Boletín DE OBSERVACIÓN TECNOLÓGICA EN DEFENSA

DIRECCIÓN GENERAL DE ARMAMENTO Y MATERIAL
ARMAMENTO Y MATERIAL

SUBDIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
Boletín de Observación Tecnológica en Defensa n.º 47 • 2.º trimestre de 2015

Aplicación de tecnologías inspiradas en la biología para protección del combatiente a pie

telémetros y designadores láser

Técnicas de visualización analítica

El futuro del grafeno (II): energía

Edita:

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE DEFENSA
SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA
SUBDIRECCIÓN GENERAL DE PUBLICACIONES Y PATRIMONIO CULTURAL

NIPO en línea: 083-15-183-4
NIPO impresion 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 85 (Redacción); observatecno@oc.mde.es.
Director: CF. Ing. José María Riola Rodríguez.

Redacción: Héctor Criado de Pastors.
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, Cristina Mateos Fernández De Betoño, Jaime de la Parra Díaz; Observatorio de Armas, Municiones, Balística y Protección (OT AMBP): Óscar Rubio Gutiérrez; Observatorio de Electrónica (OT ELEC): Yolanda Benzi Rabazas, Fernando Iñigo Villacorta; Observatorio de Energía y Propulsión (OT ENEP): Héctor Criado de Pastors; Observatorio de Defensa NBQ (OT NBQ): Angélica Acuña Benito; Observatorio de Materiales (OT MAT): Luis Requejo Morcillo; Observatorio de Óptica, Optrónica y Nanotecnología (OT OPTR): Ing. D. Fernando Márquez de Prado Urquía, Pedro Carda Barrio; Observatorio de UAVs, Robótica y Sistemas Aéreos (OT UAVs): Ing. D. José Ramón Sala Trigueros; Observatorio de Sistemas Navales (OT SNAV): CF Ing José María Riola Rodríguez, Juan Jesús Díaz Hernández; Observatorio de Sistemas Terrestres (OT STER); Observatorio de Tecnologías de la Información, Comunicaciones y Simulación (OT TICS): Ing. D. Francisco Javier López Gómez, Fernando Cases Vega.

Portada: Vista de detalle de la piel de un pie de gecko caminando sobre un cristal. Fuente: HTTP://bjornfree.com/galleries.html,BjørnChristian Tørrissen.
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.defensa.gob.es/areasTematicas/investigacionDesarrollo/sistemas/

SOPT
DGAM
Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación

CONTENIDOS

Editorial

Actualidad

4 ¿Dónde hemos estado?

6 Actualidad del Programa ETAP

8 Cualidades propulsivas de buques catamaranes

Tecnologías Emergentes

9 Técnicas de visualización analítica

11 El futuro del grafeno (II): energía

En Profundidad

14 Telémetros y designadores láser

18 Aplicación de tecnologías inspiradas en la biología para protección del combatiente a pie

Coincidente 2014

El Ministerio de Defensa es, por naturaleza, un gran consumidor de tecnología. Por ello, se hace patente la necesidad de tener que fortalecer, innovar o incorporar mecanismos para la transferencia del conocimiento científico-tecnológico a sus sistemas, conocimiento que, cada vez más, se desarrolla con mayor vigor en el mundo civil. No obstante, ya sabemos que apenas hay tecnologías militares o civiles por su propia naturaleza, en especial a niveles tecnológicos de madurez bajos, por lo que solamente cuando son aplicadas en sistemas adquieren tal condición. Este ámbito dual, que está recibiendo un enorme impulso en la Unión, expresado claramente en los últimos Consejos de la UE, marca el camino para que el Mº de Defensa avance con decisión en el establecimiento de sinergias y búsqueda de complementariedades entre los marcos tecnológicos militar y civil.

En este sentido, el Mº de Defensa puso ya hace años en marcha el Programa de Cooperación en Investigación Científica y Desarrollo de Tecnologías Estratégicas (Programa COINCIDENTE), para, aprovechando el empuje del sector de I+D civil nacional, facilitar la transferencia de tecnología aludida anteriormente. Este programa constituye un magnífico vehículo para dotar a las PYMES, universidades y empresas en general, de una base tecnológica dual, basada en el desarrollo de proyectos innovadores de I+D con funcionalidades militares. Una característica fundamental del Programa COINCIDENTE es que, dado que sus convocatorias son anuales, es lo suficientemente ágil para poder incorporar en Defensa las nuevas tecnologías existentes en cada momento.

Como punto final, merece la pena destacar la convocatoria del pasado año, COINCIDENTE 2014, que ha constituido un auténtico éxito al haber conseguido afianzar la tendencia de crecimiento de participación de ediciones pasadas, lo que se ha manifestado en términos prácticos por casi duplicar el número de proyectos presentados con respecto a convocatorias anteriores.

Actualidad

¿Dónde hemos estado?

9 de abril

Jornada de implementación de la futura normativa militar en aeronavegabilidad y su impacto en la seguridad.

En dicha Jornada se trató el camino de implementación de las normativas PERAM y las EMAR, tanto en las empresas privadas del sector aeronáutico, como en las administraciones públicas, así como las diferencias que aportan en relación a la anterior normativa de aeronavegabilidad.

15 de abril

Comité técnico del Bureau Veritas

Reunión del Comité Técnico del Bureau Veritas, que contó con la participación del CF. Ing. José María Riola. Este foro reunió a astilleros, armadores y asociaciones de España y Portugal, y en él se dio a conocer las últimas novedades reglamentarias en materia de certificación y calificación por parte del BV.

15 de abril

Intergraph day 2015

Jornada organizada por el grupo HEXAGON, HP e INTERGRAPH en el Real Observatorio de Madrid, que tuvo por objeto presentar sus últimos avances tecnológicos en soluciones y tecnologías GIS, aplicados a sistemas de gestión de emergencias, defensa y seguridad, teledetección, GIS y fotogrametría, basados en arquitecturas abiertas.

14 y 15 de abril

Vibro-Acoustics Marine SIG Europe 2015

Durante los días 14 y 15 de abril tuvieron lugar en el Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo (CEHIPAR) estas jornadas, con el patrocinio de TSI y del Bureau Veritas (BV), orientadas al conocimiento de herramientas de simulación que permiten mejorar el diseño de una plataforma naval desde el punto de vista de ruidos y vibraciones, realizando especial hincapié en nuevos métodos constructivos y materiales.

... entre otros eventos

¿Dónde hemos estado?

15 de abril

- **Jornada de Trabajo Campamentos Militares 2020 en Eficiencia Energética**

Celebrada en el Parque Central de Mantenimiento de Material de Ingenieros y coordinada por el MADOC, esta jornada contó con la participación de diferentes unidades de la Fuerza y Apoyo a la Fuerza del Ejército de Tierra. Esta iniciativa permitió intercambiar información sobre las acciones desarrolladas por las unidades y organismos para mejorar la eficiencia energética en operaciones y campamentos militares y efectuar nuevas propuestas en las áreas de diseño, procedimiento, formación, definición de materiales y normativa. El SOPT participó con una ponencia aportando la visión tecnológica en este ámbito. Fuente imagen: Milit@rpedia

28 de abril

- **Parque Científico Tecnológico de Córdoba - Rabanales 21**

El 28 de abril, tuvo lugar una visita del personal de la SDG PLATIN a las instalaciones de este parque tecnológico, con el objetivo de exponer las acciones que en materia de I+D+i viene desarrollando el Ministerio de Defensa. Además, se conocieron sus capacidades tecnológicas así como el convenio que se está estableciendo entre el "Clúster Innovación en Defensa" y el Ejército de Tierra, cuyo objetivo es aportar soluciones a necesidades y demandas tecnológicas del Ejército y del Ministerio, impulsado por el apoyo a la iniciativa de una de sus empresas para adaptar su sistema antivuelco a los vehículos RG31.

29 de abril

- **Jornada Minisdef - Empresas e Investigadores de Córdoba**

Esta Jornada, celebrada en la Cámara Oficial de Comercio e Industria de Córdoba, contó con el apoyo y coordinación tanto del Ayuntamiento como de la Subdelegación de Defensa en Córdoba. Se reunió a más de 80 personas que conforman el ecosistema empresarial, industrial y universitario de esta ciudad, siendo un punto de partida y entendimiento entre los distintos agentes. En ella se expusieron las diferentes vías para participar con el Ministerio de Defensa en materia de I+D+i.

13 de mayo

- **3ª Jornada de la Cátedra Indra-Universidad de Alcalá en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Seguridad y Defensa**

Celebrada en dicha Universidad, permitió conocer los avances de varios de sus departamentos en áreas como radio SW, radar y defensa electrónica, así como las líneas de investigación del H2020 en el ámbito de seguridad marítima.

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

Actualidad del Programa ETAP

Autor: Cmte. (CIEA - EOT) Manuel A. Ferré, SDG PLATIN.

Palabras clave: tecnología aeronáutica militar, sistema de sistemas, UCAV, FCAS, cooperación europea, I+D.

