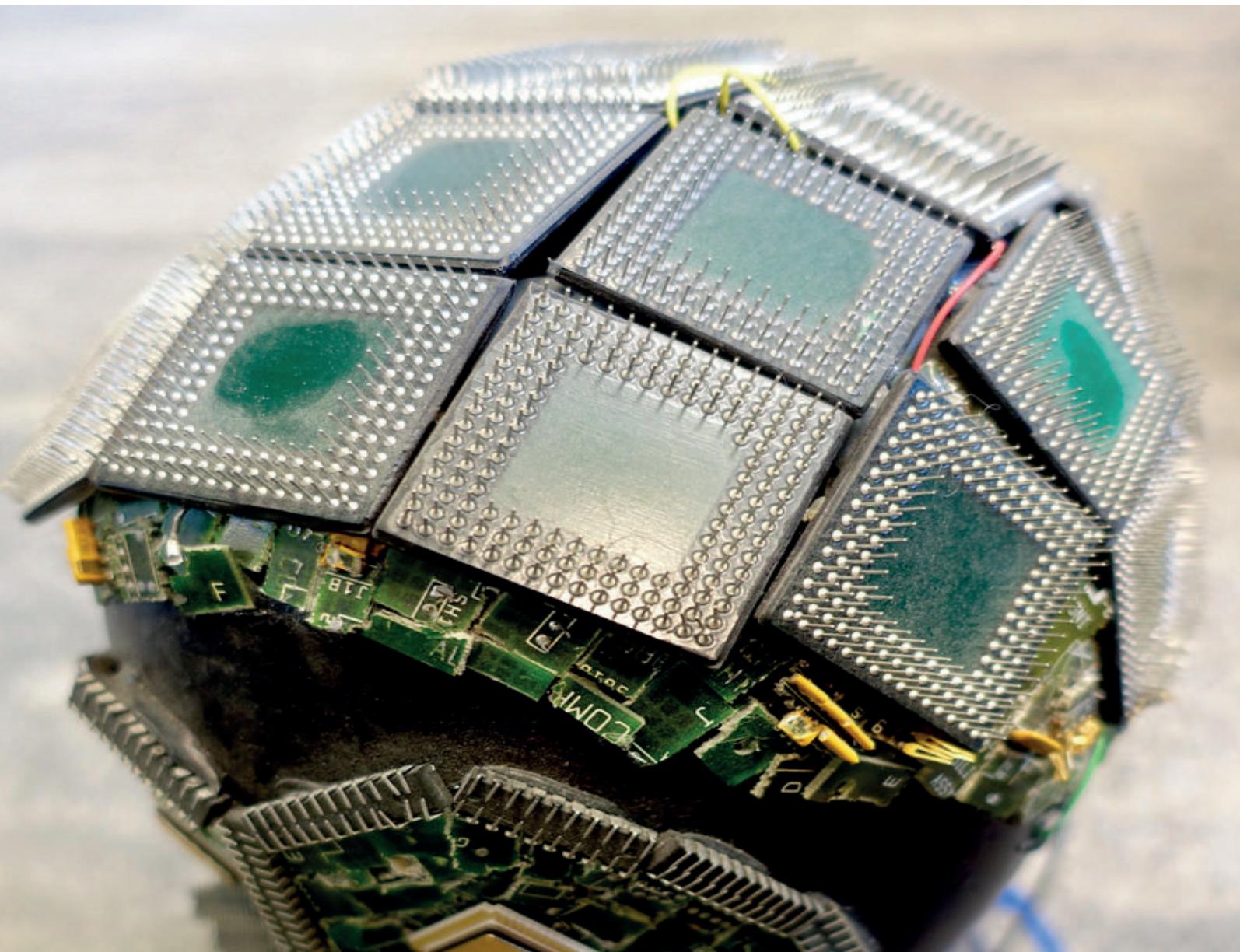


Boletín

DE OBSERVACIÓN TECNOLÓGICA EN DEFENSA



SUBDIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
Boletín de Observación Tecnológica en Defensa n.º 51 • 3.º trimestre de 2016



Deep Learning

La paradoja de la inversión en desarrollo
Aplicación de estructuras inflables en el sector Defensa



Edita:



NIPO en línea: 083-15-183-4
NIPO impresión bajo demanda: 083-15-182-9
ISSN edición electrónica: 2444-4839

Autor: Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT), Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación (SDG PLATIN) de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM). C/ Arturo Soria 289, 28033 Madrid; teléfonos: 91 395 46 31 (Dirección), 91 395 46 01 (Redacción); observatecno@oc.mde.es.

Director: TCol. Juan Manuel González del Campo Martínez

Redacción: Héctor Criado de Pastors, Jaime de la Parra Díaz.

Consejo Editorial: Óscar 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): Óscar Rubio Gutiérrez; Observatorio de Electrónica (OT ELEC): Yolanda Benzi Rabazas; 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 Miguel 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, Guillermo Carrera López; Observatorio de Sistemas Espaciales (OT SESP): María Isabel Corzo Díaz; Observatorio de Sistemas Navales (OT SNAV): Cristina Mateos Fernández de Betoño, Jaime de la Parra Díaz; Observatorio de Sistemas Terrestres (OT STER): Cap. Carlos Calderón Carnero, Susana Fonseca Villa; Observatorio de Tecnologías de la Información, Comunicaciones y Simulación (OT TICS): Bernardo Martínez Reif, Isabel Iglesias Pallín.

Portada: Deep learning. (<https://www.flickr.com/photos/jurvetson/29215737084>)

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

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



DGAM
Subdirección General de Planificación,
Tecnología e Innovación

CONTENIDOS

Editorial

Actualidad

- 4 ¿Dónde hemos estado?
- 6 Celebración en España de la 38ª Reunión plenaria del Panel AVT
- 7 DARPA invierte en la tecnología de sales de plomo para detectores de infrarrojo no refrigerados
- 9 Estudios de viabilidad del Programa CEDS-FSP

Tecnologías Emergentes

- 12 Título: Aplicación de estructuras inflables en el sector Defensa

En Profundidad

- 14 Deep learning
- 17 La paradoja de la inversión en desarrollo

INNOVACIÓN E INGENIERÍA

La innovación es la creación o modificación de un producto o proceso al introducir novedades en su estado actual. Es uno de los indicadores más significativos del progreso de una sociedad y una de las medidas de la competitividad entre organizaciones similares o con los mismos intereses. Una civilización, una nación o una empresa pueden “cambiar de aspecto” con respecto a cómo se encontraban en un estatus previo al introducir cambios innovadores en su forma de hacer las cosas o en las herramientas que usa para hacerlas. Específicamente, en el dominio militar, es sencillo enlazar el poderío de un país con su capacidad de innovación.

La ingeniería es el conjunto de conocimientos científicos y la aplicación de metodologías bien estructuradas para el desarrollo de la tecnología, para la utilización eficiente de los recursos y fuerzas de la naturaleza en beneficio de la sociedad o para la resolución de nuevos problemas. Es una actividad que transforma el conocimiento científico en algo práctico y productivo.

La ingeniería se soporta en las ciencias formales como la lógica o las matemáticas, así como en las ciencias naturales, la física, la química o la biología, utilizándose como la aplicación de conocimientos existentes, para la resolución de nuevos problemas.

La ingeniería constituiría, por tanto, una de las etapas del proceso de innovación tecnológica mediante la transformación de los resultados científicos en productos o procesos nuevos. Según el Manual de Oslo OCDE (1995), las actividades del proceso de innovación son todos aquellos pasos científicos, tecnológicos, organizativos, financieros o comerciales, que realmente se enfocan a la obtención de productos, nuevos procesos o, al menos, sustancialmente mejorados. La actividad de I+D, la adquisición de tecnología, la comercialización de productos o el lanzamiento de la fabricación estarían entre ellas.

La diferencia entre el resultado de la innovación y la obra de ingeniería estriba en que hay obras de ingeniería que no aportan mejoras sobre las ya existentes y, por lo tanto, no serían innovadoras. Si la construcción de un nuevo puente no aporta otras características con respecto a otro ya existente que no sean la diferente ubicación, dimensiones, etc., se estaría hablando exclusivamente de ingeniería. Si por el contrario, se utilizan aspectos novedosos referidos a la concepción, materiales o métodos constructivos, sería innovación.

La innovación tiene además un carácter sociocultural debido al impacto que produce la utilización de un nuevo artefacto o la diferente forma de acometer los problemas. Según ese impacto, se puede clasificar en *disruptiva*: aquella que abre nuevos mercados, industrias o campos de actividad en la esfera cultural; *incremental*: produce cambios en las tecnologías existentes mejorándolas pero sin cambiar sus características fundamentales; *cambios en los sistemas tecnológicos*, combinación de las dos anteriores, que provocan efectos en diferentes áreas de producción o permiten el surgimiento de otras; y *cambios en los paradigmas tecnológicos*, los cuales provocan revoluciones industriales debido al amplio espectro de aplicación de los sistemas tecnológicos, afectando a las condiciones de producción de todos los sectores de la economía.

La innovación no está restringida a la creación de nuevos productos, ni a desarrollos tecnológicos, ni a ideas revolucionarias. Se reconoce en la utilización dual de la misma tecnología en disciplinas distintas, o aparece como producto de la colaboración de diferentes técnicas, buscando la sinergia de ideas y consiguiendo mejorar la sociedad. La ingeniería es una parte fundamental para lograr esa innovación puesto que proporciona las herramientas y técnicas de base que facilitan ese proceso.

Actualidad

¿Dónde hemos estado?

20 de Junio

● Jornada de Sistemas de Vehículos Terrestres

La Fundación Círculo de Tecnologías para la Defensa y Seguridad celebró en la base militar “El Goloso” (Madrid), una jornada sobre los vehículos de tierra utilizados, y que están en proyecto, por las Fuerzas Armadas. Se contó con la intervención de representantes del Ejército de Tierra y de las empresas fabricantes de vehículos y sus sistemas. Durante la jornada fueron presentadas las distintas tecnologías utilizadas en los blindados, así como la logística necesaria para un correcto uso de las mismas, y se realizó una exhibición de los vehículos operativos en la actualidad.



11 y 12 de julio

● XII seminario de los Cursos de Verano de la UPM – Programas de la UE en el ámbito espacial

El objetivo fue proporcionar, por parte de expertos del Ministerio de Defensa, CDTI, ISDEFE y la ESA, una visión global del conjunto de las capacidades tecnológicas en diferentes programas de la UE del ámbito espacial como Galileo, Copernicus, Observación de la Tierra y el Sistema SST, que cubren tanto las necesidades gubernamentales, como de defensa, dando a conocer los beneficios en los desarrollos tecnológicos de los sistemas espaciales a la industria y a los actores directamente involucrados en proyectos de sistemas espaciales, que a su vez les pueda permitir incorporar, integrar y/o obtener *inputs* de otros programas.



