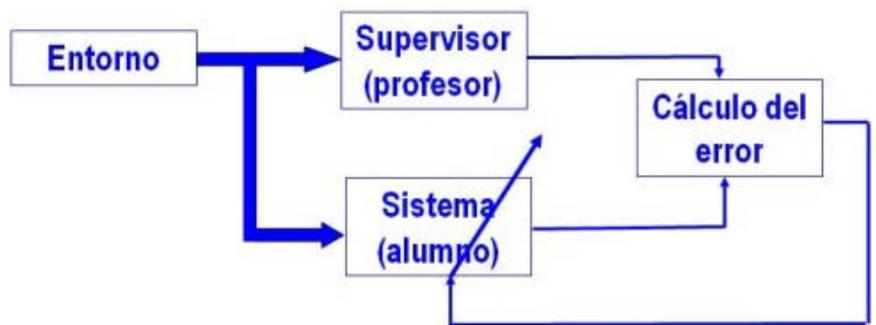


Fig. 6 Aprendizaje supervisado por corrección de error.

circunferencias centradas en el origen cuyo radio es función de la probabilidad de falsa alarma deseada [7]. En  $R^2$ , cada neurona define una recta. Como se requieren al menos 3 rectas para circunscribir una circunferencia, como mínimo, se requiere un perceptrón multicapa de 2 entradas (componentes en fase y cuadratura del pulso recibido), 3 neuronas intermedias (una para cada recta) y una de salida. Para decidir la presencia o ausencia de blanco, la respuesta de la neurona de salida se comparará con un umbral ajustado para cumplir los requisitos de probabilidad de falsa alarma. En la figura 7 se representan las fronteras aproximadas en el espacio de los vectores de entrada, demostrándose que se obtienen buenas aproximaciones cuando el radio de la frontera de decisión no es demasiado grande (al aumentar el valor del radio disminuye la probabilidad de falsa alarma obtenida). En la práctica, con sólo tres neuronas intermedias, se obtienen buenas aproximaciones al detector óptimo para probabilidad de falsa alarma del orden de  $10^{-6}$ .

Cuando  $N > 2$ , el detector óptimo depende de las propiedades espectrales del blanco. Para un blanco Swerling 2 (espectro plano), una posible realización del detector óptimo es a partir del módulo del vector de entrada. Se supone que las primeras  $N$  muestras del vector de entrada corresponden a las componentes en fase de los pulsos recibidos y las siguientes  $N$  muestras a las componentes en cuadratura. Las fronteras de decisión en el problema de detección de blancos Swerling 2 son hiperesferas centradas en el origen, por lo que se requieren al menos  $n+1$  neuronas intermedias para encerrarlas hiperesferas. En el caso de los blancos Swerling 1, las fronteras son hipercilindros, por lo que bastan 3 hiperplanos para delimitar estas fronteras.

En las figuras 8 y 9 se muestran las curvas ROC (*Receiver Operating Cha-*

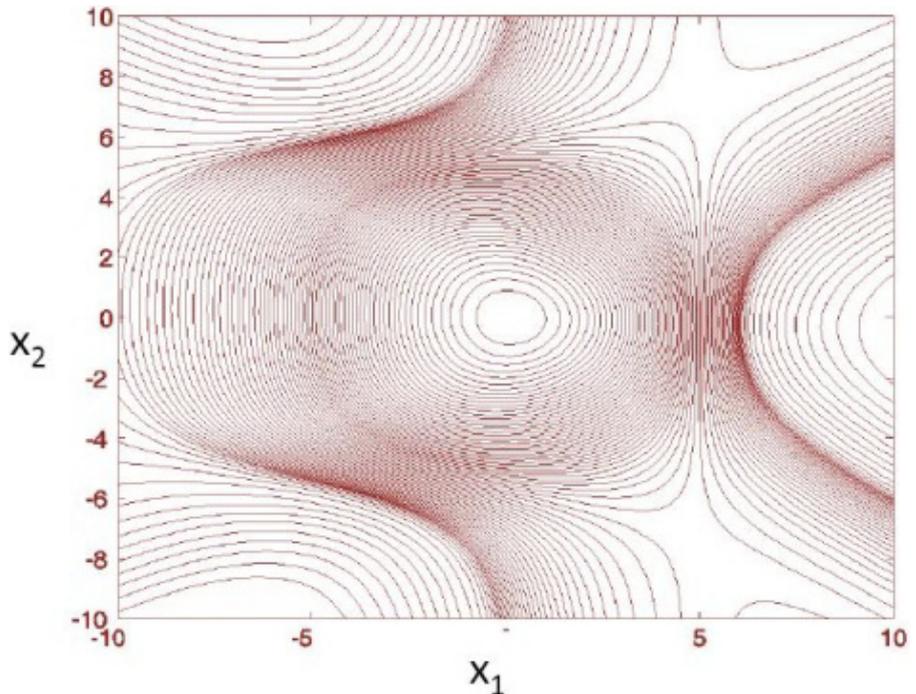


Fig. 7 Fronteras aproximadas por un perceptrón de 2 entradas y 3 neuronas intermedias.