Metas Tecnológicas relacionadas: MT 3.6.1; MT 3.6.2; MT 3.6.3; MT 6.6.1; MT 6.6.2; MT 6.6.3.

A finales de los años 90, coincidió en Europa el desarrollo simultáneo de tres proyectos para el diseño, desarrollo y fabricación de aviones de combate que se pueden considerar de características similares. Mientras los dos países que tradicionalmente han priorizado la independencia de su industria aeronáutica militar, Francia y Suecia, desarrollaban el Rafale y el Gripen respectivamente, las otras cuatro grandes naciones fabricantes de aviones (Alemania, España, Italia y Reino Unido) coordinaban sus esfuerzos para el desarrollo conjunto del avión Eurofighter 2000.

Esta situación no era compatible con la atmósfera de construcción europea ni razonable en cuanto al mejor uso de los limitados presupuestos nacionales. Estas circunstancias, unidas al creciente periodo de tiempo necesario desde que se inician los estudios de definición para un nuevo avión de combate hasta que el sistema de armas se entrega a las fuerzas aéreas, llevó a los Ministros de Defensa de estos seis países a firmar un acuerdo para impulsar la tecnología aeronáutica militar. El objetivo era establecer los cimientos para la sustitución de los aviones que se preveía quedarían obsoletos alrededor del año 2020, es decir, F-18 y Tornado, por aviones fabricados en Europa.

Francia y Reino Unido habían firmado un Memorando de Entendimiento en el año 2000 para el desarrollo de las tecnologías que facilitaran el diseño, desarrollo y fabricación de un nuevo avión de combate, cuyo objetivo se modificó pocos meses después hacia un futuro sistema aéreo de combate (FCAS) para considerar el desarrollo de un sistema de sistemas, es decir, un conjunto de sistemas que realizarían las misiones de forma cooperativa, incluyendo a los aviones sin piloto. En noviembre de 2001 se sumaron a este Memorando las otras cuatro naciones europeas fabricantes de aviones de combate, es decir, Suecia, Alemania, Italia y España.

Programa ETAP[1]

En lugar de abordar directamente el diseño, desarrollo y fabricación de un nuevo UCAV (vehículo aéreo de combate no tripulado), se consideró conveniente analizar las necesidades operativas de las fuerzas aéreas de las seis naciones y dedicar los recursos y los esfuerzos al desarrollo de tecnologías que pudieran satisfacer esas necesidades. Para ello se constituyó el Estudio Global de Sistemas. Este proyecto reunió pilotos de caza de las seis naciones –todos con experiencia en misiones reales- y expusieron y definieron conjuntamente las mejoras prioritarias en los aviones actualmente en servicio. Se diseñaron un conjunto de escenarios hipotéticos en los que se simularon las mejoras teóricas aplicadas a los sistemas individuales en una combinación de sistemas de armas en misiones conjuntas, que se denominó sistema de sistemas. De esa simulación se ha obtenido información muy valiosa para determinar qué mejoras tecnológicas proporcionan mayores ventajas operativas y a qué coste, y así hacer un mejor uso de los siempre escasos recursos.

Al tiempo que se profundizaba en el análisis de los resultados y se incrementaba la complejidad del estudio, se ponían en marcha un buen número de proyectos tecnológicos en las industrias de defensa de las seis naciones. La participación en esos proyectos es voluntaria por lo que cada nación evalúa el estado de la tecnología en las industrias de su propia nación y determina la conveniencia de invertir o no en esa área tecnológica.

Hasta la fecha se han desarrollado un total de dieciséis proyectos, de los que España ha participado en ocho de ellos. Se han cubierto áreas como la aviónica modular integrada, los enlaces de datos de mayor ancho de banda, la integración de antenas y sensores, la baja observabilidad, el planeamiento, mando y control de misiones de UAVs, conceptos novedosos de motores, el estudio específico de los motores para UCAVs, sistemas de potencia innovadores, o la mejora de la fiabilidad y de la eficiencia de los motores para dotarles de mayor alcance y autonomía.

Estos proyectos se han financiado conjuntamente con aportaciones del Ministerio de Defensa y de las propias empresas participantes. La carga de trabajo, y por tanto, el coste, se ha dividido en partes similares entre las naciones participantes, con objeto de mantener las inversiones de cada nación en sus industrias nacionales. De la misma forma, se han distribuido los derechos de propiedad intelectual de los productos de estos programas.

La industria española que ha participado en proyectos ETAP junto con las industrias europeas han sido Airbus Defense and Space, Indra, ITP y GMV.

En el año 2009, el Reino Unido decidió no proseguir en el Programa, y dejó de participar en los proyectos. En la parte más positiva, la creación de la Agencia Europea de Defensa (EDA) proporcionó un nuevo marco administrativo y legal para desarrollar

Fig. 1. Diagrama Programa ETAP. (Fuente: ETAP).

[1] European Technology Aquisition Programme

Fig. 2. Identidad visual del Programa ETAP. (Fuente: ETAP).

los contratos del ETAP, siempre que las naciones participantes en ese proyecto estuvieran de acuerdo en seguir ese camino en lugar de la contratación por medio de la legislación nacional de la nación líder de cada proyecto. Esta nueva herramienta administrativa proporcionó una mayor visibilidad de ETAP, y aunque las naciones y los grupos de EDA se interesan por los trabajos realizados en ETAP, el Comité Director del Programa estableció que ETAP seguía siendo un programa sujeto al *Memorandum of Understanding* firmado por los Ministros de Defensa de las seis naciones y cuyos resultados no se compartirán.

ETAP está considerado un programa de investigación y desarrollo, por lo que está gestionado en las seis naciones ETAP por los organismos encargados de la gestión de I+D de Defensa. En el caso del Ministerio de Defensa español, la Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación (SDG PLATIN) de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM).

El ETAP es un programa vivo. Aunque es bien cierto que aspiraba a tener una mayor importancia en la industria aeronáutica europea de la que actualmente tiene, las limitaciones presupuestarias en las naciones participantes han ralentizado su progreso en los últimos años. Aun así, el producto de las tecnologías generadas al amparo del ETAP se han aplicado a programas europeos como el UCAV Neuron y se han integrado en sistemas de la nuevas versiones del avión sueco Gripen. Entre los proyectos que se están barajando para el futuro se encuentra el estudio de nuevos interfaces entre las plataformas aéreas y el armamento, se está analizando nuevos métodos para garantizar la seguridad de la comunicación de datos, o un sistema de apoyo a las actividades de mantenimiento basado en la condición de los sistemas, o materiales que faciliten la baja observabilidad radar e infrarroja de las aeronaves, entre otros.

Como se puede apreciar, las propuestas son múltiples y diversas, y están basadas en las necesidades de las fuerzas aéreas y en las soluciones aportadas por los ingenieros de las industrias europeas. Un apoyo decidido al I+D de defensa proporcionará el empuje necesario para materializar estas propuestas y facilitar así la entrada en servicio de la próxima generación de sistemas de sistemas de fabricación europea en las fuerzas armadas, manteniendo la independencia frente a fabricantes de otras naciones y apoyando a las industrias nacionales.

Cualidades propulsivas de buques catamaranes

Autores: Amadeo García Gómez, Jefe de Área de Proyectos CEHIPAR-INTA; CF Ing. José Mª Riola Rodríguez, Jefe de Unidad de Prospectiva y Estrategia Tecnológica, SDG PLATIN; Juan Jesús Díaz Hernández, OT SNAV, SDG PLATIN; Cristina Mateos Fernández de Betoño, Nodo Gestor, SDG PLATIN.

Palabras clave: catamaranes, cualidades propulsivas, multicasco.

Metas Tecnológicas relacionadas: MT 3.5.1.

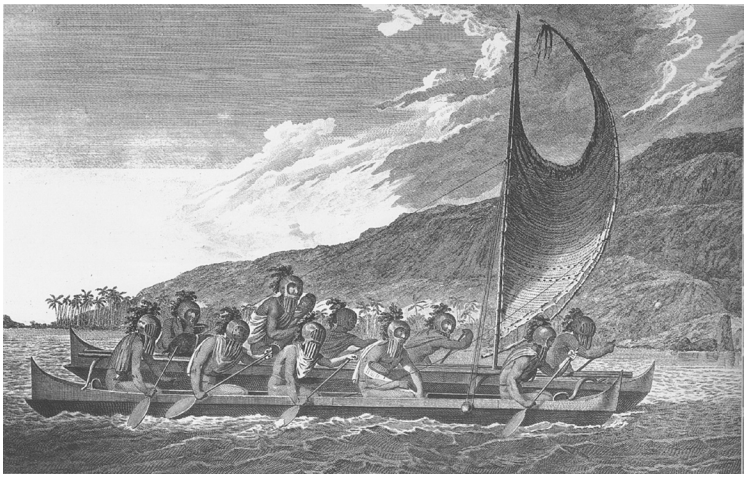


Fig. 1. Catamarán de la Polinesia. (Fuente: wikipedia).