7 al 9 de septiembre

● XIIAMETIC - 9º Seminario “Los satélites como un elemento clave para la defensa y las aplicaciones gubernamentales”

A través de estas jornadas, organizadas por Hisdesat y Acorde, se dieron a conocer la importancia del impulso y las necesidades en el ámbito espacial de la industria nacional en defensa y espacio, tanto por sus beneficios a nivel estratégico, como la importancia de los servicios y aplicaciones que se prestan en diferentes capacidades espaciales, centrándose en las comunicaciones por satélite, para cubrir necesidades gubernamentales y propias del Ministerio de Defensa. Uno de los aspectos fundamentales que se trataron fue la importancia de las políticas y posición estratégica del Sector Espacial ya que es un actor cada vez más activo en el uso del Espacio y las aplicaciones derivadas basadas en el uso de las tecnologías espaciales.



... entre otros eventos

¿Dónde hemos estado?

20 de septiembre

- **Sistemas de aeronaves pilotadas por control remoto (RPAS) en el entorno naval**

Con motivo de la VI Semana Naval de la Armada, la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio (ETSIAE) organizó, entre otros actos, unas jornadas destinadas al estado actual de los vehículos aéreos pilotados remotamente en el seno del sector naval.



I Encuentro Escribano

Con motivo de la inauguración de sus nuevas instalaciones en Alcalá de Henares, la compañía Escribano organizó un encuentro en el que se presentaron las actividades en innovación tecnológica de la compañía, relacionadas con estaciones de armas para todo tipo de plataformas, así como exoesqueletos para su utilización en el sector sanitario. En dicho evento participaron distintas figuras y personalidades del sector público y privado, entre los que estuvo el Director General de Armamento y Material, en representación del Ministerio de Defensa.



22 y 23 de septiembre

- **EXPODRÓNICA 2016**

Los días 22 y 23 de septiembre se celebró en Zaragoza la segunda edición de Expodronica, considerada la feria de drones de uso civil más importante en España. Esta edición contó con un total de 80 expositores, repartidos en 10.000 metros cuadrados de exposición y aproximadamente 7.000 visitantes a lo largo de las dos jornadas. En la feria se pudieron conocer las novedades presentadas por las diferentes empresas tanto nacionales como internacionales que se dieron cita.



26 al 30 de septiembre

- **38ª reunión plenaria del Panel AVT de la STO (OTAN)**

El Centro de Congresos y Exposiciones de Ávila acogió durante la última semana de septiembre la reunión plenaria de otoño del Panel AVT (*Applied Vehicle Technology*), enmarcado en la Organización de Ciencia y Tecnología de la OTAN o STO. La reunión, organizada por la Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación de la DGAM, contó con más de 450 asistentes procedentes de distintos países de la OTAN y de naciones asociadas. Durante la semana se reunieron más de sesenta grupos técnicos y tuvieron lugar tres ciclos de conferencias que contaron con una nutrida participación. Más información en páginas interiores.



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

... entre otros eventos

Celebración en España de la 38ª Reunión plenaria del Panel AVT

Autores: Fernando Íñigo Villacorta, Tomás A. Martínez Piquer; Área de Cooperación Internacional en I+D, SDGPLATIN.

Palabras clave: AVT, STO, OTAN, Tecnología aplicada a vehículos.

Líneas de Actuación Funcional relacionadas: LF 3.1; LF 3.3; LF 3.4; LF 3.5.

Durante la semana del 26 al 30 de septiembre tuvo lugar la 38ª reunión semestral del Panel AVT, organizada por el Ministerio de Defensa a través de la Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación de la DGAM, en el Centro de Congresos y Exposiciones de Ávila "Lienzo Norte".

El Panel AVT (*Applied Vehicle Technologies*) es uno de los siete comités científico-técnicos a través de los cuales la Organización de Ciencia y Tecnología de la OTAN o STO (*Science and Technology Organization*) promueve la puesta en marcha de actividades de investigación científica y tecnológica en colaboración relacionadas con defensa. La STO cuenta en la actualidad con una cartera de más de 250 actividades, en las que participan alrededor de 5.000 expertos científicos, técnicos y operativos pertenecientes a las diferentes naciones OTAN y a sus países asociados.

La misión que persigue el Panel AVT es la mejora de los vehículos empleados en defensa, a través de la promoción del avance en las tecnologías relacionadas. Los temas de trabajo del AVT abarcan los sistemas mecánicos, las estructuras y los materiales, los sistemas de propulsión y de potencia, así como los aspectos de estabilidad, control y prestaciones de todo tipo de plataformas militares: terrestres, marítimas, aéreas y espaciales.

Al igual que el resto de los paneles, el AVT se reúne de manera plenaria dos veces al año con el objeto principal de realizar el seguimiento de las actividades en marcha y proponer y acordar el lanzamiento de nuevas actividades. Estas reuniones se organizan en los distintos países de la Alianza Atlántica, siguiendo un turno rotatorio. Transcurridos once años

desde la última vez que el Panel AVT visitó España, el Ministerio de Defensa aceptó la invitación de organizar la 38ª reunión del Panel en otoño de 2016.

Las reuniones del AVT son las más numerosas del conjunto de los paneles de la STO, al acoger no sólo el encuentro plenario de los representantes oficiales de las naciones, sino también las reuniones de la práctica totalidad de los grupos técnicos subordinados al Panel. Además, a lo largo de la semana se suelen celebrar conferencias sobre temas diversos. En el caso particular de la reunión de Ávila, se congregaron durante la semana más de sesenta grupos técnicos y tuvieron lugar tres ciclos de conferencias sobre los temas "Best Practices for Risk Reduction for Overall Space Systems" (AVT-257), "Progress and Challenges in Validation Testing for Computational Fluid Dynamics" (AVT-246) y "Coated Component Condition Assessment and Remaining Life Prediction for Advanced Military Air Vehicles" (AVT-242). En total, la reunión del AVT en Ávila contó con la participación de más de 450 expertos científicos y técnicos pertenecientes a 24 de las 28 naciones de la OTAN y a otros países como Australia, la República de Corea, Sudáfrica, Suecia y Suiza, siendo esta reunión la mayor celebrada hasta la fecha en la historia del AVT.

El acto inaugural del evento contó con la presencia del Alcalde de Ávila, D. Jose Luis Rivas Hernández, que ofreció una cálida bienvenida a todos los asistentes en nombre de la ciudad. En representación del Ministerio de Defensa, intervino en dicho acto el Dr. Tomás Martínez Piquer, Jefe del

Área de Cooperación Internacional en I+D de la SDGPLATIN y representante en la Junta Directiva de la STO. El Dr. Tomás Martínez Piquer insistió en su discurso en el papel crucial de la Ciencia y Tecnología para la OTAN, como herramienta imprescindible para la adaptación a un entorno que cambia a velocidades vertiginosas y de manera cada vez más impredecible. Finalmente, en representación del AVT intervino su presidente, el Sr. Michael T. Huggins, del Laboratorio de Investigación de Ejército del Aire de Estados Unidos (AFRL, USAF), que ofreció una panorámica de los trabajos del AVT y agradeció el compromiso y contribución de España a las actividades de la Alianza.

Tras una semana de intenso trabajo, la percepción general de los asistentes es que la 38ª reunión del Panel AVT ha constituido todo un éxito, habiendo recibido la delegación española numerosas muestras de agradecimiento por el interés y la dedicación que se han puesto en los distintos detalles de organización de esta reunión.

En conclusión, este evento ha demostrado una vez más que tanto las reuniones del AVT como las del resto de los paneles de la STO constituyen foros esenciales para promover el intercambio de conocimiento y el avance científico en beneficio de la defensa y seguridad de las naciones OTAN y de sus aliados. Consciente de ello, el Ministerio de Defensa seguirá impulsando la participación de los expertos nacionales en los distintos grupos de trabajo de la STO, la mayor organización del mundo dedicada a la investigación en ciencia y tecnología relacionada con defensa.



Fig. 1. Representantes de las naciones OTAN en el panel AVT. (Fuente: © Ministerio de Defensa).

DARPA invierte en la tecnología de sales de plomo para detectores de infrarrojo no refrigerados

Autor: Germán Vergara, NIT

Palabras clave: DARPA, PbSe, detección sin refrigeración, sensores de infrarrojos de alta velocidad, NIT, detección de disparos, seekers de bajo coste, cámaras, visores, detectores de gases.

Metas Tecnológicas relacionadas: MT 2.3.1; MT 2.3.3.

La Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados de Defensa (DARPA) de EEUU acaba de aprobar, dentro de su programa *Wafer Scale Infrared Detectors* (WIRED), una inversión de más de veinte millones de dólares en los próximos tres años para el desarrollo de tecnologías avanzadas de sales de plomo, de aplicación en detectores de infrarrojo no refrigerados y monolíticamente integrados con su electrónica de lectura en Si-CMOS. La apuesta que hace DARPA por el desarrollo de tecnologías basadas en las tradicionales sales de plomo viene a corroborar el actual interés en este tipo de “materiales desordenados” (así son conocidos los policristales) para aplicaciones de defensa. Una de las principales razones del renovado interés en este tipo de sensores de infrarrojo hay que buscarla en los avances realizados en los últimos años en España en la tecnología del seleniuro de plomo.

Desde hace décadas son bien conocidas las singulares y sobresalientes características de las sales de plomo como detectores de infrarrojos. En el apartado siguiente se describen con cierto detalle. A pesar de sus relevantes prestaciones, la tecnología tradicional de fabricación de las sales de plomo, fundamentalmente desarrollada en EEUU y basada en el depósito en fase líquida (conocida como CBD, *Chemical Bath Deposition*), llevaba años estancada y estigmatizada por la complejidad y limitaciones asociadas con su proceso de fabricación. Como prueba de ello cabe decir que

los detectores de mayor formato de sales de plomo existentes en el mercado eran líneas de doscientos cincuenta y seis detectores. El desarrollo en paralelo de otras tecnologías infrarrojas, junto con las limitaciones asociadas con su propia tecnología, había reducido en las últimas décadas el papel de los detectores IR de sales de plomo a unas pocas aplicaciones muy específicas.

El panorama cambió enormemente cuando se demostró la compatibilidad de una tecnología de seleniuro de plomo, diferente a la tradicional, con la tecnología de Si-CMOS. Esa tecnología, basada en el depósito en fase vapor (conocida como VPD, *Vapor Phase Deposited*), fue desarrollada íntegramente en España durante veinte años. En el artículo “Veinte años de investigación con seleniuro de plomo”, recientemente publicado en el Boletín de Observación Tecnológica n.º 48, se puede leer acerca de la historia y vicisitudes del desarrollo de la tecnología nacional de PbSe y su transferencia formal a la industria en el año 2008.

Desde entonces, todo el desarrollo, industrialización de procesos, fabricación y comercialización de los detectores han sido llevados a cabo por la industria española, en concreto, por la empresa *New Infrared*

Technologies (NIT). Tras la puesta a punto de la tecnología VPD PbSe, en 2014 NIT lanzó al mercado una cámara comercial de PbSe con un detector monolíticamente integrado con la electrónica de lectura Si-CMOS (NIT-Tachyon 1024). Este hecho tuvo repercusión internacional por ser la primera vez que un sensor de infrarrojo no térmico (cuántico) se procesaba monolíticamente sobre la electrónica de lectura en Si-CMOS en obleas de 200 mm de diámetro de acuerdo a estándares industriales de producción. Hoy la tecnología española de PbSe, singular y diferente al resto de tecnologías de sales de plomo existentes, está reconocida a nivel internacional, y la empresa NIT como fabricante y comercializadora de detectores de plano focal y cámaras de infrarrojo sensibles en la banda media sin necesidad de refrigeración.