racteristic, gráficas de la probabilidad de detección en función de la probabilidad de falsa alarma) obtenidas para  $N=8$  pulsos. Se han considerado los valores más bajos de probabilidad de falsa alarma para los que el error de estimación es inferior al 10%. El valor de SNR (*Signal to Noise Ratio*) utilizado para generar los conjuntos de entrenamiento se denota con TSNR (*Training Signal to Noise Ratio*). Los valores utilizados para estimar la probabilidad de detección se denotan simplemente como SNR. En el caso de los blancos Swerling 1, una red con solo 3 neuronas intermedias puede implementar una muy buena aproximación del detector óptimo. En cambio, en el caso de los blancos Swerling 2, ha sido necesario aumentar el número de neuronas y aun así los resultados dependen de la TSNR elegida. Para estos casos se han propuesto otras soluciones en las que la función de base es Gaussiana (Redes con Funciones de

Base Radial, RBFNNs) obteniendo los resultados mostrados en la figura 10.

### Detección de blancos en clutter Weibull no estacionario

Para probar la aplicabilidad de los detectores neuronales en entornos de clutter no Gaussiano y no estacionario, se ha considerado el problema de la detección radar en clutter Weibull.

En [8] se presenta un estudio donde, atendiendo a referencias bibliográficas, se simula clutter marino en el que los parámetros de forma y escala permanecen constantes en cada exploración, pero varían aleatoriamente de exploración a exploración. Debido a la dificultad en el cálculo de la fdp de un vector de variables aleatorias Weibull correladas, no ha sido posible formular matemáticamente el detector de Neyman-Pearson. Por esta razón, como detector de referencia se ha considerado una aproximación al detector óptimo propuesta por A. Farina en [9].

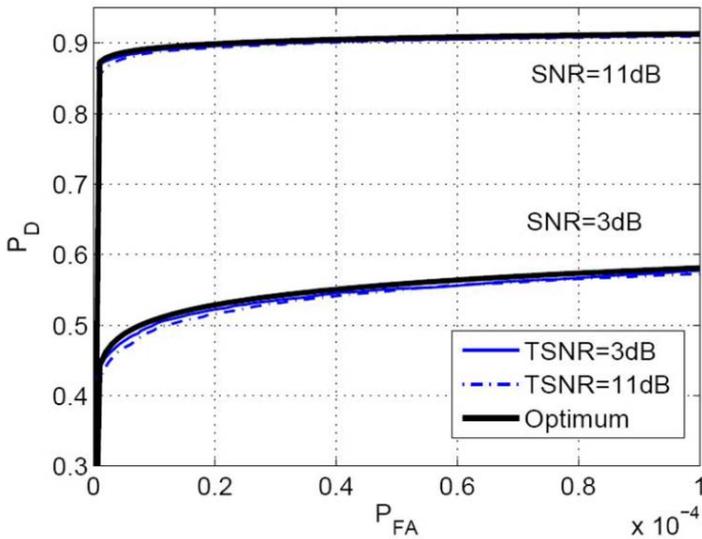


Fig. 8 Curvas ROC estimadas para un MLP. Blancos Swerling 1

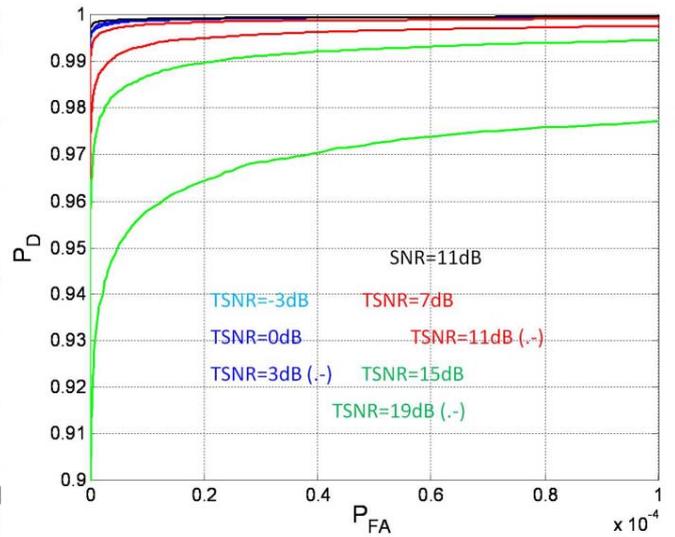


Fig. 9 Curvas ROC estimadas para un MLP. Blancos Swerling 2.