La DGAM y el Canal de Experiencias de El Pardo (CEHIPAR) han realizado conjuntamente un programa de I+D donde han establecido los parámetros de proyecto más adecuados para un buque tipo catamarán desde el punto de vista propulsivo, en función de su tamaño y formas, de modo que se disponga de información propia y con la adecuada fiabilidad, a la hora de plantear un buque de este tipo, como alternativa a otras plataformas.

A comienzos del año 2002, la Armada norteamericana comenzó a construir una nueva generación de buques con el fin de derrotar las posibles amenazas asimétricas "anti-acceso", tales como minas, submarinos diésel silenciosos y embarcaciones rápidas de superficie; los denominados Buques de Combate en el Litoral (LCS - *Littoral Combat Ship*, en inglés). En la actualidad, empresas como Austal y Lockheed Martin, a la cabeza en el ámbito del diseño y fabricación de buques de aplicación militar principalmente para la U.S. Navy, han revolucionado completamente este tipo de buques, al sustituir su estructura tradicional, por una plataforma revolucionaria basada en soluciones multicasco, con el objetivo de conseguir velocidades superiores a los 45 nudos, cubiertas mayores de vuelo para helicópteros, así como un aumento considerable de los espacios interiores.

Dentro de las tareas de este programa, el CEHIPAR, Organismo Autónomo del Estado, reconocido internacionalmente en materia hidrodinámica, ha sido el encargado en este caso de recopilar y clasificar toda la información referida a los datos de carena y ensayos de remolque necesarios para obtener los resultados esperados.

Entre los estudios realizados destacan, la importancia e influencia de la separación de los cascos en la componente de la resistencia, además del análisis mediante herramientas de cálculo numérico de los cascos por separado y en su conjunto, actividades indispensables para conocer la precisión con que estos cálculos matemáticos nos permiten discernir en cada caso sobre la bondad de las formas elegidas para un catamarán.

Con los datos obtenidos en esta investigación se pretende dar unas indicaciones que permitan tener una idea aproximada de los valores de resistencia para una plataforma tipo catamarán en comparación con un buque tipo patrullera monocasco.

La elección de la geometría del catamarán pasa por optimizar en primer lugar cada uno de los cascos que integran el mismo, donde las formas tienen que ser valoradas mediante la variación sistemática de los distintos parámetros que las gobiernan y el ensayo de los modelos correspondientes. De esta manera, optimizaciones en la curva de área, así como en la flotación de la carena manteniendo el desplazamiento de la original, llevan asociadas notables reducciones en la componente de resistencia al avance.

Al cierre de los trabajos, se concluyó la viabilidad del empleo de este tipo de plataformas, en términos de resistencia al avance, en un rango de esloras entre perpendiculares comprendidas entre los 40 y los 60 metros, además de resaltarse la conveniencia de seguir profundizando en el estudio de este tipo de buques con el fin de poder conseguir la optimización total de los mismos desde un punto de vista propulsivo, sin olvidar los aspectos técnicos y económicos, además de otros como su amplitud de cubiertas con la versatilidad que ello le confiere a la plataforma.

Fig. 2. Buque de apoyo logístico JHSV. (Fuente: US Navy)

Tecnologías Emergentes

Técnicas de visualización analítica

Autor: David García Dolla, Nodo Gestor, SDG PLATIN.

Palabras clave: visualización interactiva, razonamiento humano, análisis de datos.

Metas Tecnológicas relacionadas: MT 6.1.2; MT 6.1.3.

La capacidad actual para recopilar y almacenar grandes cantidades de datos ha aumentado en los últimos años a mucha mayor velocidad que la capacidad para analizarlos. Si bien es cierto que se invierten grandes esfuerzos en desarrollar técnicas y algoritmos de análisis automático, lo cierto es que en la mayor parte de los casos, la complejidad inherente a la realidad hace necesario que la inteligencia humana esté presente en el ciclo de análisis. Por ello, no resulta extraño entender el auge que los métodos de visualización analítica (*visual analytics*, en inglés) han venido experimentando en las últimas décadas.

El fundamento de estos métodos consiste en complementar el proceso de toma de decisión humano con interfaces visuales interactivos, de forma que se combine la flexibilidad y creatividad humana con el conocimiento presente en las grandes cantidades de datos e información, a menudo solo identificable a través de vistas muy particulares de estos datos. Mediante estos interfaces, las personas pueden interactuar directamente con las capacidades de procesamiento de los ordenadores actuales, modificando parámetros o seleccionando métodos alternativos de análisis, y utilizando las técnicas de visualización para continuar profundizando en el proceso de razonamiento. La alternancia entre métodos de visualización y de procesamiento automático es una característica de este enfoque, permitiendo detectar desviaciones o falsas hipótesis desde etapas tempranas, lo que da lugar a resultados más fundamentados.

La figura 1 muestra el enfoque integral de estos métodos que combinan la visualización, el análisis de datos y el razonamiento humano. Como se puede observar, existe un proceso de refinamiento paralelo entre las representaciones externas de los datos y las representaciones mentales del problema que tienen los expertos, debiendo existir coherencia entre ambas.

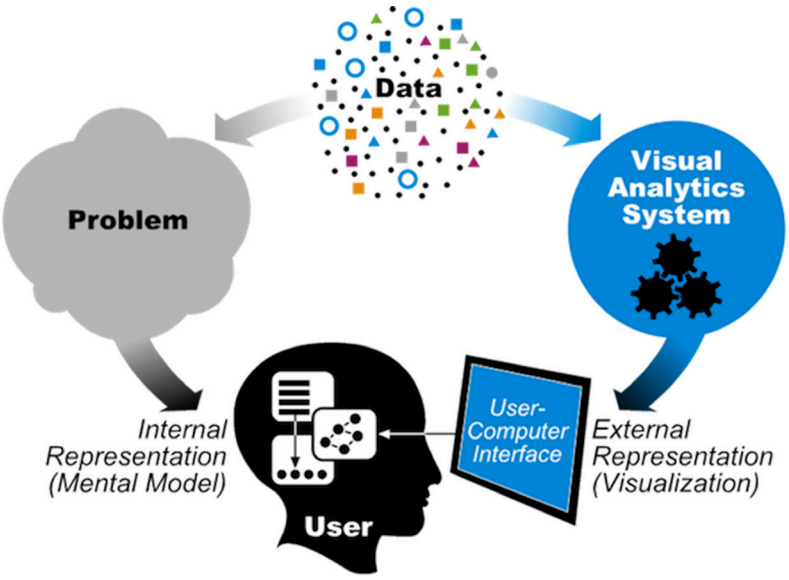
En definitiva, se trata de lograr que los expertos entiendan los datos en todas sus dimensiones para asegurar decisiones de mayor calidad.

Si bien es un ámbito que se nutre de los avances de muchos otros dominios de conocimiento: los de factores humanos (cognición, percepción, etc.), visualización (gráficos por ordenador, etc.) y análisis de datos (recuperación, tratamiento y gestión de datos e información; minería de datos, etc.), todavía se considera una disciplina en desarrollo.

Asumiendo el potencial de estos métodos para abordar problemas de alta complejidad que combinen grandes volúmenes de datos procedentes de fuentes diversas y de carácter heterogéneo (asociado a diferentes dimensiones de un problema, referenciados espacial y temporalmente, con variable incertidumbre respecto a su bondad, dificultad para diferenciar entre lo esencial y lo irrelevante, etc.), es fácil entender el interés que despierta estas disciplinas en el ámbito de defensa y seguridad.

Con la creciente disponibilidad de datos procedentes de sensores y con una capacidad de procesamiento computacional que va en aumento, pero a su vez con un creciente reto en cuanto a la complejidad de las amenazas y misiones, existe una necesidad urgente de mejorar los métodos de análisis de datos e información, pues en la actualidad constituye un cuello de botella que limita la posibilidad de tomar mejores decisiones.

Son muchos los dominios en los que se están utilizando estas técnicas (lucha contra IEDs, inteligencia, ciberdefensa, análisis de redes de comunicaciones, gestión de emergencias, etc.). Como ejemplo de ello, a continuación se apuntan algunos los grupos de estudios que la Organización de Ciencia y Tecnología de la OTAN (STO) ha puesto en marcha en los últimos años que las utilizan: IST-116 ("*Visual Analytics*"), IST-110 ("*Visualization for Analysis*"), IST-122 ("*Cyber Security Science and Engineering*"), SAS-IST-102 ("*Intelligence Exploitation of Social Media*"), IST-110 ("*Interactive visualization of dynamic networks*"), IST-133 ("*Visual analytics - cyber security*"), IST-131 "*Distributed Data Analytics for Combating Weapons of*



Esquema del proceso paralelo de visualización analítica (fuente VA community)

Mass Destruction", SAS-ET-CZ ("*Visual Analytics for Communicating Defense Investment Uncertainty and Risk*"), IST-SAS-139 ("*Visual Analytics for Exploring, Analysing and Understanding Vast, Complex and Dynamic Data*"), HFM-248 ("*Social Media and Information Technology for Disaster and Crisis Response*"), etc.