Este hito tecnológico ha contribuido a la revisión de las tecnologías de sales de plomo existentes hasta el momento, cuyo desarrollo llevaba estancado varios años, y ha puesto el foco de atención de nuevo en las sales de plomo como materiales estratégicos y serios candidatos a llenar el hueco existente en dispositivos de plano focal sensibles a la radiación infrarroja de bajo coste y muy rápidos.

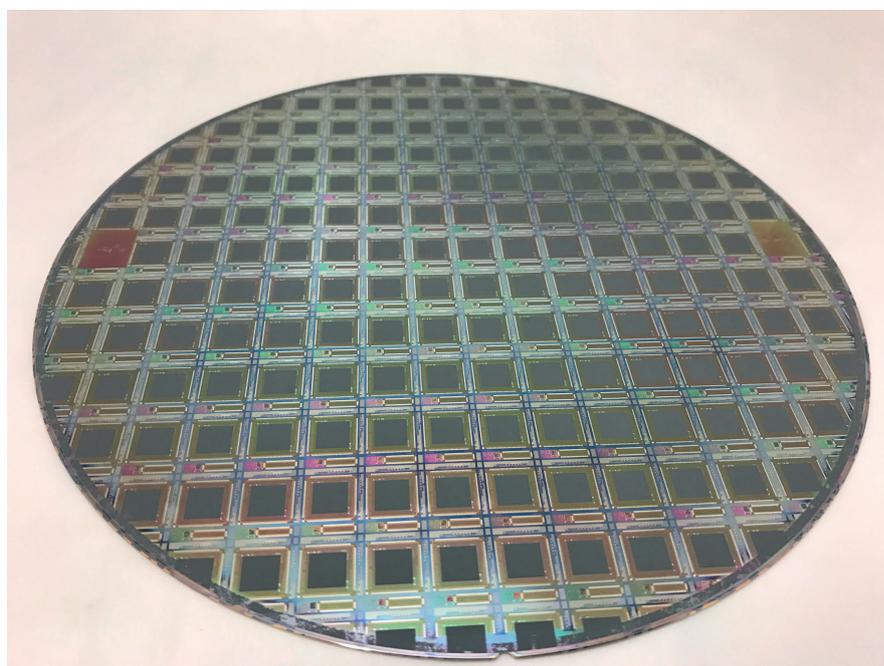


Fig. 1. Obleas de Si-CMOS de 200 mm de diámetro con matrices detectoras de PbSe procesadas por NIT. (Fuente: NIT).

Características y aplicaciones del seleniuro de plomo

En la actualidad existen multitud de tecnologías de detectores de infrarrojo. Muchas de ellas han alcanzado un grado de madurez y excelencia sobresalientes. Sin embargo en muchos casos siguen siendo tecnologías complejas y caras que, salvo excepciones, requieren enfriar los detectores muy por debajo de la temperatura ambiente para obtener buena sensibilidad. Ello obliga al uso de dispositivos criogénicos que, además de caros, requieren mantenimiento frecuente, su consumo, fragilidad y tamaño limita su aplicabilidad y tienen una vida útil limitada.

La aparición en los años ochenta y el impresionante desarrollo posterior de los sensores IR “uncooled” que operan sin necesidad de refrigeración criogénica, supuso una revolución en el ámbito de la detección infrarroja. A pesar de que sus prestaciones no alcanzan las proporcionadas por los sensores refrigerados, su relación prestaciones/coste es muy superior. Hasta tal punto, que hoy el adjetivo *uncooled* es buscado y demandado para múltiples aplicaciones, incluyendo las militares. Existe una gran demanda de detectores infrarrojos “uncooled”.

Las sales de plomo son tecnologías *uncooled* y, en consecuencia, potencialmente interesantes. Lo que convierte al PbSe policristalino en un material único y singular de gran interés en aplicaciones de defensa se resume a continuación:

- Presenta muy buena sensibilidad en la banda espectral de 1-5 μm sin necesidad de refrigeración. Típicamente un orden de magnitud por encima de los tradicionales detectores térmicos (microbolómetros, termopilas etc.) que trabajan en la banda del infrarrojo largo (8-12 μm). Desde el punto de vista de las aplicaciones de defensa cabe decir que la banda espectral 1-5 μm es especialmente interesante porque en ella se encuentra la emisión más intensa de una combustión como la que tiene lugar en el propulsor de un avión, misil, cohe-



Fig. 2. Microcámara 1024 de NIT. Primera cámara en el mercado no refrigerada sensible en el IR medio, con detector de PbSe policristalino. (Fuente: NIT).

te etc., o en el disparo de cualquier arma convencional. En consecuencia, el PbSe es un excelente detector de este tipo de eventos y, al no necesitar refrigeración, hace posible desarrollar sensores muy compactos y robustos capaces de soportar grandes solicitaciones mecánicas y aceleraciones como las que se soportan en muchos tipos armas y munición.

- Tiene una gran rapidez de respuesta. La naturaleza cuántica del PbSe le convierte en un dispositivo muy rápido, con tiempos de respuesta entre dos y tres órdenes de magnitud más cortos que los detectores térmicos no refrigerados. La rapidez de respuesta es un requisito imprescindible en aplicaciones relacionadas con la detección de fuego hostil (HFI, HFD), sistemas de protección activa (APS) o sensores y espoletas en munición inteligente donde todos los eventos ocurren en tiempos por debajo de 1 ms y el tiempo de respuesta debe ser muy corto. Otros detectores térmicos no refrigerados, como los microbolómetros, tienen constantes de tiempo por encima de los 10 ms, fuera de lo requerido por muchas de estas aplicaciones.
- Es el único detector de infrarrojo cuántico cuya tecnología es compatible con la tecnología de Si-CMOS. Esto quiere decir que se puede procesar el detector direc-

tamente sobre la electrónica de lectura (ROIC) sin necesidad de ningún tipo de proceso de hibridación y en grandes volúmenes, sobre obleas de diámetro superior a 200 mm. El coste de fabricación es reducido y se pueden procesar matrices de plano focal para cámaras y visores. Desde el punto de las aplicaciones militares, esta característica es ventajosa a la hora de reducir tamaños, consumos y costes. *Seekers* de bajo coste, cámaras, visores y detectores de gases en sistemas autónomos no tripulados, sistemas de detección de disparos en plataformas aéreas de ala móvil son algunas de las aplicaciones que están demandado este tipo de detectores.

En definitiva, iniciativas como el programa WIRED de DARPA son una muestra evidente de que los detectores de infrarrojo basados en sales de plomo han vuelto para llenar el hueco dejado por otras tecnologías infrarrojas no refrigeradas en importantes aplicaciones de defensa y militares. Los avances tecnológicos realizados en nuestro país en la tecnología del PbSe han sido clave en el resurgimiento de tecnologías fotónicas basadas en “materiales desordenados” como las sales de plomo. Actualmente la industria española lidera el diseño, fabricación y comercialización de cámaras infrarrojas de alta velocidad no refrigeradas sensible al infrarrojo medio.

Estudios de viabilidad del Programa CEDS-FSP

Autor: Angélica Acuña Benito, OT NBQ, SDGPLATIN.

Palabras clave: Soldado a pie, protección y supervivencia, combatiente.

Metas tecnológicas relacionadas: MT 4.1.1; MT 4.1.2; MT 4.1.3; MT 4.1.4.

El programa europeo CEDS (*Combat Equipment for Dismounted Soldier*) comenzó en julio del 2005 en el marco del LOI-EDIR FA (*Letter of Intention - European Defence Industry Restructuring - Framework Agreement*) con la participación de cinco países (Alemania, España, Francia, Italia y Suecia). Su objetivo es la armonización de los requisitos militares del equipamiento de combate en campo para soldados a pie en un marco temporal del año 2015 en adelante. El resultado final del trabajo en el marco de la LoI fue el desarrollo de un CST (*Common Staff Target*). En términos generales, el CST es un documento que identifica necesidades en capacidades y representa la aportación principal para una fase posterior que puede ser un pro-

grama de cooperación en armamento o para el sostenimiento de una capacidad ya existente.

En las consideraciones finales del documento CST se recomendaba la continuación del programa para la elaboración del documento CSR (*Common Staff Requirements*). El CSR traslada las necesidades expresadas en el CST a requisitos militares. Este documento formula posibles soluciones y tiene en cuenta también aspectos tecnológicos, económicos e industriales. Asimismo se analizan los riesgos existentes y las acciones de mitigación que pudieran necesitarse. En este sentido, se acordó llevar a cabo unos estudios de viabilidad con el objetivo de apoyar los requisitos operativos identificando las posibilidades ofrecidas por tecnologías innovadoras en los ámbitos de observación, energía, factores humanos y supervivencia. Para ello se decidió lanzar un programa abierto a cooperación y adjudicado por libre competición, eligiendo como marco para su desarrollo a la Agencia Europea de Defensa (EDA).

El Acuerdo de Programa desarrollado en el marco de la EDA (B-1143-GEM1-GP) incorpora un conjunto de estudios de viabilidad y se conoce como CEDS-FSP (*CEDS - Feasibility Study Programme*). Inicialmente se comprometieron a participar nueve naciones, si bien finalmente

fueron ocho (Alemania, Austria, España, Finlandia, Francia, Portugal, Rumania y Suecia), puesto que Italia se retiró del programa al decidir abordar el desarrollo de este sistema a través de un programa nacional. Finlandia fue la encargada de liderar el programa y el coste total ascendió a 2,8 M€ (350 K€ por nación). El retorno de la inversión nacional ha sido del 130,4%, a través de la participación de tres entidades nacionales (Aitex, Fecsa y GMV) en cuatro de los ocho proyectos financiados. Los proyectos seleccionados comenzaron en enero del 2013 y todos menos uno acabaron en diciembre del 2015. Con los fondos sobrantes tras la adjudicación de los proyectos, en noviembre de 2016 se ha puesto en marcha un estudio de conclusiones con una duración de seis meses.

Información general de los proyectos CEDS-FSP

Observación: En este ámbito se seleccionaron dos proyectos, OBSURV y *Precisión Target*.