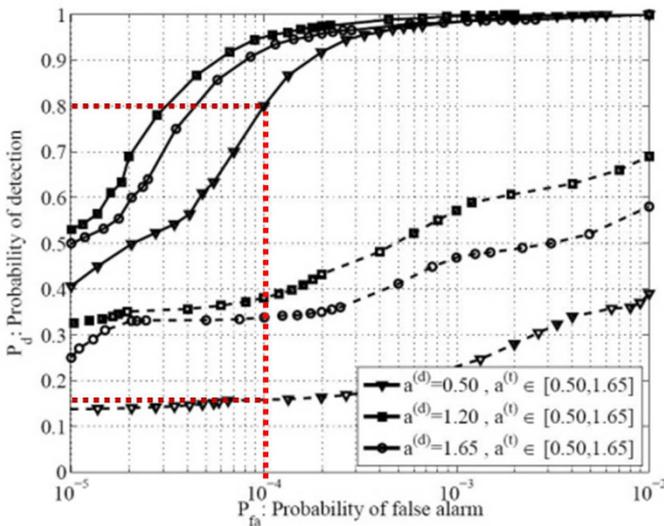


Fig. 10 Curvas ROC estimadas para una RBFNN. Blancos Swerling 2.

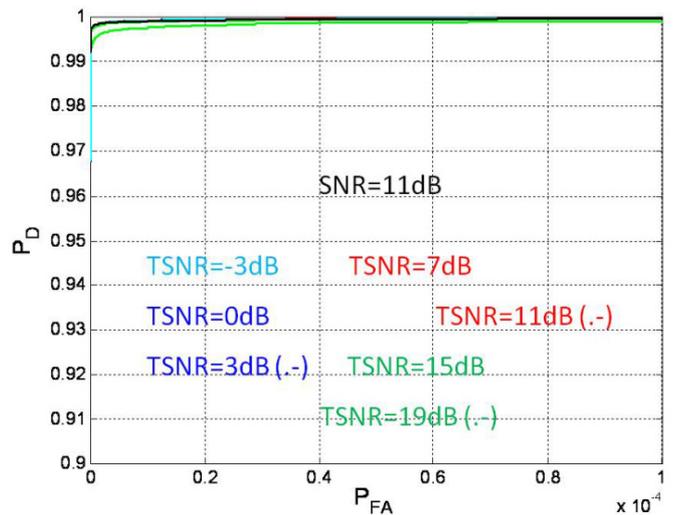


Fig. 11 Curvas ROC estimadas: detector de referencia (línea discontinua) y MLP (línea continua)

En el experimento se han considerado tres valores diferentes del parámetro de forma y se han diseñado tres redes neuronales y tres detectores de referencia como el propuesto en [9]. Los valores elegidos para el diseño de los detectores se denotan como  $a^{(d)}$  y aparecen en la leyenda de la figura 12, en la que se muestran los resultados obtenidos con perceptrones multicapa de 8 entradas (correspondiente a  $N=4$  pulsos), 10 neuronas intermedias y una salida. Los 6 detectores se han testeado sobre los mismos conjuntos de matrices de datos en los que el parámetro de forma Weibull, que en este

caso se denota como  $a^{(l)}$ , varía aleatoriamente en los márgenes indicados en la leyenda de la figura. Para todos los valores de  $a^{(d)}$  y probabilidad de falsa alarma considerados, la probabilidad de detección obtenida con el detector basado en una red neuronal es significativamente superior a la obtenida con el detector de referencia diseñado para el mismo valor de  $a^{(d)}$ . Por ejemplo, para una probabilidad de falsa alarma igual a  $10^{-4}$  y  $a^{(d)}=0,5$ , la probabilidad de detección obtenida por el detector basado en una red neuronal es de 0,8 (80%) y la probabilidad de detección obtenida con el detector de referencia

es inferior a 0,2 (20%). Estos resultados ponen de manifiesto la superioridad del detector basado en redes neuronales.