Resulta también interesante ver como la STO, a través de algunas de las actividades anteriores, ha establecido contacto con una de las principales comunidades internacionales dedicadas a esta tecnología, *Visual Analytics Community* (http://vacommunity.org), la cual está apoyada por los principales organismos del Gobierno de EE.UU vinculados a Defensa y Seguridad (*Departament of Defense, Departament of Homeland Security*).

Se trata de una comunidad de empresas y organismos de investigación dedicada a promover el desarrollo de esta tecnología a través de, entre otras actividades, concursos competitivos anuales en el que los participantes deben resolver situaciones ficticias normalmente vinculadas a situaciones de crisis o de riesgo para la seguridad en las que es necesario manejar grandes cantidades de datos muy heterogéneos.

Así, en el reto de 2015, actualmente en ejecución (*VAST Challenge* 2015), se recrea una situación ficticia en la que, en el marco de un homenaje a una antigua estrella del fútbol que tiene lugar en un parque de atracciones, se produce un crimen perpetrado por una persona desequilibrada. Si bien el autor del crimen es capturado, la policía está interesada en recrear los detalles de lo ocurrido para lo que se plantean retos asociados a determinar el movimiento de individuos y grupos en el parque (obtenidos a partir de los datos de pago de todos los visitantes al parque durante un fin de semana), así como de las comunicaciones entre los visitantes y entre estos y los servicios del parque (usando los datos de la app que proporciona el parque).

Por su parte, en el reto de 2014, se planteaba una reunión de altos directivos de una empresa gasística en la isla en la que tienen sus principales explotaciones, durante la cual se produce un secuestro de sus directivos, siendo sospechosos los miembros de una organización local que luchaba activamente contra estas explotaciones. La información aportada para resolver la situación de crisis consistía tanto en informes de texto (noticias aparecidas en prensa durante los últimos años sobre las actividades de la compañía y de los activistas locales, informes sobre los líderes de esta organización, cabeceras de correos electrónicos entre empleados de la empresa), datos de movimiento durante el fin de semana del secuestro (posición GPS de sus vehículos, transacciones de tarjetas de crédito, etc.) así como las comunicaciones durante la situación de crisis (llamadas al servicio de emergencias, etc.).

En 2012, el reto se centró en una situación de ciberseguridad, en la que un banco imaginario necesita herramientas para aumentar la consciencia situacional de su red de casi un millón de ordenadores de forma que pueda percibir su estado y detectar problemas, para lo que se planteaban dos retos, el primero vinculado a la visualización de enormes cantidades de datos y el segundo a temas de seguridad en redes de ordenadores.

En estos concursos no solo premia a los participantes que sean capaces de encontrar la solución a los retos planteados, sino que también se valora la originalidad y efectividad de las soluciones de visualización interactivas empleadas. Al finalizar los concursos, se desarrolla un simposio en el que se ponen en común las diferentes aproximaciones realizadas.

Constituye, en definitiva, una manera muy interesante de promover el desarrollo de una tecnología que está llamada a tomar cada vez una mayor relevancia en las soluciones tecnológicas de gestión de datos e información, en particular en el ámbito de defensa y seguridad.

Fig. 2. Imagen de la actividad IST-133 sobre analítica visual aplicada a la ciberdefensa. (Fuente: STO).

El futuro del grafeno (II): energía

Autor: Héctor Criado de Pastors, OT ENEP, SDG PLATIN.

Palabras clave: Grafeno, material compuesto, nanotecnología, energía, energía fotovoltaica, supercondensadores, pilas de combustible, energy harvesting

Metas Tecnológicas relacionadas: MT 3.3.1; MT 3.3.4; MT 3.4.3.

Como continuación de la serie de artículos sobre el futuro del grafeno y su aplicación en el ámbito de defensa que comenzó en el número anterior de este Boletín, este artículo analiza las implicaciones que tiene el desarrollo del grafeno en distintas aplicaciones en el campo de la energía.

Dadas las características genéricas de este material (alta conductividad térmica y eléctrica, elevadas propiedades mecánicas y estructurales, gran resistencia al desgaste por fricción y capacidad de protección frente a la corrosión y degradación elevada densidad superficial), así como algunas específicas según sus aplicaciones, de forma general puede considerarse que el desarrollo del grafeno puede abrir el desarrollo de numerosas líneas de investigación en distintas tecnologías y usos mejorando de forma sustancial sus prestaciones en este ámbito.

Baterías

La versatilidad del grafeno y sus posibilidades de combinación con metales hacen que sus aplicaciones en el campo de las baterías sean múltiples. Actualmente se considera que la tecnología de baterías Li-ion liderará los mercados residencial y de vehículos eléctricos en los próximos años. Una de las barreras principales para esta tecnología es la necesidad de nuevos ánodos, debido a que los usados actualmente, basados en grafito, presentan una baja capacidad específica (valor teórico máximo de 372 mAh/g), mientras que otros materiales alternativos (silicio, estaño) presentarían un bajo número de ciclos de carga antes de disminuir las prestaciones de la batería. Dentro de las diversas variedades de ánodos basados en grafeno que se están desarrollando, se pueden alcanzar valores en un rango de 800 a 1200 mAh/g. Estos valores permitirían una velocidad de carga/descarga hasta cuatro veces superior a las de las baterías actuales.

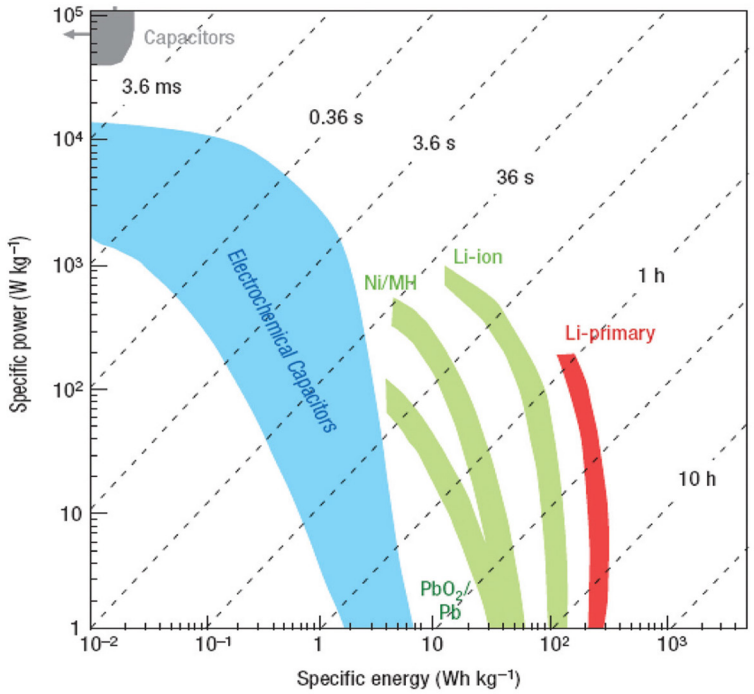


Fig. 1. Comparativa de sistemas de almacenamiento electroquímico según su potencia específica y energía específica. (Fuente: Andrea C. Ferrari et al. Science and technology roadmap for graphene, related two-dimensional crystals, and hybrid systems Nanoscale 2015, Volume 7).

Por otro lado, se espera que a largo plazo se desarrollen materiales compuestos grafeno-silicio y grafeno-litio, permitiendo nuevas químicas para baterías de metal-aire como las de Li-O_2, que podrían alcanzar una densidad energética de un orden de magnitud superior a las baterías de Li-ion actuales (del orden de 3500 Wh/kg frente a los 300 Wh/kg).

Tanto la mejora de la velocidad de carga y descarga, manteniendo la vida útil, como la reducción de peso son factores clave en el diseño y uso de baterías en entorno militar, ya sean para uso de combatiente como en plataformas.

Supercondensadores

Los condensadores son dispositivos electrónicos capaces de acumular una gran carga eléctrica y liberarla en un tiempo muy breve, lo que hace que sean usados en aplicaciones que requieren elevados picos de potencia. Nuevos desarrollos en este campo han conducido a la creación de supercondensadores, o condensadores de doble capa, que tienen una capacidad de carga muy elevada. La optimización de estos dispositivos pasa por cuatro aspectos: maximizar la superficie activa de los electrodos, disminuir su espesor, incrementar el voltaje al que son sometidos y, por último, aumentar la conductividad de sus materiales. Como referencia, la energía específica de los supercondensadores actuales es de entre 0,5 y 15 Wh/kg, muy por debajo de los de las baterías. Los nuevos supercondensadores basados en grafeno alcanzan valores en un rango de entre 30 y 136 Wh/kg, similares a los de baterías de Ni-metal hidruro, manteniendo además una capacidad y potencia específicas muy elevadas.