- OBSURV "*OBS*ervation Under *Re*duced *Vi*sibility". Proyecto llevado a cabo por entidades rumanas. Su objetivo era la definición de una posible solución para la observación en condiciones de visibilidad reducida (humo, niebla, polvo, lluvia, nieve, arena) con el fin de asegurar la ca-

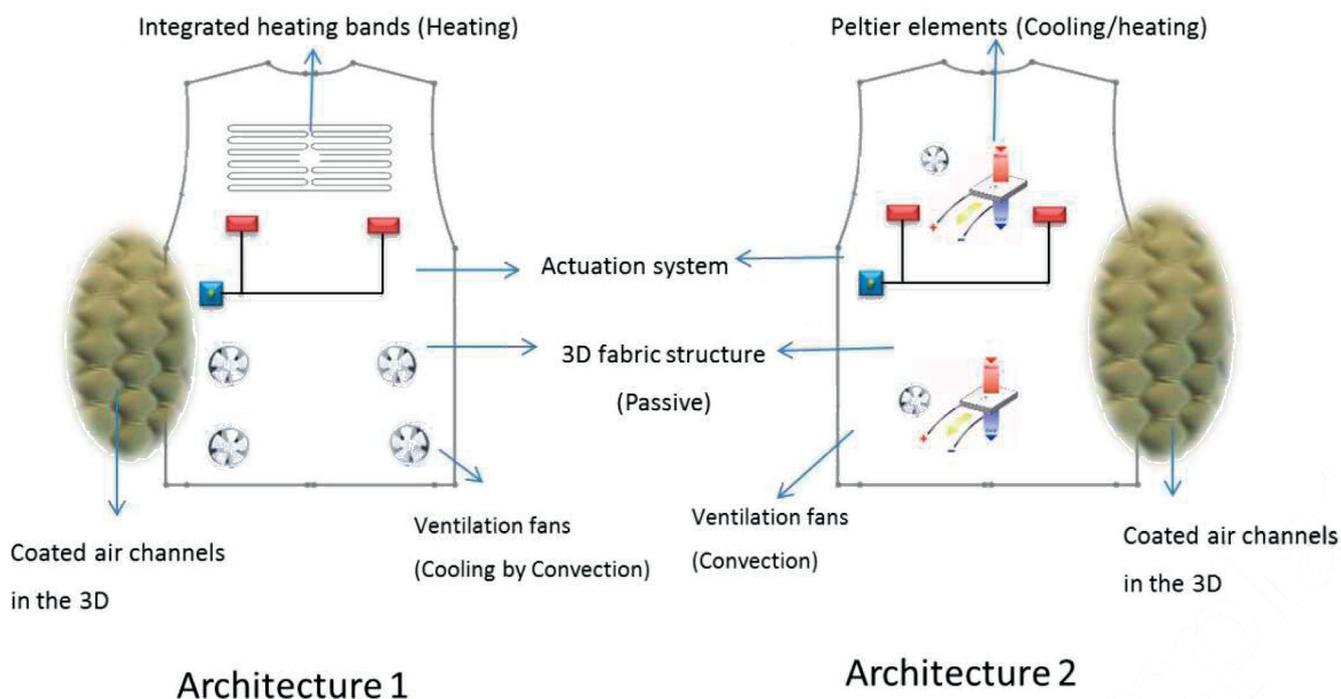


Fig. 1. Pruebas realizadas por las fuerzas armadas portuguesas en el Proyecto ACCLITEXSYS (Fuente: Resumen ejecutivo del Proyecto ACCLITEXSYS)

pacidad de observación del soldado a pie bajo este tipo de condiciones. Tras el estudio se concluye que aún no existe una solución a este problema, pero que los avances tecnológicos podrían permitir la aparición de soluciones viables en el mercado a corto-medio plazo.

- **PRECISION TARGETING.** Proyecto llevado a cabo por el consorcio liderado por España (GMV) y que cuenta con una entidad alemana (ESG) y portuguesa (FFCUL) como socios. Su objetivo era definir una arquitectura de referencia abierta y proporcionar recomendaciones para el desarrollo del futuro sistema de control de fuegos con capacidades mejoradas en cuanto a interoperabilidad, modularidad y flexibilidad. El nivel de madurez alcanzado es de un TRL 2-3, habiendo analizado todas las funciones críticas requeridas, formulado el concepto tecnológico del sistema de control de fuego para armas pequeñas y definido una arquitectura abierta del sistema cuya estandarización, según el consorcio, facilitará el desarrollo de sistemas más eficaces al centrarse en componentes específicos. En el proyecto no estaba previsto ningún desarrollo, por lo que el siguiente paso que se recomienda es el realizar una prueba de concepto. Por otro lado, se han detectado sinergias potenciales si el sistema de control de fuego fuese integrado con sistemas de mando y control, lo que

supone ventajas en cuanto a navegación, designación de blancos, y alerta fratricida.

Energía: Fueron dos los proyectos seleccionados en esta área: SPER-PACK y Energy Harvesting.

- **SPER-PACK "Soldier Portable Energy Reserve PACK Project".** Proyecto de un año de duración liderado por Portugal (TEKEVER) que cuenta con Suecia (FOI) y Francia (CEA y SAGEM) como socios. Su objetivo era evaluar diferentes tecnologías para la generación, almacenaje y gestión de energía para el soldado a pie en ambientes operacionales, así como proponer un diseño preliminar de un sistema de suministro de energía flexible para el soldado a pie. El consorcio concluyó que la base tecnológica e industrial europea podría abordar el desarrollo de un sistema de suministro para el soldado a pie basado en los requisitos, arquitectura y diseño de SPER-PACK. Como resultado del proyecto se definieron los perfiles de uso de energía para el soldado y los requisitos funcionales y operativos para el sistema de energía. Así mismo, se obtuvo una visión general de las tecnologías disponibles y prometedoras, y un diseño preliminar de los componentes hardware y software y de las interfaces.
- **ENERGY HARVESTING.** Proyecto liderado y llevado a cabo por entidades austriacas. A la fecha de redacción de este artículo este proyecto aún no había finalizado. Su objetivo

era demostrar la viabilidad técnica de un sistema para el aprovechamiento de la energía residual y su uso como parte del equipamiento personal de un soldado en operaciones. Por otro lado, se ha llevado a cabo una revisión del estado de arte en cuanto a tecnologías para aprovechamiento de energía residual y el diseño del concepto, y finalmente se propusieron tres prototipos para la fase de evaluación.

Factores Humanos: En este ámbito sólo se seleccionó un proyecto.

- **MUMSIS "Multi-Modal Soldier Interface System".** El VTT Oy finlandés lideró este proyecto, contando con Suecia (FOI, Saab AB y Penny AB) y con otras entidades finlandesas como Insta Oy y Mediamaster Oy como socios del consorcio. El objetivo era el desarrollo de un demostrador de un sistema soldado multimodal, inalámbrico que asegurase la recogida y comunicación a tiempo de la información dentro de la cadena de mando. Por otro lado, se pretendía evaluar el sistema desde el punto de vista de los factores humanos y que se definiesen los requisitos del sistema. Como resultado del proyecto se desarrollaron dos demostradores, uno para ambiente urbano y otro para ambiente ártico que se evaluaron en campo simulando operaciones de reconocimiento y de limpieza de edificios.

Supervivencia: En esta área se seleccionaron cuatro proyectos, ACCLITEXSYS, LIVEST, IHELMMAT, ACAT

- **ACCLITEXSYS "ACCLimatization TEXTile SYStem".** Proyecto liderado por Portugal (CITEVE, DAMEL), y en el que participan España (AITEX) y Francia (SAGEM). Su objetivo era estudiar el desarrollo conceptual y la evaluación de diferentes enfoques tecnológicos para la estabilización de la temperatura corporal del soldado. Las pruebas de concepto desarrolladas en el marco del proyecto se llevaron a cabo en colaboración con personal de la Escuela de Armas del ejército portugués, quienes evaluaron positivamente las mismas. Así mismo parece que mostraban una buena compatibilidad con los chalecos de protección balística y otro equipamiento militar.
- **LIVEST "Ultra-light Weight Bullet-proof Vests".** Aitex (España)



Fig. 2. Tejido en 3D incorporado en los prototipos de chaleco desarrollado en LIVEST (Fuente: Resumen ejecutivo del Proyecto LIVEST).

lidera este proyecto en el que también participan Francia (Paul Boye Tech) y Portugal (CITEVE, TEKEVER) y cuyo objetivo era demostrar la viabilidad en el desarrollo de una armadura ligera para protección corporal, ergonómica y con un alto nivel de rendimiento. Los resultados del proyecto concluyeron con el desarrollo de prototipos de chalecos ultraligeros para protección balística basados en tejidos en 3D y un prototipo de sistema para la monitorización estructural de las placas balísticas cuyo objetivo era evaluar la viabilidad de su integración en la armadura corporal.

- IHELMMAT “*Innovative HELMet Materials for soldier head protection*”. Aitex (España) también ha sido la entidad líder en este proyecto, y el resto de miembros del consorcio son entidades procedentes de España (FECSA), Finlandia (FY-Composites Oy) y Portugal (MOLDING, GLOBALTRONIC). El objetivo era la evaluación de la incorporación de nuevos materiales basados en matrices poliméricas para la protección de la cabeza frente a impactos balísticos. Las investigaciones se han centrado en nuevos materiales como por ejemplo los materiales de cambio de fase para la gestión del confort y de la temperatura en la cabeza del soldado y en nanopartículas de nanotubos de carbono embebidos en resinas o matrices poliméricas para mejorar las propiedades mecánicas y de impacto. Parece que el resultado final del proyecto ha sido una mejora de la protección balística del casco a través de la introducción de nanopartículas de carbono en la cubierta del mismo y del uso de nuevas técnicas de procesado.
- ACAMS “*Adaptive CAMouflage for the Soldier*”. Proyecto liderado por Suecia (FOI) y que cuenta con la participación de Alemania (IOSB) y Portugal (CITEVE, DAMEL). El objetivo era identificar, analizar y evaluar posibles métodos activos y pasivos para camuflaje adaptativo, de modo que se incrementase la supervivencia del soldado. Se ha conseguido mostrar conceptos para un camuflaje adaptativo en un escenario europeo realista tipo urbano y forestal. Así mismo, se ha desarrollado una prueba de concepto de poncho, que aunque no

es óptimo para uso operacional, sí ha permitido ver una mejora significativa de la firma del soldado y por tanto del nivel de protección. Se ha recomendado continuar trabajando para desarrollar los conceptos y presentar un demostrador útil.

Para el estudio de conclusiones citado más arriba, denominado “ConCEDs”, se contemplan los siguientes objetivos:

- Evaluar los riesgos residuales tras los estudios realizados en el marco del CEDs y recogidos en el CSR.
- Identificar el nivel de madurez de las tecnologías de cara a mejorar el núcleo común (“common core”) y los módulos comunes para todas las áreas de capacidad relevante, con vistas a un posterior desarrollo de un sistema del combatiente futuro.
- Recomendar la implantación en futuros sistemas soldado o identificar tendencias en investigación que introduzcan mejoras en los mismos.

Para ello se propone estudiar y analizar los resultados obtenidos en el Programa CEDs que reúnen 700 requisitos militares comprendidos en siete matrices especificadas en el CSR.