**Conclusiones**

Se ha presentado un estudio de la viabilidad de las redes neuronales para el diseño de detectores radar. Las principales conclusiones que pueden extraerse son las que se presentan a continuación:

- En el diseño de los detectores radar, el criterio de detección más extendido es el de Neyman-Pearson, el cual maximiza la probabilidad de detec-

ción manteniendo la probabilidad de falsa alarma menor o igual a un valor fijado de antemano. El principal inconveniente de esta solución es la necesidad de conocer las fdps bajo las dos hipótesis (blanco ausente y blanco presente), que en los casos de interés en aplicaciones radar son desconocidas y además, cambiantes. Las redes neuronales surgen como una herramienta útil para aproximar al detector óptimo de Neyman-Pearson, cuando sólo disponemos de ejemplos pre-clasificados.

- Se han propuesto soluciones basadas en redes neuronales para explotar su capacidad de aprender a través de la interacción con su entorno (proceso de entrenamiento) y modificar sus parámetros libres (los pesos sinápticos) para aproximar el detector de Neyman-Pearson.
- En un primer caso de estudio se han considerado blancos Gaussianos en ruido aditivo blanco y Gaussiano (modelo aplicable al ruido térmico de toda cadena receptora). Se han presentado los detectores óptimos para blancos completamente correlados (Swerling 1) y completamente incorrelados (Swerling 2, cuyas propiedades estadísticas son como las del ruido térmico), demostrando que no siempre el detector de envolvente es la solución óptima. Comparando las curvas ROC de estos detectores y las de las redes neuronales entrenadas, se puede concluir que las redes neuronales son capaces de aproximar los detectores óptimos.
- En un segundo caso de estudio, se ha considerado la detección de blancos radar en presencia de ruido aditivo blanco y Gaussiano y de *clutter* Weibull no estacionario (cuyos parámetros varían aleatoriamente exploración a exploración). Debido a la dificultad en expresar la fdp de variables aleatorias Weibull correladas, la solución aproximada propuesta por A. Farina se ha considerado como detector de referencia. Se ha demostrado que en situaciones en las que los parámetros del *clutter* cambian aleatoriamente, las redes neuronales superan al detector de referencia diseñado bajo los mismos supuestos (valores de los parámetros del *clutter*) proporcionando unos valores de probabilidad de detección significativamente superiores para la misma probabilidad de falsa alarma.

### Referencias

- [1]. S.J. Russell, P. Norvig (2003), *Artificial intelligence: a modern approach (2<sup>nd</sup> Edition)*, Prentice Hall.
- [2]. D.W. Ruck, S.K. Rogers, M. Kabrisky, M.E. Oxley, B.W. Suter, (1990), *The multilayer perceptron as an approximation to a Bayes optimal discriminant function*, IEEE Trans. On Neural Networks, Vol. 1, nº 4.
- [3]. M.P. Jarabo-Amores, M. Rosa-Zurera, R. Gil-Pita, F. López-Ferreras (2009), *Study of Two Error Functions to Approximate the Neyman-Pearson Detector Using Supervised Learning Machines*, IEEE Trans. On Signal Processing, Vol. 57, nº 11.
- [4]. Neyman, Pearson (1933), *On the problem of the most efficient test on statistical hypothesis*, Phil. Trans. Roy. Soc., A 231, nº 9.
- [5]. S. Haykin (1990), *Neural networks. A comprehensive foundation (2<sup>nd</sup> edition)*, Prentice Hall Inter., Inc. USA.
- [6]. G. Cybenko (1989), *Approximation by superpositions of a sigmoidal function*, Mathematics of Control, Signals and Systems, Vol. 2.
- [7]. M.D. Srinath, P.K. Rajasekaram (1996), *An introduction to statistical signal processing with applications (2nd edition)*, Prentice-Hall, USA.
- [8]. R. Vicen-Bueno, M. Rosa-Zurera, M.P. Jarabo-Amores, D. de la Mata-Moya, (2010), *Coherent detection of Swerling 0 targets in sea-ice Weibull-distributed clutter using Neural Networks*, IEEE Trans. On Instr. and Meas., Vol. 59, No. 12.
- [9]. A. Farina, A. Russo, and F. Scannapieco (1987), *Radar detection in coherent Weibull clutter*, IEEE Trans. Acoustics, Speech and Signal Process., vol. 35.

## Boletín de Observación Tecnológica en Defensa

Disponible en <http://www.defensa.gob.es/areasTematicas/investigacionDesarrollo/>