Un paso más allá, en el que los materiales basados en grafeno tendrán también una gran importancia, es el desarrollo de supercondensadores híbridos (HSC – *Hybrid SuperCapacitors*), que puedan trabajar como fuente de potencia (como un supercondensador) y como fuente de energía (como una batería). Estos dispositivos aún no han logrado los valores de seguridad, ciclabilidad y carga para su uso en sistemas demandantes de grandes potencias, como muchas aplicaciones militares. La próxima generación de HSC estará basada en electrodos nanoestructurados, con un núcleo de grafeno y una cubierta

de metal óxido, que lograrán mejorar de forma exponencial sus propiedades electroquímicas y la seguridad.

Los nuevos supercondensadores y los HSC tendrán un mayor rango de uso incluyendo, desde una perspectiva dual:

- Sistemas electrónicos de gestión de potencia, lo que permitirá mejorar la eficiencia de sistemas de distribución de energía eléctrica, así como la calidad de la energía, mejorando la robustez de, por ejemplo, los sistemas de comunicaciones.
- Sistemas de gestión de energías renovables, de gran interés para la gestión de microredes inteligentes de aplicación en bases y campamentos en zona de operaciones.
- Sistemas de propulsión de vehículos y plataformas terrestres.
- Sistemas de gestión de redes de sensores.

Pilas de combustible y almacenamiento de hidrógeno

La reducción del coste de las pilas de combustible es un asunto básico para poder lograr una mayor penetración de estos sistemas. Un factor fundamental es el elevado coste de los catalizadores, que en la actualidad están basados en metales nobles (platino, oro, rutenio o aleaciones de los mismos). La posibilidad de usar grafeno como catalizador, cuya producción se espera que sea mucho más barata, ha sido confirmada por recientes estudios que indican que tiene mayor rendimiento que un catalizador comercial de platino.

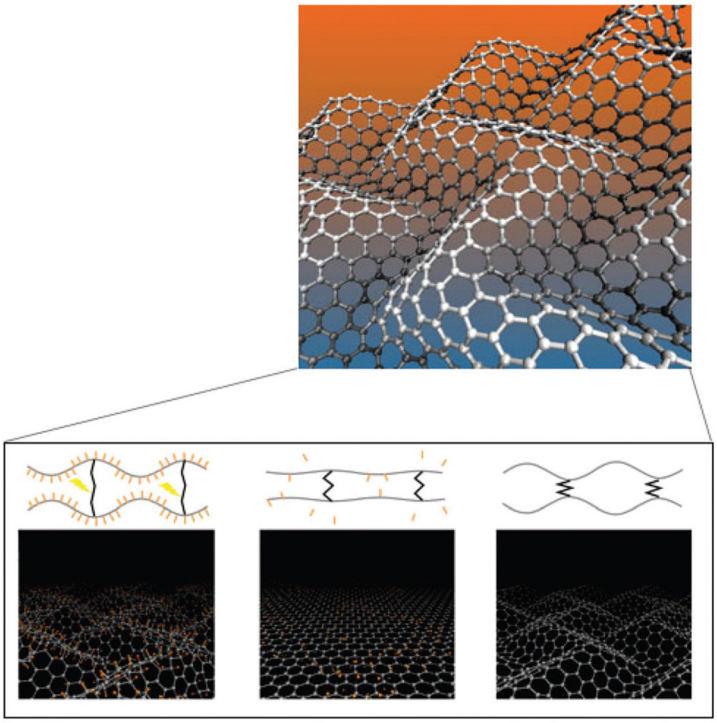


Fig. 2. Lámina de grafeno corrugada por compresión lateral e ilustración del mecanismo de adsorción controlada de hidrógeno. (Fuente: Ver figura 1).

Dentro del ciclo completo del hidrógeno, el grafeno puede tener otras dos aplicaciones muy importantes. En cuanto a la generación de hidrógeno in situ, se ha comprobado que el uso de grafeno mejora la eficiencia de sistemas de electro-oxidación que permite generar hidrógeno a partir de otros combustibles. Hasta ahora estas mejoras han sido probadas con combustibles ligeros como metanol y etanol, que se pueden usar en sistemas AIP (propulsión independiente de aire) de propulsión submarina.

Por último, se están desarrollando nuevos sistemas de almacenamiento de hidrógeno empleando grafeno, considerando la elevada relación entre superficie disponible, y peso y volumen de este material, junto con su flexibilidad que permite modificar su forma para controlar la absorción y liberación de hidrógeno (característica específica que no poseen otros nuevos materiales como fulerenos o nanotubos de carbono).

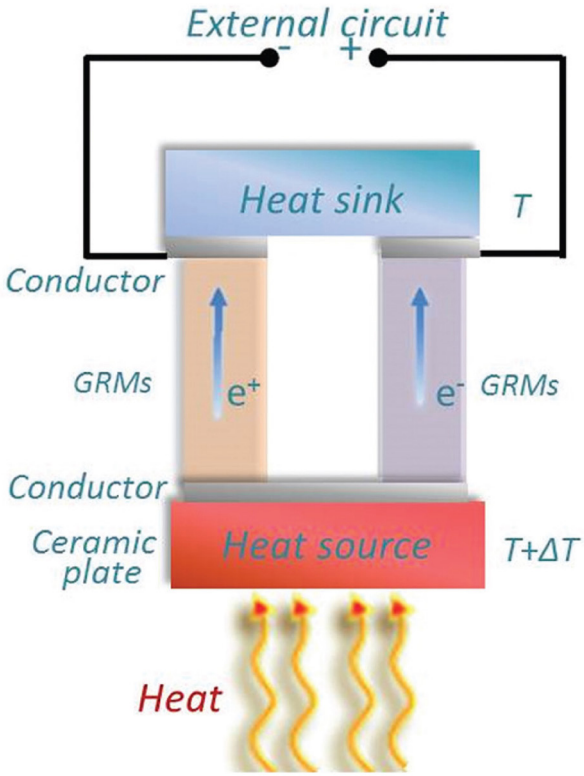


Fig. 3. Esquema de generador electrotérmico basado en grafeno. (Fuente: Ver figura 1).

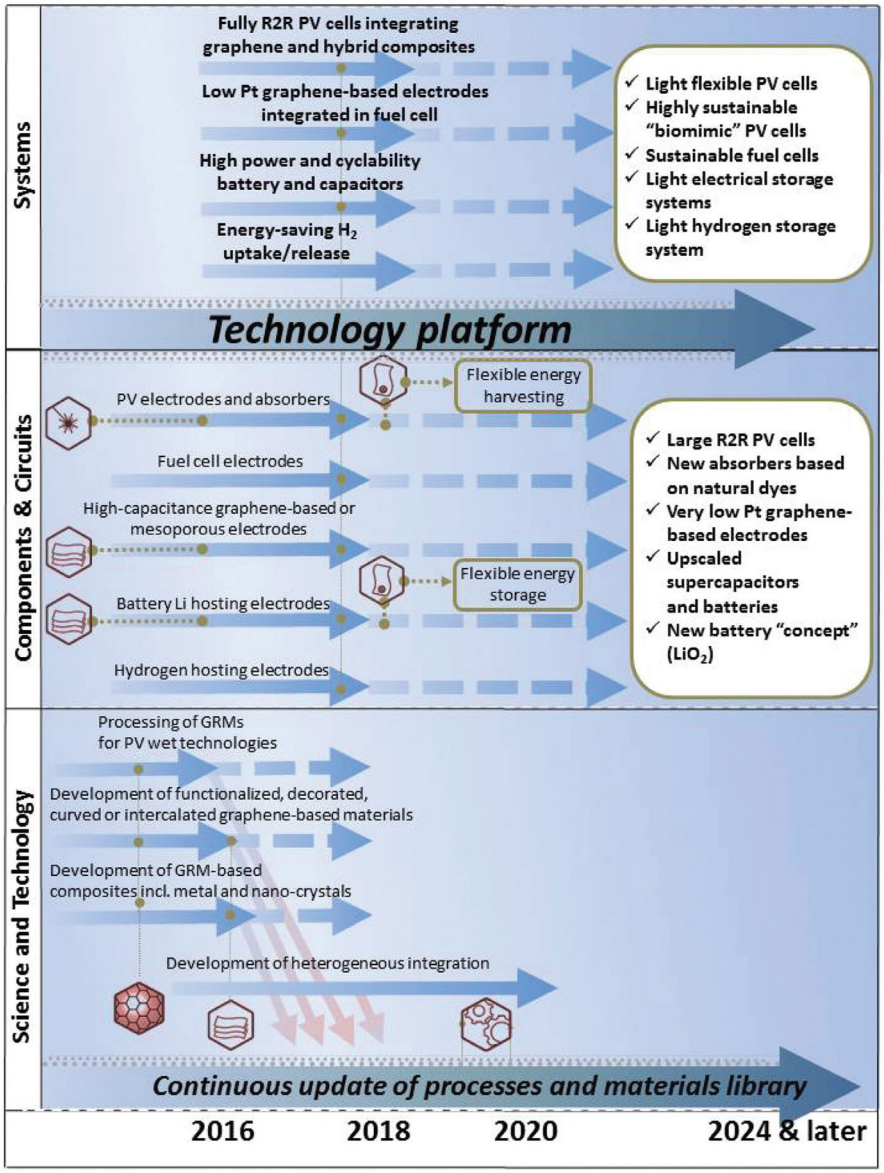


Fig. 4. Roadmap a 10 años sobre aplicaciones del grafeno en tecnologías energéticas. (Fuente: ver figura 1).