Los resultados de los estudios de viabilidad llevados a cabo han servido como referencia para el lanzamiento de un estudio, financiado con presupuesto operativo de la EDA denominado “Standard Architecture for Soldier Systems” STASS, que

se dividió en dos partes. El STASS I “Standard Architecture for Soldier Systems- Power”, con un periodo de duración de nueve meses (del 17 Sept. 2015 al 19 Oct. 2016), que tenía como objetivo el diseño de una arquitectura estándar para el sistema soldado centrado en la energía, teniendo en cuenta los enfoques y lecciones aprendidas de los sistemas europeos ya desplegados en campo e identificando los requisitos europeos para dicha arquitectura, sincronizándose con las actividades europeas en marcha (OTAN y Reino Unido).

La segunda parte, de seis meses de duración, STASS II “*Design of a standard architecture for soldier systems with focus on data management and infrastructure*”, fue publicada en el portal de la EDA el pasado 19 de julio del 2016. El objetivo es el desarrollo de una arquitectura abierta, de referencia global para los sistemas de soldado futuros, centrada en la gestión de datos e infraestructura que cubre la electrónica, la comunicación de voz y datos, el software, los dispositivos de interfaz con el soldado y los sensores. En ninguna de las partes participan entidades españolas.

Para finalizar, señalar que España, como muchos otros países europeos, tiene en marcha actualmente un programa nacional para el Sistema Combatiente a Pie (SISCAP), que actualmente se encuentra en la etapa de determinación de la alternativa de obtención.

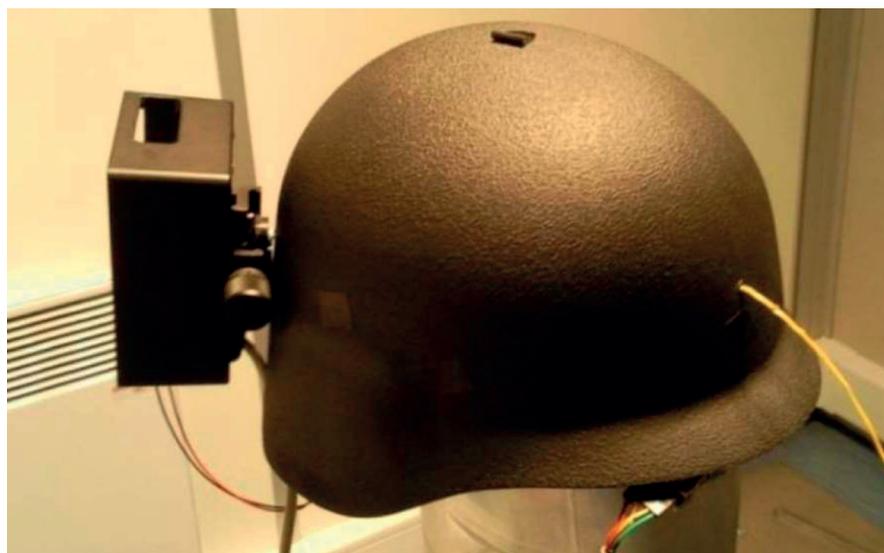


Fig. 3. Prototipo de casco desarrollado en el marco del Proyecto iHELMMAT (Fuente: Resumen ejecutivo del Proyecto iHELMMAT).

Tecnologías Emergentes

Título: Aplicación de estructuras inflables en el sector Defensa

Autor: Carles Estruch, Buildair - Ingeniería y Arquitectura, S.A.; José Antonio Sanz, Buildair - Ingeniería y Arquitectura, S.A.

Palabras clave: hangar, puente, inflable, hinchable, temporal, ligero, portátil, despliegue, rápido.

Líneas de actuación relacionadas: LF 3.2.

Interés y/o utilidad para Defensa

La intervención en situaciones de emergencia, así como en modificaciones organizativas de tipo logístico que den lugar a cambios de emplazamientos frecuentes, es una situación habitual en el ámbito de Defensa. La coordinación de los diferentes organismos de los centros de crisis o emergencias es indispensable para el buen funcionamiento de la cadena de mando, siendo uno de sus principales objetivos la rapidez con la que se consiguen desplegar ciertas dotaciones básicas.

Actualmente existen tipos muy diversos de estructuras temporales, con usos muy variados. Algunas de las que tienen un mayor interés para el sector Defensa serían los campamentos o hangares temporales de emergencia dedicados a actividades de carácter militar como la realización de maniobras militares, ayuda humanitaria, etc. En cuanto a las diferentes tipologías existentes, una de las más versátiles e interesantes es la de las estructuras textiles inflables.

Una de las tipologías estructurales más empleadas es la de tubos estructurales inflados con aire a muy baja presión (alrededor de 10-20 mbar). Dichas estructuras están formadas por una serie de arcos inflados, situados de forma consecutiva y en paralelo, hasta formar la longitud deseada. Estos arcos están típicamente fabricados con una membrana de material textil de alta resistencia, recubierta de una capa de PVC que le confiere la estanqueidad.

Los procesos de montaje y desmontaje resultan muy simples, puesto que el tejido es muy ligero, la estructura ocupa un volumen muy reducido al almacenarse y, por tanto, es de fácil manipulación. Basta con extender la estructura en el suelo, anclarla de acuerdo a los cálculos estructurales realizados previamente, conectar los motores de inflado, y en pocos minutos la estructura está preparada para su uso.

El mantenimiento se basa en tareas simples periódicas de revisión del conjunto, para verificar que los motores de inflado funcionan correctamente y que no hay zonas dañadas en la estructura textil que puedan hacer peligrar su estabilidad.

Este tipo de estructuras presentan una serie de características que las hacen muy ventajosas en relación a otras estructuras temporales y que serían las siguientes:

- Gran portabilidad, debido a su peso ultraligero y su volumen de almacenamiento muy reducido, lo que facilita enormemente la logística, pudiendo transportarse cómodamente en contenedores y/o pallets estándar.
- Los tiempos de montaje y desmontaje son muy reducidos, siendo el número de operarios necesarios mucho menor que para otras alternativas.
- Posibilidad de montaje en cualquier tipo de terreno.
- Modularidad: las estructuras pueden ampliarse en longitud si es necesario, sin más que añadir módulos

independientes adicionales, hasta alcanzar la longitud deseada.

- Reducido consumo energético. Es función principalmente del tamaño de la estructura, aunque también puede verse influido por las condiciones climáticas. Para dar una idea del orden de magnitud, el gasto anual en consumo eléctrico puede estar entre los 1.000 € (para un hangar de tamaño pequeño para 1 helicóptero militar) y los 6.000 € (para un hangar de tamaño grande, para 2 aviones militares de carga).
- Se trata de una tecnología 100% segura, contrastada a lo largo de los últimos años y proyectos, con diferentes especificaciones, condiciones ambientales, etc.
- Fácil uso por parte de los operarios y gestores de las actividades a desarrollar.

La empresa española Buildair (www.buildair.com), creada en 2001 por un grupo de profesores e investigadores de análisis estructural de la Universidad Politécnica de Cataluña, se dedica al desarrollo y fabricación de hangares inflables de rápido despliegue como los descritos anteriormente, para poder reducir el tiempo de asistencia en situaciones de emergencia o cambiantes. Algunas de estas estructuras dirigidas a los sectores de Defensa y Aeronáutico que ya se encuentran en funcionamiento son las que se citan a continuación:

- Hangar H54 de mantenimiento aeronáutico civil / militar para Airbus España, de 54 metros de ancho útil,



Fig. 1. Hangar H54 para Airbus. (Fuente: Buildair).



Fig. 2. Infografía proyecto de investigación Air-Bridge. (Fuente: Buildair).

110 metros de longitud y 23 metros de altura máxima. Instalado en la base de Airbus Getafe en junio de 2013. Actualmente, es la estructura inflable más grande del mundo.

- Hangar H45 de mantenimiento aeronáutico civil para Lufthansa Technik, de 45 metros de ancho útil, 62 metros de longitud y 18 metros de altura máxima. Instalado en Budapest en noviembre de 2014.
- 2 hangares H20 de mantenimiento aeronáutico militar (helicópteros) para el Ejército Polaco, de 20 metros de ancho, 32 metros de longitud y 10 metros de altura máxima cada uno. Instalados en Polonia en noviembre de 2015.

Puentes inflables de rápido despliegue

Actualmente, gracias a los avances en la tecnología de estructuras inflables, Buildair se encuentra en fase de desarrollo de prototipos de estructuras inflables que puedan ser utilizadas como puentes de rápido despliegue. Está desarrollando, a través de su proyecto de investigación Air-Bridge, un nuevo concepto de puente ultraligero de despliegue rápido, cuyos únicos elementos de carga son vigas infladas con aire a baja presión, capaces de resistir el peso y desplazamiento de vehículos de hasta 30 toneladas de peso. El sistema se basa en una combinación sinérgica de elementos esbeltos rígidos fabricados con nuevos materiales, y un tubo inflable de material textil de alta resistencia que confiere integridad al sistema.

En caso de catástrofe natural, los servicios de emergencia requieren desplegar de forma rápida y eficiente una serie de infraestructuras básicas para minimizar el impacto sobre la población civil. Se debe ofrecer siempre una res-

puesta inmediata para la estabilización y evacuación urgente de las víctimas o, en caso contrario, garantizar un suministro de materiales y productos primarios tales que puedan paliar la mala situación en la que se encuentran.

Las comunicaciones por carretera son críticas y, por tanto, el restablecimiento de los puentes debe hacerse en el menor tiempo posible, minimizando los esfuerzos de transporte y empleando los mínimos recursos posibles in situ, para permitir el acceso a los diferentes equipos de emergencia y la provisión de materiales y víveres de ayuda humanitaria.

Las soluciones actuales para los puentes de despliegue rápido fueron desarrolladas durante la Segunda Guerra Mundial, y desde entonces no han sufrido prácticamente innovaciones. Son soluciones pesadas, difíciles de transportar y que requieren un gran esfuerzo de montaje, muchas veces con necesi-

dades de equipamiento pesado. El concepto propuesto por Buildair facilitaría el transporte y montaje, ayudando a minimizar el impacto de las catástrofes naturales en las zonas afectadas. Con esta tecnología, se podrían conseguir puentes hasta siete veces más ligeros y menos voluminosos que las soluciones existentes, facilitando enormemente su transporte y montaje.

Conclusiones

Gracias al uso de estructuras inflables (hangares y puentes), de rápido y fácil despliegue, es posible disponer de estructuras ligeras, fáciles de transportar y montar, que permiten reducir las dificultades operativas actuales en el ámbito de las estructuras temporales de despliegue rápido. La reducción en tiempos es vital para minimizar el impacto de las catástrofes naturales sobre la población civil, por lo que estas soluciones aportan claras mejoras a nuestra sociedad.

Esta tecnología está siendo desarrollada en España por la empresa Buildair. Se trata de una solución que además de su rápido y sencillo despliegue, respeta el medio ambiente, debido a su reducido consumo energético y, al terminar su función, se pueden retirar todos los componentes, reduciendo el impacto ambiental y neutralizando el impacto visual. Por otro lado, tiene una baja necesidad de cadena logística hasta entrega a cliente o usuario, ya que la necesidad de recursos materiales y dependencia energética se reduce drásticamente.



Fig. 3. Proyecto de investigación Air-Bridge. (Fuente: Buildair).

En Profundidad

Deep learning

Autor: David García Dolla, Área de Planificación y Control, SDGPLATIN.

Palabras clave: redes neuronales artificiales, big data, reconocimiento de imágenes, análisis de voz, GPU.

Metas tecnológicas relacionadas: MT 2.5.1; MT 6.1.2; MT 6.1.3.

Durante los últimos años se ha producido un enorme crecimiento de la capacidad para adquirir ingentes cantidades de datos procedentes de todo tipo de sensores distribuidos y de fuentes abiertas. Adicionalmente se han dado importantes pasos en la capacidad para gestionar todos esos datos y ponerlos a disposición de los usuarios en todo momento y lugar, proporcionándoles, entre otras, capacidades de búsqueda. No obstante, continúa existiendo un cuello de botella en el análisis e interpretación automática de esos datos, en especial, cuando se trata de imágenes o vídeos, lo cual supone un problema importante, dado la enorme dimensión de los datos disponibles.

En general, la capacidad de los ordenadores para analizar e interpretar la información sensorial dista mucho de las de los humanos, en particular, si es necesario realizar tareas de reconocimiento, generalización o abstracción. La complejidad del análisis varía mucho según factores tales como el dominio de la aplicación, la finalidad del análisis, las

condiciones y elementos presentes en la escena, el punto de vista, etc., lo que hace que las soluciones existentes sean válidas solamente para abordar problemas muy concretos.

La solución de este tipo de problemas se aborda frecuentemente desde una de las disciplinas vinculadas a la inteligencia artificial. Se trata de las técnicas de aprendizaje automático, que persiguen el desarrollo de la capacidad de los ordenadores para aprender de los datos disponibles, siendo capaces de proponer soluciones ante nuevos datos, normalmente en problemas relacionados con su clasificación en categorías o con la predicción de valores numéricos asociados a alguna variable (problemas de regresión numérica).

Si bien desde hace décadas se han venido produciendo notables avances con el desarrollo y utilización de nuevos algoritmos, muy pocos han captado el interés que desde hace unos pocos años están teniendo las denominadas técnicas de aprendizaje profundo (*deep learning*, en inglés).

Las tecnologías de aprendizaje profundo son una mejora de las redes neuronales artificiales, que alcanzaron una gran popularidad en los años ochenta y noventa. El fundamento de las redes neuronales es el de recrear unas estructuras de procesamiento de datos similares a las del cerebro animal de forma que, ante un estímulo de entrada, un sistema de

elementos muy sencillos (neuronas) interconectados entre sí, colaboran para producir un estímulo de salida. En principio, ninguna de las neuronas tiene asignada una tarea concreta. Más bien, las conexiones que las neuronas van creando y reforzando durante el proceso de aprendizaje permiten representar modelos matemáticos a través de la arquitectura de la red y los múltiples parámetros asociados a las conexiones. El resultado que se busca en la red es el de ser capaz de ir aprendiendo en base a la experiencia, construyendo representaciones de problemas altamente no lineales con capacidad para responder de forma correcta ante estímulos de entrada nunca antes recibidos.

A lo largo de los años se han desarrollado múltiples topologías de redes neuronales. La arquitectura de las redes neuronales consiste en la organización y disposición de las neuronas formando capas más o menos alejadas de la entrada y salida de la red. Los parámetros fundamentales de la red son fundamentalmente el número de capas, el número de neuronas por capa, el grado de conectividad y el tipo de conexiones entre neuronas. No obstante, factores tales como la necesidad de disponer de una importante capacidad de procesamiento para entrenar las redes, la necesidad de ir ajustando la red para asegurar la convergencia en el aprendizaje y evitar problemas de excesivo ajuste de la red a los datos de entrena-

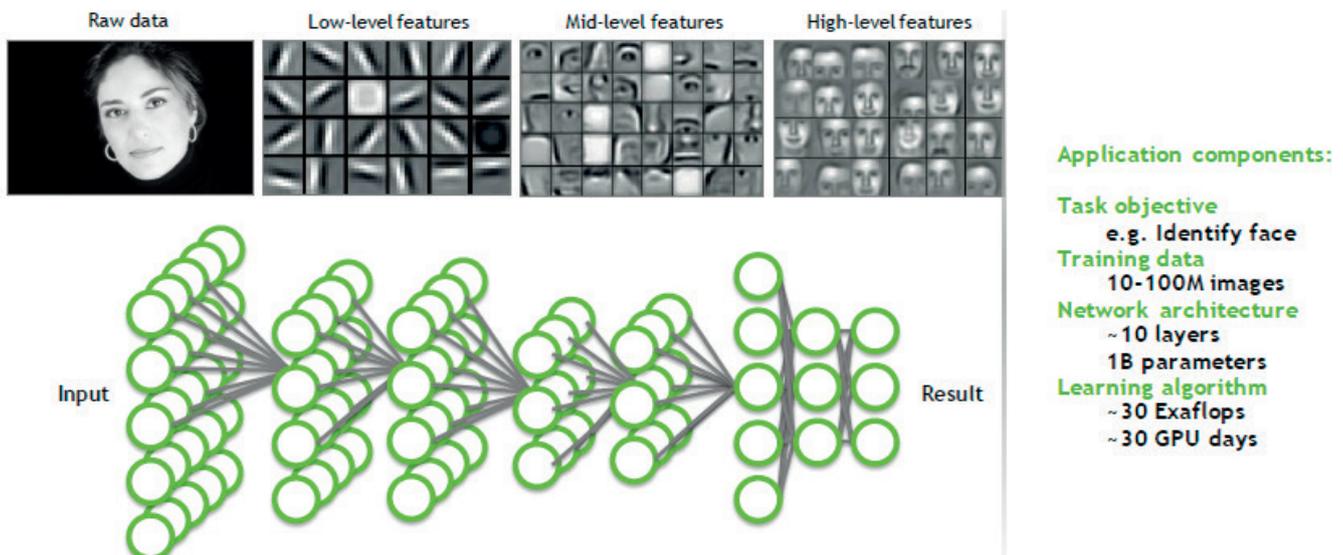


Fig. 1. Ejemplo de una CNN. (Fuente: NVIDIA).



Fig. 2. Empleo de DNN en reconocimiento de objetivos. (Fuente: NVIDIA - <https://blogs.nvidia.com/blog/2016/06/29/deep-learning-6/>).

miento (*overfitting*) ha dado lugar a que a menudo las soluciones que se han desarrollado tengan solamente unas pocas capas internas que no lograban alcanzar las expectativas creadas.

¿Qué es lo que está cambiando para que se vuelva a hablar de las redes neuronales artificiales, o más en particular, del aprendizaje profundo?

La existencia de múltiples capas internas es donde se encuentra uno de los elementos diferenciadores de esta tecnología, al permitir representar diferentes niveles de abstracción de los datos de entrada, mejorando la capacidad de predicción de la red. Y es precisamente en el desarrollo de nuevas técnicas que permiten trabajar con redes dotadas de más capas internas (varias decenas) con mayores conexiones donde las cosas más están cambiando. De ahí el nombre *Deep Neural Network* (DNN) que se vienen utilizando para referirse a este tipo de redes.

Algunos autores apuntan a dos factores como habilitadores de estos avances. En primer lugar, la posibilidad de

disponer de enormes cantidades de datos para entrenamiento, gracias al desarrollo del *big data*. Y en segundo, los avances en cuanto a *hardware* de procesamiento de datos y, muy especialmente, el desarrollo de las GPU (*Graphics Processor Unit*), es decir, los coprocesadores que desde hace años se incluyen en los ordenadores para realizar el procesamiento de gráficos o las operaciones de coma flotante, aliviando así la carga de trabajo de las CPUs de los ordenadores, sobre todo si trabajan con videojuegos o aplicaciones 3D interactivas. Dado que las GPUs están optimizadas para trabajar con grandes cantidades de datos y realizar las mismas operaciones, una y otra vez, es posible transferir a estas unidades una parte importante de las operaciones que se llevan a cabo en las redes neuronales durante el aprendizaje, mejorando notablemente las prestaciones y a muy bajo coste [1].

De esta manera, en los últimos años, los fabricantes de GPUs han venido adecuando sus desarrollos para facilitar su empleo en aplicaciones de aprendizaje, permitiendo que hoy en día se pueda

hablar de problemas cuyo análisis es masivamente paralelizable. Adicionalmente se han venido desarrollando conjuntos de librerías *software* (Caffee, CNTK, Theano, Tensorflow, Torch, etc.) que simplifican enormemente el desarrollo y despliegue de aplicaciones de aprendizaje profundo que permiten explotar al máximo las capacidades de una o múltiples GPUs.

Otra notable ventaja que presentan las DNN frente a las técnicas clásicas de aprendizaje automático es la simplificación del proceso de aprendizaje y la mejora en robustez frente a variaciones naturales en los datos de entrada. Así, por ejemplo, en aplicaciones que trabajan con datos de entrada complejos como imágenes o vídeos, normalmente es necesario analizar de forma manual los datos de entrada y determinar las características (elementos específicos en la escena) en torno a los que se debe centrar el aprendizaje, siendo además necesario implementar una etapa de extracción de esas características de forma que sean únicamente esos datos los que alimenten

el algoritmo de aprendizaje. La elección y extracción de estas características puede suponer un problema complejo y costoso que condicione las posibilidades del aprendizaje, además de estar condicionado por cambios en las condiciones de los datos (p.e. variaciones en iluminación). Pues bien, en el caso de las DNN, se introducen directamente en el algoritmo los datos de entrada originales (p.e. los píxeles de las imágenes) o con solo cierto preprocesamiento, siendo responsabilidad de la red, el analizar esos datos y aprender automáticamente las características que sirven como medio de discriminación

Otra línea en la que se está trabajando es en la de mejorar la capacidad de reutilización de las redes ya entrenadas para ser empleadas en problemas similares con pequeñas modificaciones (problema denominado *transfer learning*). La finalidad es reducir los tiempos de aprendizaje o solventar las situaciones en las que no se disponga de grandes cantidades de datos para entrenamiento en los nuevos problemas a analizar.

De todos los tipos de DNN que se han venido desarrollando en los últimos años, cabe destacar algunos de ellos por su singularidad. En particular, en el campo del procesamiento de imágenes desde aproximadamente el año 2012 se ha venido utilizando las denominadas redes neuronales convolucionales (CNN - *Convolutional Neural Networks*), que consisten en redes con varias capas internas interconectadas entre sí, que permiten extraer características de las imágenes con diferentes niveles de abstracción. Para ello, combina capas que aplican filtros sobre las imágenes con otras que submuestran para reducir su tamaño, hasta llegar a las últimas que se encargan de clasificar. Se están utilizando fundamentalmente en aplicaciones tales como reconocimiento de objetos, clasificación de imágenes, etc.

Por su parte, en aplicaciones de reconocimiento del habla o de escritura, generación de texto o voz, traducción automática, etc., se utiliza un tipo de red neuronal diferente (RNN - *Recurrent Neural Networks*), más orientada a analizar información secuencial (a diferencia de las CNN que son más aptas para analizar información espacial). En este tipo de aplicaciones, existe dependencia en el orden de las

palabras, lo que hace que la presencia de una, condicione las anteriores y las siguientes.