La suma de todos estos avances podría permitir el uso de sistemas completos basados en hidrógeno y pilas de combustible en aplicaciones militares, al poder generar hidrógeno in situ a partir de combustibles fósiles, almacenarlo en sistemas más eficientes (y por tanto más ligeros y que ocupen menor volumen) y generar electricidad en pilas de combustible con un coste de adquisición y mantenimiento mucho menor al actual, que limita su uso a aplicaciones muy específicas (sistemas AIP, generación de energía en sistemas de combatiente futuro de otros países). Además, dadas las características de flexibilidad y adaptación de forma, las pilas de combustible y los sistemas de almacenamiento de hidrógeno basadas en grafeno podrían ser integrados de forma más sencilla en plataformas y en el sistema combatiente que otras alternativas.

Otras aplicaciones

Existen otras aplicaciones del grafeno en el ámbito de la energía que, a largo plazo, podrían ser de aplicación en el entorno militar. En la energía fotovoltaica, el grafeno puede jugar un papel importante en la reducción de costes de producción y la mejora de la eficiencia de las células mediante nuevos materiales híbridos, lo que permitiría incrementar la potencia obtenida en aplicaciones donde la superficie disponible es un factor clave, como en campamentos en zonas de operaciones. Por otro lado, la mejora de las características físicas de las células (reducción de peso, tanto en la superficie activa como en el sustrato, y mejora de flexibilidad) facilitaría su implantación en sistemas de combatiente o en captación de energía ambiental (*energy harvesting*) para UXVs y redes de sensores..

Dentro del ámbito de *energy harvesting*, se pretende usar grafeno para mejorar la eficiencia tanto de dispositivos termoeléctricos que aprovechan diferencias de temperatura para generar electricidad, como de nanogeneradores que aprovechen otras fuentes de energía difusa (vibraciones, efecto piezoeléctrico, etc.). Estas fuentes pueden alimentar diversos sensores con aplicación militar: estado físico y médico del combatiente, parametrización de subsistemas en plataformas o redes de sensores para protección de instalaciones. El uso de estos sistemas de alimentación permitiría alargar la vida útil de los mismos o incluso evitando la necesidad de usar fuentes de energía.

Conclusiones

El rápido desarrollo de la tecnología del grafeno puede implicar cambios fundamentales en diversas áreas en el ámbito de la energía. Considerando que el impulso fundamental del empuje proviene del mercado civil, es de esperar que a medio plazo (entre 3 y 10 años, según los expertos) estos avances estén disponibles para su uso dual y permitan avances significativos en sistemas de almacenamiento y generación de energía en redes de sensores, combatiente, plataformas tripuladas y no tripuladas e incluso bases y campamentos.

Telémetros y designadores láser

Autor: José Díaz Caro, Sistemas y Vehículos terrestres, INDRA.

Palabras clave: telémetro, designador láser, emisor, contramedidas, munición guiada, apuntamiento, divergencia, energía, frecuencia.

Metas Tecnológicas relacionadas: MT 1.2.1; MT 2.1.6.

Historia del láser

A finales de enero falleció uno de los coinventores del láser: Charles Townes. Sus esfuerzos en esta área se vieron galardonados con el Premio Nobel en 1964, junto a A. M. Prokhorov y N. G. Basov. Townes, que trabajó sobre radar en la Segunda Guerra Mundial, posteriormente dirigiendo sus investigaciones hacia longitudes de onda más cortas hasta que en 1954 realizaría la primera demostración con un máser de microondas, precursor del láser. Durante esa época, el rango del espectro desde las ondas milimétricas, pasando por la banda de los terahercios hasta el infrarrojo lejano, estaba inexplorado, si bien, muchos físicos comenzaron a pensar en trabajar a mayores frecuencias. Townes y Schawlow, que habían trabajado en espectroscopía óptica, formularon en 1958 la propuesta del "máser óptico" y comenzaron a trabajar sobre un medio activo gaseoso de metales alcalinos vaporizados. Sin embargo, la carrera de la fabricación del primer láser fue ganada por Theodore Maiman de los *Hughes Research Laboratories*, quien en 1960 realizó la primera demostración con un láser de rubí bombeado por una lámpara de destello.

La década de los 60 fue para la historia del láser como la de los 80 para la microelectrónica. Tras la aparición del primer láser de Maiman hasta nuestros días, se probaron diferentes medios activos, diseños de resonadores y métodos de bombeo óptico. Acerca del tema que nos ocupa mencionar:

- La demostración del primer láser de Nd:YAG[1] por parte de los Laboratorios Bell en 1964, aunque el primer láser de este elemento sobre una matriz de tugnstanato de calcio se realizó en 1961.
- En 1969 se probaron tierras raras trivalentes en matrices de vidrio, entre ellas el erbio con emisión a 1,54 µm.
- En 1987 se produce el primer láser de Nd:YAG de 1 W en continua bombeado con un diodo láser a 808 nm.

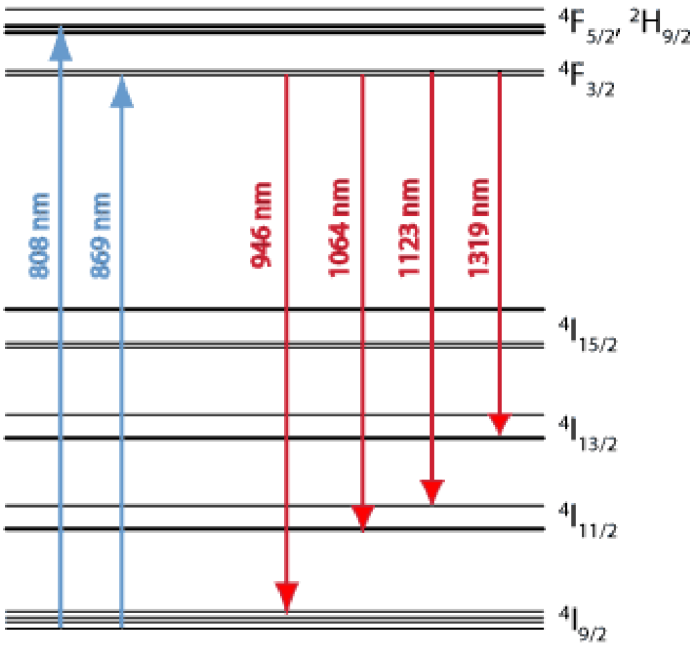


Fig. 1. Estructura de niveles de energía y transiciones del ión de neodimio trivalente en el Nd^{3+}:YAG. (Fuente: RP Photonics Encyclopedia, http://www.rp-photonics.com/encyclopedia.html, © RP Photonics Consulting GmbH).

Descripción del láser Nd:YAG

Los láseres basados en Nd:YAG han sido los que se han utilizado más extensivamente en aplicaciones civiles y militares, y son probablemente los más robustos hasta la fecha. Además, nuevas arquitecturas han permitido el bombeo eficiente con diodos láser, con respuesta rápida, altas energías, elevadas frecuencias de repetición y reducción de los efectos de lente térmica que los han hecho láseres idóneos para designación y contramedidas con la apropiada conversión de longitud de onda.

Un láser consiste esencialmente en un medio activo o medio de ganancia confinado en un resonador óptico que permite la retroalimentación y amplificación de la luz por emisión estimulada. El cristal láser Nd^{3+}:YAG es un medio de ganancia formado por una concentración de material dopante Nd típicamente del orden del 1% dentro de una matriz cristalina de YAG. El Nd^{3+} sólo tiene unos niveles electrónicos de transición permitidos entre los excitados y el fundamental tal y como se muestra en la figura 1.

La fuente de bombeo adecuada sobre las bandas de absorción hace posible la excitación de los electrones desde el nivel fundamental. Estos electrones se desexcitan rápidamente de manera no radiativa a un nivel metaestable en el que permanecen un tiempo más largo, y por emisión espontanea a otros niveles y al fundamental. El Nd:YAG es un medio de ganancia de cuatro niveles cuyo nivel de absorción es el $^4F_{5/2}$, y el metaestable el $^4F_{3/2}$ con emisión espontanea predominante al $^4I_{11/2}$ que es la que produce la línea a 1064 nm además de otras líneas de emisión.

[1] Neodymium-doped yttrium aluminium garnet. Variedad de granate formado por una matriz de óxido de itrio y aluminio, dopaa con neodimio, que posee una longiitud de onda de 1064 mm, es decir emite en infrarrojo.