Todos estos avances están motivando que las grandes empresas dedicadas a la tecnología de gestión y análisis de datos (Google, Facebook, Baidu, Microsoft, etc.), así como numerosas *startups* estén desplegando aplicaciones basadas en DNN dedicadas a reconocimiento del habla, detección y reconocimiento de imágenes, análisis de lenguaje no estructurado, etc., en variados ámbitos como el de la medicina, redes sociales, conducción autónoma, observación de la tierra, etc. Asimismo, prestigiosas revistas, como *MIT Technology Review*, la han considerado en 2016 como una de las diez adelantos tecnológicos que más impacto van a tener en los próximos años.

¿Y cómo afecta esto al ámbito de defensa y seguridad?

El ámbito de defensa y seguridad es uno de los que puede beneficiarse de estos avances, dada la necesidad de analizar las crecientes cantidades de información sensorial que las agencias de inteligencia y ejércitos de cada país adquieren a diario, buena parte del cual, lo realizan operadores que analizan horas de vídeo en busca de objetivos.

Como ejemplo del interés que algunos organismos vinculados a defensa están teniendo en esta tecnología, cabe apuntar al estudio que la EDA ha licitado recientemente para profundizar en las aplicaciones que la tecnología de aprendizaje profundo puede tener en el ámbito militar.

También son varios los autores que apuntan posibles aplicaciones de esta tecnología a los ámbitos de defensa y seguridad. Así, en [2] se destaca como principal interés la posibilidad de llevar las DNN a la "palma de la mano del combatiente". Si se logra miniaturizar el *hardware* necesario para ejecutarlas, sería posible embarcar en pequeños drones el equipo necesario para adquirir las imágenes y realizar el reconocimiento de objetos a bordo, sin necesidad de enviarlas a la estación en tierra por analistas humanos o centros de procesamiento de datos. También permitiría a equipos de operaciones especiales o cuerpos de seguridad realizar algo similar mediante drones, cámaras portátiles u otros dispositivos, de forma que se pudiese

realizar en el sitio la identificación automática de personas u objetos, distribuyendo esa información inmediatamente en la red.

Es por ello, por lo que resulta especialmente interesante los avances que están logrando en el Instituto Tecnológico de Massachusetts [3] en el proyecto *Eyeriss* que tiene por objetivo el desarrollo de un *hardware* para acelerar la ejecución de CNN en el estado del arte (múltiples capas, millones de pesos, diferentes arquitecturas, etc.) que además sea energéticamente eficiente para su uso en dispositivos portátiles. Se trata de un proyecto que cuenta entre otros con financiación de la agencia americana de investigación DARPA. Además, el hecho que un *hardware* como éste pueda llegar a ser integrado en el futuro en los teléfonos inteligentes [4] está haciendo que otros fabricantes ya estén trabajando en esta misma línea pensando en múltiples aplicaciones para uso civil, con la consiguiente movilización de inversiones y aceleración de los desarrollos, lo que hace pensar que quizás, a no muy largo plazo, se trate de una realidad.

En resumen, se trata de una tecnología que puede aportar importantes mejoras en la capacidad de los centros de procesamiento de datos para llevar a cabo análisis automáticos de grandes volúmenes de datos procedentes de sensores. Adicionalmente, la combinación de DNN con *hardware* miniaturizado parece ser la puerta a nuevas aplicaciones que, en el caso de desarrollarse, pueden ser ciertamente disruptivas para el ámbito de defensa y seguridad.

Referencias

- [1] *Deep Learning on GPUs*. NVIDIA. Marzo 2016.
- [2] *New microchip could increase military intelligence powers exponentially*. Patrick Turner. Febrero 2016. <http://www.defenseone.com>
- [3] *Energy-friendly chip can perform powerful artificial-intelligence tasks*. <http://news.mit.edu/2016/neural-chip-artificial-intelligence-mobile-devices-0203>
- [4] *A new MIT computer chip could allow your Smartphone to do complex AI tasks*. <http://www.theverge.com/2016/2/5/10922646/mit-eyeriss-chip-deep-learning-neural-networks>

La paradoja de la inversión en desarrollo

Autor: Daniel García Guelbenzu, Director General MBDA España.

Palabras clave: OTS, off-the-shelf, desarrollo, desarrollo tecnológico, I+D, inversión.

Áreas de actuación funcional relacionadas: AAF 1; AAF 2; AAF 3; AAF 4; AAF 5; AAF 6.

A los amantes del esquí este deporte les ha demostrado la contrariedad entre la realidad y el sentido común, ya que es mucho más seguro inclinarse hacia la pendiente a pesar de que nuestra mente nos obligue a separarnos de ella.

Ese mismo fenómeno es extrapolable a otros ámbitos de la vida en los cuales la lógica que seguiría nuestra mente se ve contradicha por la realidad. En el caso tratado, la decisión de un Ministerio de Defensa de responder a su necesidad, bien invirtiendo en el desarrollo de un producto, o bien comprando un producto disponible en el mercado ("off-the-shelf"), también se repite este fenómeno. La compra de un producto mediante desarrollo es sustancialmente más económica para la nación, y las ventajas son sobresalientes. La principal dife-

rencia radica en que la aproximación de desarrollo requiere de una política de estado, ya que los beneficios no son para un estamento determinado sino para el país, y en la constancia necesaria para mantener el modelo a lo largo del tiempo. Una vez se decide seguir esta aproximación habrá un periodo intermedio (en torno a los diez años) en el cual no se comenzará a disfrutar de las ventajas económicas del mismo, pero ya se podrá disfrutar del resto de las ventajas. Este artículo intenta mostrar, mediante el uso de un modelo sencillo aplicado a nuestro campo de actuación (el de los sistemas de misiles) que lo que la mente nos indica no siempre es así.

La modelización

Para comenzar se deben modelizar ambos escenarios, que a partir de ahora serán denominados OTS (off-the-shelf) y DES (desarrollo) con el fin de simplificar. El ejercicio puede repetirse para cualquiera de los sectores de la Defensa simplemente adaptando las hipótesis a la situación que se esté estudiando. De cualquier modo, los resultados siguen siendo válidos para cualquiera de los sectores.

En el modelo DES se considerará que se lleva a cabo un programa de desarrollo entre dos naciones (aunque podría aplicarse también a un programa puramente nacional). Las cifras del programa, elegidas en base a progra-

mas existentes en MBDA son:

- 100 M€ de inversión en fases de concepto y valoración (I+D) y 600 M€ en desarrollo.
- El consorcio adquiere 400 misiles y otros 2.750 se venden en la exportación.
- El precio del misil para el consorcio (1 M€) difiere del de exportación (1,8 M€).
- Crecimiento económico del 3% anual comenzando el primer año de producción.
- La inversión del consorcio en soporte es de 80 M€, acorde a los pesos relativos habituales de las diferentes fases del ciclo de vida (12% en este caso).
- España participa con un 15% (105 M€), y 200 misiles de producción (6.3% del total).
- El I+D dura cinco años, el desarrollo seis, la producción ocho y el soporte quince.
- La exportación se inicia cuatro años después de la Producción y dura diecisiete años.
- El impuesto de sociedades será del 18% (con exenciones fiscales), el IRPF del 20%, y el MINISDEF recuperará un 4% de las ventas de exportación.

DESARROLLO (M€)		Tecnologías I+D																	Desarrollo																	Producción																	Exportación																	TOTAL
Año		-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17																																									
Inversión I+D	15%	-3	-3	-3	-3	-3																																																																
Inversión desarrollo	15%																																																																					
Inversión producción - España	50%																																																																					
Inversión producción - Resto Partners	50%																																																																					
Soporte - España																																																																						
Soporte - Resto Partners & Export																																																																						
Venta de exportación																																																																						
Venta exportación aplicable a España																																																																						
Retorno a Defensa	4%																																																																					
Impuesto de sociedades	18%	0.1	0.1	0.1	0.6	0.6	0.5	0.6	1.6	1.6	1.1	1.1	5.5	5.7	5.8	6.0	5.0	5.2	5.3	5.5	5.7	5.8	6.0	6.0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0	108																																								
Impuesto de la renta	20%	0.4	0.4	0.4	2.4	2.4	1.9	3.7	5.6	5.7	3.9	4.0	12.6	12.9	13.3	11.7	10.0	10.1	10.4	10.7	11.1	11.4	11.5	11.5	11.8	12.2	12.6	12.9	13.3	231																																								
Flujo de Caja anual - España		-2	-2	-2	-15	-15	-13	-11	-36	-36	-24	-25	-10	-11	-11	-13	15	15	15	16	16	17	17	21	22	23	23	24	25	22																																								
Flujo de Caja acumulado - España		-2	-5	-7	-22	-37	-50	-61	-96	-132	-157	-182	-192	-203	-214	-227	-212	-197	-182	-166	-150	-133	-116	-94	-73	-50	-27	-3	22																																									
Personal		13	13	13	68	68	56	56	107	108	54	56	172	177	183	188	135	139	143	147	151	156	160	157	162	166	171	176	182	121																																								

"OFF-THE-SHELF" (M€)		Tecnologías I+D																	Desarrollo																	Producción																	Exportación																	TOTAL
Año		-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17																																									
Inversión I+D																														0																																								
Inversión desarrollo																														0																																								
Inversión producción - España																																																																						
Inversión producción - Resto Partners																																																																						
Soporte - España																																																																						
Soporte - Resto Partners & Export																																																																						
Venta de exportación																																																																						
Venta exportación aplicable a España																																																																						
Retorno a Defensa																																																																						
Impuestos de sociedades	18%																													10																																								
Impuesto de la renta	20%																													10																																								
Flujo de Caja anual - España		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-47	-49	-50	-52	-53	-55	-56	-58	-5	-5	-6	-6	-6	0	0	0	0	-460																																								
Flujo de Caja acumulado - España		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-47	-96	-146	-197	-251	-305	-362	-420	-425	-430	-436	-441	-447	-453	-460	-460	-460																																									
Personal		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	31	31	32	33	34	35	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9																																								

Fig. 1. Inversión en "off-the-self" y "desarrollo". (Fuente: MBDA).

en profundidad

- Se estima una carga laboral (1.800 h/año), un precio horario (100 €) y una relación mano de obra/material: I+D (90/10), desarrollo (80/20) y producción/soporte (40/60).
- Los resultados muestran el flujo de caja de la Administración Española.
- En el modelo OTS la necesidad se cubrirá mediante la compra de un producto ya existente al que se impondrán compensaciones industriales. Los números del programa se mantienen, pero en este caso España es ajena al consorcio:
- El Soporte español es de 64 M€ siendo proporcional al peso de España en la producción (6.3%) y a los pesos relativos de las fases del ciclo de vida (12%).
- España comienza la compra el mismo año en que adquiriría el misil en el consorcio.
- El MINISDEF no recupera dinero a través de la exportación.
- Las compensaciones industriales minoran en un 40% la carga de trabajo real a través de multiplicadores.

El modelo numérico y sus conclusiones

Tras llevarse a cabo el cálculo haciendo uso de las hipótesis arriba reseñadas, se obtienen los resultados de la figura 1, pudiendo sacarse las siguientes conclusiones:

- El desembolso total para el programa OTS es de 480 M€, mientras que para el programa DES es de 377 M€, o bien 317 M€ si se contabiliza el retorno al MINISDEF proveniente de las exportaciones. Es decir, entre un 21% y un 34% menor.
- Contabilizando los ingresos por impuestos (de sociedades e IRPF de las personas involucradas en los programas), el flujo total de caja para la Administración Española en el modelo DES es positivo (España gana 22 M€), mientras que el caso OTS es negativo (un desembolso de 460 M€).
- A lo largo de todo el programa OTS se mantiene una media de empleo anual de 9 personas, mientras que en el caso DES ésta es de 121 personas.

- Tras 10 años de haber lanzado la inversión DES inicial, el flujo de caja del programa OTS ya supera al del programa DES. Este hito acaece durante la producción y ocurre antes de iniciar la exportación, que es cuando se multiplican los beneficios.
- Si se analizan los números, y se insiste en aquellas conclusiones no tan obvias, se llega al convencimiento de que hay muchas más ventajas no económicas a considerar.
- Las FF.AA de los países del consorcio han sido capaces de reflejar sus requerimientos en el diseño del sistema, mientras que los clientes de exportación (España en el modelo OTS) adaptan sus requerimientos al producto existente.
- El modelo DES asegura siempre la última tecnología. La hipótesis, realista, considera que la exportación empieza 4 años después de la producción del consorcio, con lo que el cliente del modelo DES se adelanta una media de 6 años a las primeras exportaciones, lo que permite ir pensando en la evolución del producto.
- Las inversiones en I+D del modelo DES aseguran una media anual de 44 personas de la máxima cualificación (que se aumenta a 121 con personal de producción y soporte) y la empresa española ingresa 67 M€ de media anual en todo el periodo.

- La visibilidad de costes en un modelo DES es absoluta para la Administración, y la empresa nacional es la primera interesada en minimizarlos para utilizar el remanente en el desarrollo de otros productos. Además los márgenes del modelo DES son conocidos y controlados por la Administración.
- Las tecnologías obtenidas pueden tener aplicación en otros sectores, lo que asegurará retornos adicionales a la Administración.
- La industria asegura durante décadas la soberanía tecnológica del sistema en el país, lo que permite llevar a cabo modificaciones, integraciones y aumentar el valor añadido de la exportación de plataformas nacionales. A la larga esto asegura la ventaja operativa, la libertad de acción y la seguridad de suministro.

La superposición en el tiempo

Pero las ventajas arriba mencionadas son incluso más visibles en el momento en el que se comienzan a superponer programas a lo largo del tiempo, de modo que se consiga un nivel de inversión estable. Para representar dicha superposición se ha considerado que el nivel objetivo de la inversión sostenida sea de 200 M€ anuales. Se lanzarán por tanto programas basados en el programa DES descrito, que pueden ser entre un 100% (iguales) y un 180% del mismo. El inicio de los nuevos pro-

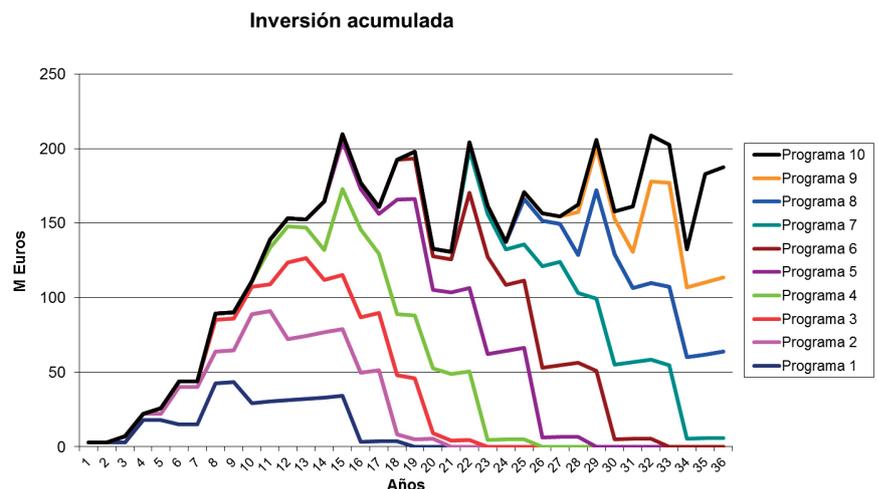


Fig. 2. Inversión acumulada. (Fuente: MBDA).

Inversión acumulada bruta y neta (con retornos a MINISDEF)

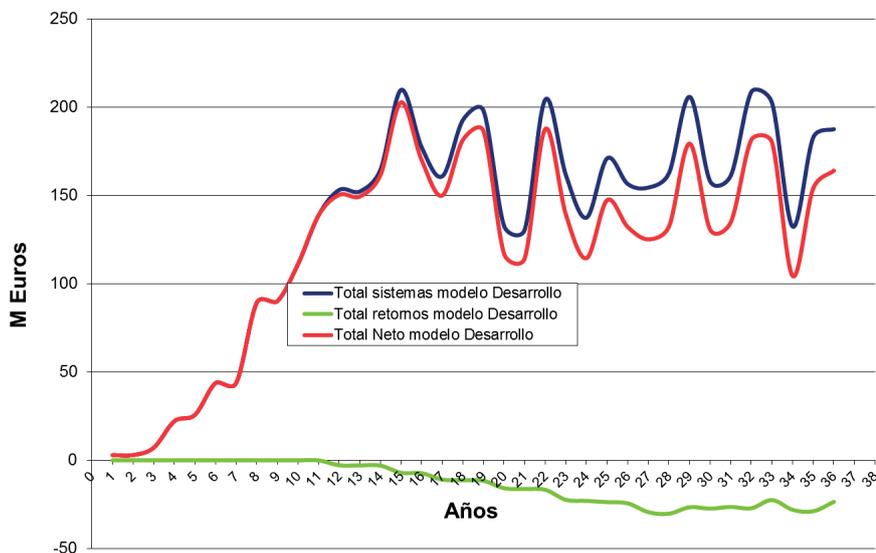


Fig. 3. Inversión acumulada bruta y neta (con retornos a MINISDEF). (Fuente: MBDA).

Conclusión

Basado en las hipótesis establecidas en un principio (más que conservativas en el campo de los sistemas de misiles) el sentido común se ve contradicho por los números, ya que se demuestra que el modelo DES es sustancialmente más barato que el modelo OTS. Es la paradoja de invertir en desarrollo. El cambio de las hipótesis para adaptarlas a otro sector de la Defensa podrá variar los números, pero las conclusiones seguirán siendo válidas. Más allá de las ventajas económicas, hay un sinfín de ventajas que afectan a la optimización de capacidades de las FF.AA y de la industria nacional, a la creación de empleo de calidad, al auto sostenimiento del sistema, y en definitiva a conseguir la soberanía que permite la libertad de acción, la ventaja operativa y la seguridad de suministro.

Como el modelo no alcanza su estabilidad hasta pasados 23 años, es necesario no variar la estrategia una vez lanzado el modelo. Políticamente esto requiere una convicción generalizada de sus bondades y un acuerdo de estado. El nivel de ambición de inversión anual es modulable acorde a las capacidades a conseguir por parte de cada país, pero dicho nivel tendrá que ser sostenido a lo largo del tiempo para que el modelo perdure. Eso garantizará que España consiga sus capacidades militares a coste cero.

gramas DES se decala entre dos y cuatro años.

La figura 2 muestra cómo se presentaría dicha superposición de programas DES (el 1 es el original), y la figura 3 muestra la envolvente de los mismos (en azul), los retornos al MINISDEF por exportación (en verde), y la inversión neta del MINISDEF (en rojo).

Una vez fijada dicha envolvente neta DES, se puede pasar a la comparación con el modelo OTS en el que, de la misma manera se irán acumulando programas OTS con la misma proporcionalidad empleada al generar la envolvente DES. La figura 4 muestra dicha comparativa (DES en azul y OTS en rosa), así como la corrección de DES por el pago de impuestos (en verde). Las conclusiones vuelven a ser inmediatas y muy contundentes:

- La acumulación de programas DES, corregida con los retornos del MINISDEF por exportación, permite que el nivel de inversión estabilizada (200M€) disminuya una vez se ha alcanzado dicha estabilidad, lo que permite un desembolso menor, o bien un importe adicional para ser invertido en programas adicionales.
- La inversión requerida en el modelo OTS supera a la del modelo DES a los 10 años de comenzar

las mismas, o bien a los 9 años si se tienen en cuenta los retornos a la Administración debidos a los impuestos. La diferencia entre inversiones diverge sustancialmente a partir de ese momento, siempre a favor del modelo DES.

- A los 23 años el modelo DES, incluyendo los impuestos, se ha estabilizado y comienza a no costar nada a la Administración (todas las ventajas son gratuitas), la cual debe seguir invirtiendo al mismo nivel para mantener el modelo.

Comparativa modelos "off-the-shelf" vs "desarrollo"

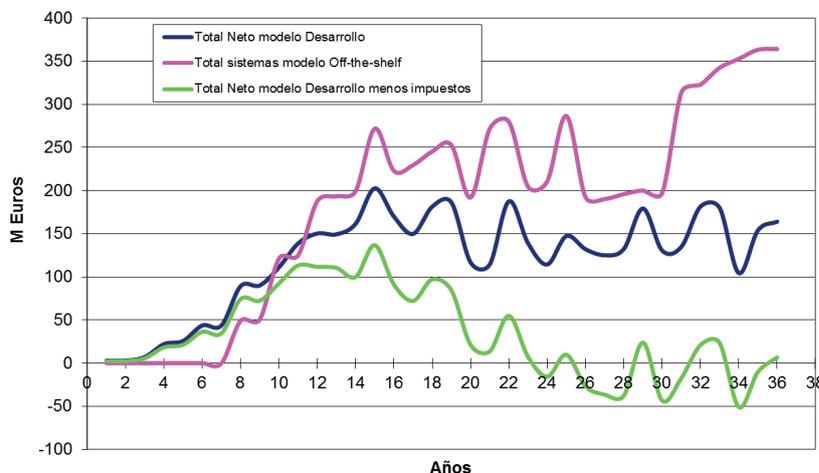


Fig. 4. Comparativa modelos "off-the-shelf" vs "desarrollo". (Fuente: MBDA).

Boletín de Observación Tecnológica en Defensa

Disponible en

<http://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/es-es/Contenido/Paginas/Publicaciones.aspx?cat=BOLETINES>

TECNOLÓGICOS <http://publicaciones.defensa.gob.es/revistas.html>



 **SOPT**
SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y
PROSPECTIVA TECNOLÓGICA



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE DEFENSA

SECRETARÍA
GENERAL
TÉCNICA

SUBDIRECCIÓN GENERAL
DE PUBLICACIONES
Y PATRIMONIO CULTURAL