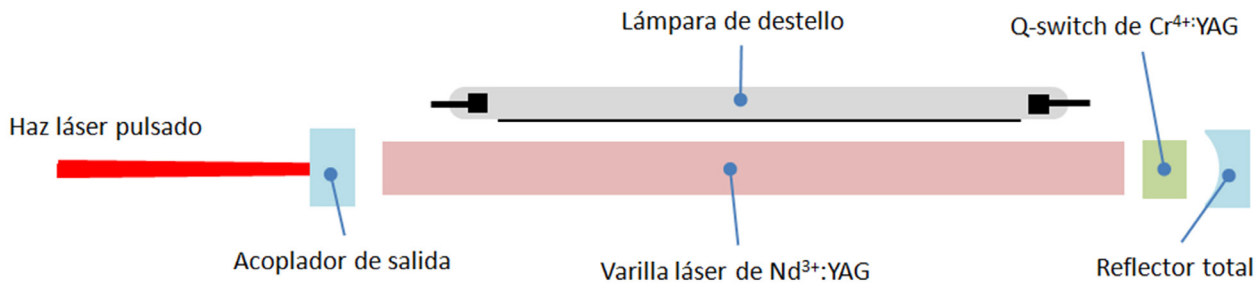


Fig. 2. Esquema del resonador óptico del láser de Nd^{3+}:YAG. (Fuente: Indra).

Las fuentes usuales de bombeo son las lámparas de destello o los diodos láser con emisión a 808 nm. Este bombeo produce la inversión de población y facilita la emisión estimulada cuando el cristal está integrado en el resonador láser. En esta configuración se facilita la emisión predominante en la dirección longitudinal de la cavidad del resonador cancelando emisiones en las direcciones transversales. El resonador cuenta con un espejo altamente reflectante en un extremo y otro espejo de acoplamiento o de salida que permite la salida de la emisión estimulada del láser. La longitud del resonador, curvatura de los espejos y reflectancia del acoplador son parámetros de diseño del resonador que afectan a la sensibilidad de alineamiento, estabilidad del resonador, y también la calidad el haz láser.

Los láseres de Nd:YAG suelen llevar un componente óptico adicional que permite la emisión pulsada por *Q-switch* pasivo. Este elemento es un cristal absorbente saturable de Cr^{4+}:-YAG con ciertas pérdidas ópticas que se reducen a elevadas intensidades ópticas. El absorbente saturable deshabilita la emisión láser por aumento de pérdidas en la cavidad con baja intensidad de iluminación, y permite la emisión de un pulso láser mediante la reducción drástica de pérdidas de la cavidad con el aumento de la intensidad de la luz. Las duraciones de pulso obtenidas con *Q-switch* son del orden de nanosegundos y las energías del orden de mili julios para pequeños láseres de uso habitual.

Debido a los exigentes requisitos de los designadores láser en aspectos de divergencia y estabilidad, estos dispositivos se basan en la clásica matriz de Nd:YAG como medio activo, pero bombeada mediante diodos láser. La ventaja del bombeo mediante diodos respecto de lámpara de destello está en la mayor eficiencia al seleccionar la banda de emisión del diodo a la de absorción del neodimio. El medio activo sufre menor carga térmica y esto unido a eficiencia en la direccionalidad de bombeo produce un haz de alta calidad y pequeña divergencia. Así mismo, hay menos pérdidas en forma de calor y exigencias de disipación térmica. En los láseres bombeados por lámpara de destello apenas un 2 % de la energía eléctrica se transforma en energía del láser y el resto se disipa en forma de calor. Por el contrario, con el bombeo por diodos existe un 25 % de eficiencia de la potencia eléctrica.

Telémetros y designadores láser

La primera década de desarrollo de los láseres se vio acompañada por enormes avances propiciados por los requerimientos de las aplicaciones. Así, equipos como los radares láser, telémetros o designadores de blancos requerían de haces pulsados cortos para la iluminación, medida de la distancia o marcado codificado del blanco. Sólo los láseres con bandas de absorción anchas que se ajustaban a las lámparas de bombeo fueron quedando como fuentes pulsadas eficientes. Este es el caso del neodimio en la matriz de YAG (Nd:YAG) y el cromo en la matriz de zafiro (rubí).

El uso extensivo de la tecnología láser tuvo lugar en el campo militar operativo. El paso del láser de los laboratorios al sector militar requirió de la ingeniería y producción compatibles con los exigentes entornos operativos y ambientales. Los primeros dispositivos desarrollados fueron los telémetros y los designadores.

Los telémetros fueron inicialmente integrados en las direcciones de tiro de los carros de combate para medir la distancia al blanco. Inmediatamente después se desarrollaron los primeros designadores láser para marcar el objetivo con objeto de dirigir las municiones guiadas por láser.

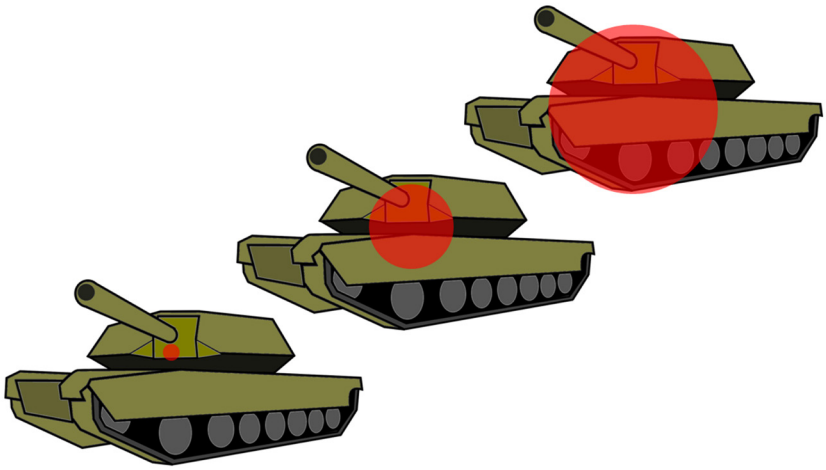


Fig. 3. Tamaño del haz sobre el blanco para una divergencia de 0,25 mrad y distancias de izquierda a derecha de 1, 5 y 10 km (Fuente: Indra).

Fig. 4. Observador Avanzado de Fuegos Aéreos. Binocular térmico que lleva incorporada cámara térmica y telémetro láser, y debajo el designador láser. Todo montado sobre cabeza goniométrica trípode. (Fuente: Indra).

En 1964 se empleó el primer transmisor láser de rubí, con un *Q-switch* activo de prisma rotante, en los telémetros láser militares. Hasta una década después no se comenzó a utilizar el Nd:YAG con *Q-switch* activo y más tarde el *Q-switch* activo fue sustituido por un absorbente saturable pasivo.

Al primer desarrollo de bombas guiadas por láser *Paveway* de Texas, *Instruments* siguió en 1964 el desarrollo del láser Nd:YAG. Los designadores láser y las municiones guiadas por láser se emplearon puntualmente en algunos conflictos, pero no fue hasta la década de los 90 cuando se utilizaron a gran escala en las guerras de Irak y de los Balcanes.

La preocupación por temas de la seguridad ocular de los haces láser empleados en exteriores, así como la mayor capacidad de transmisión atmosférica, llevó al interés sobre longitudes de onda mayores a 1,4 µm. Esto propició la aparición de láseres basados en erbio (así como holmio y tulio) que emite a 1,54 µm o láseres basados en Nd:YAG con conversión de frecuencia a 1,54 µm mediante celda Raman de metano y a 1,57 µm mediante OPO (*Optical Parametric Oscillator*) de KTP (*Potassium Titanyl Phosphate*).

Un telémetro láser se basa en la medida del tiempo de ida y vuelta de un haz láser pulsado reflejado por un blanco. Los parámetros clave de capacidades de un telémetro láser son el máximo alcance en la medida de la distancia, la resolución y exactitud de la misma, y la tasa de medida. Otros parámetros característicos son la energía de pulso, divergencia del haz, el alineamiento, y la estabilidad y sensibilidad del receptor.

En los telémetros, los láseres tienen energías del orden de unidades hasta decenas de milijulios, divergencias entre 0,5 y 1 mrad y anchuras de pulso del orden de unas decenas de nanosegundos con frecuencias de repetición en modo continuo que no suele superar 1 Hz, aunque podemos encontrar telémetros con cadencias de varios hercios. Los telémetros láseres están especificados para medir rangos de medidas desde centenares de metros hasta 10 km o hasta 20 km, no obstante estos valores máximos dependen de las características del blanco, como su tamaño y reflectividad, y transmitancia atmosférica, además de los parámetros clave del equipo.

Para comparar diferentes telémetros existe una figura de mérito semiempírica denominada ratio de extinción que proporciona la relación entre la radiación óptica sobre el detector y la sensibilidad del mismo. El ratio de extinción se puede medir sobre un blanco estándar extenso a una distancia conocida y emplearse para calcular el máximo rango de medida sobre blancos de diferentes características y diferentes condiciones atmosféricas.

Un designador láser marca un blanco con un haz codificado a una frecuencia de repetición a la que se sintoniza la munición guiada de precisión. La munición, cohete o misil, dispone de una cabeza sensora y un sistema de guiado terminal que lo lleva de manera precisa al objetivo con un error del orden de 1 metro.

Los parámetros clave de capacidades de un designador láser son la energía y divergencia del haz, y la estabilidad de la dirección del haz, además de la energía y la frecuencia de repetición.

Las energías de los designadores láser pueden ir desde unas pocas decenas de milijulios por pulso en aplicaciones portables, hasta el orden de los 200 milijulios en dispositivos a bordo de aviones de combate. Las

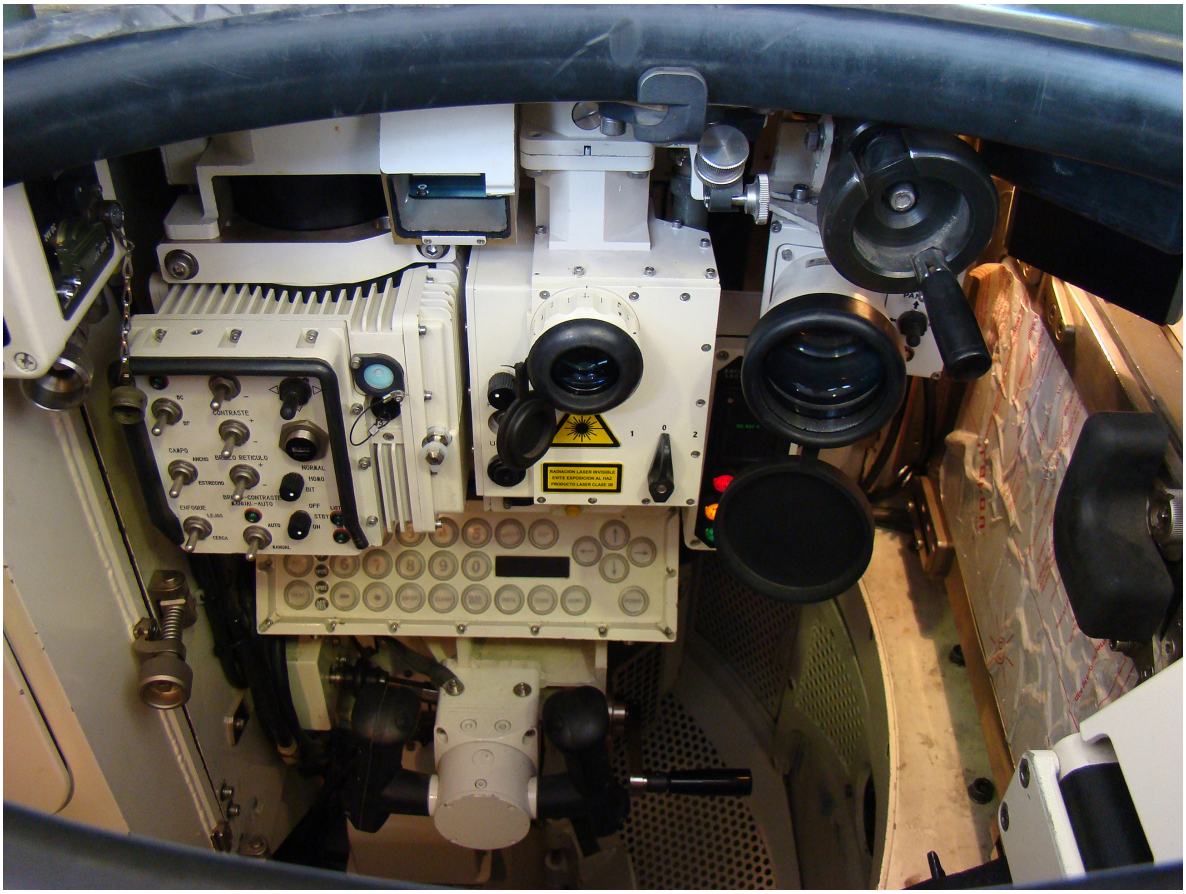


Fig. 5. Unidad Visual y Láser de Indra para apuntamiento y telemetría láser. Este equipo va integrado en la dirección de tiro de los vehículos blindados Pizarro. (Fuente: Indra).

anchuras de pulso son del orden de los nanosegundos y las frecuencias de repetición entre los 10 Hz y los 20 Hz (STANAG 3733). Las divergencias típicas están en torno a los 0,5 mrad o menos (hasta 0,1 mrad) con el requerimiento de una elevada estabilidad de la dirección en todas las condiciones de operación.

Estabilidad de apuntamiento

El haz láser puede sufrir de errores fijos y variables en apuntamiento que desvían el haz respecto a la dirección apuntada. Los errores fijos de apuntamiento (*boresighting*) son esencialmente debidos a desalineamientos ópticos y están limitados por las precisiones de los mecanismos y procesos de ajuste. Los errores variables (*jitter*) son por el contrario aleatorios y sus causas pueden ser la estabilidad física del láser en el propio resonador, errores en el proceso dinámico de alineamiento entre láser y blanco, vibraciones mecánicas y la turbulencia atmosférica. Así las segundas fuentes de error son menos controlables y más críticas cuando el sistema de apuntamiento es móvil, como es el caso de un seguimiento dinámico del blanco.

Este efecto es inherente a todo dispositivo con capacidad de transmitir y recibir radiación electromagnética, aunque las bandas ópticas se ven más afectadas por estas desviaciones. Mientras en un sensor de imagen provoca desalineamientos entre la dirección deseada y la real y emborronamientos de la imagen cuando el *jitter* ocurre dentro del tiempo de integración de un fotograma, para un sistema láser afecta a la intensidad reflejada por el blanco, aunque en muchos casos es un efecto que no se aprecia debido a la naturaleza de funcionamiento puntual en el tiempo de los sistemas láser. Como criterio de diseño se establece que la estabilidad de apuntamiento de una plataforma de direccionamiento debe ser del orden de tres a cinco veces mejor que la divergencia total para asegurar que el tiempo en el que el haz está sobre un punto del espacio es superior al 90%.

Tendencias futuras

Las aplicaciones militares tácticas para la adquisición y designación de blancos requieren de equipos más compactos y multifuncionales capaces de ser portados por JTAC (*Joint Terminal Attack Controller*) y RPAS (*Remotely Piloted Aircraft Systems*). Así mismo, muchas plataformas multisensoriales con capacidad de seguimiento demandan de la capacidad de obtener la distancia del blanco a tasas de refresco que se aproximen a las del video.

Las nuevas arquitecturas y materiales de telémetros y designadores láser van dirigidos hacia la compacidad y reducción de pesos y consumos, la estabilidad térmica pasiva en amplios rangos de temperatura, la mayor frecuencia de repetición de los telémetros y el diseño de láseres multifunción para el empleo en telemetría y designación e iluminación de sistemas de imagen láser.

Aplicación de tecnologías inspiradas en la biología para protección del combatiente a pie

Autor: Angélica Acuña Benito. OT NBQ, SDG PLATIN.

Palabras clave: biomímesis, protección personal, combatiente, NRBQ, descontaminación, detección, alerta.

Metas tecnológicas relacionadas: MT 4.2.1; MT 4.2.2; MT 4.2.3; MT 4.2.4; MT 4.3.1; MT 4.3.2; MT 4.3.3; MT 4.3.4.

Introducción

Muchas de las amenazas que afronta hoy en día el combatiente son similares a las que los organismos biológicos se han enfrentado y se siguen enfrentando, y éstos han ido adquiriendo y mejorado sus mecanismos de defensa naturales frente a ellos. La investigación en tecnologías inspiradas en estos mecanismos de defensa naturales presenta numerosos beneficios en aplicaciones para la lucha contra amenazas asimétricas (agentes de guerra biológica, química, etc.). Un aspecto clave para sacar partido a estos beneficios es que los requisitos y las necesidades de Defensa estén claramente definidos y darlos a conocer a la base tecnológica e industrial.

En general, las necesidades a medio-largo plazo para protección del Combatiente se centran principalmente en la mejora de la protección (balística, NRBQ, camuflaje), mejora del confort y de la ergonomía (reducir el peso de los equipos de protección y mejora del aislamiento térmico), así como en el diseño y desarrollo de sensores, obtención de capacidades de diagnóstico rápido de enfermedades, y la mejora de la capacidad de almacenamiento de energía.

Para cubrir estas necesidades, las áreas en las que se está investigando se centran principalmente en el desarrollo de ropa de protección frente a diferentes tipos de amenazas, en detección, identificación y neutralización de agentes de guerra biológica y química, en descontaminación, salud y energía.

Fig. 1. Traje de protección personal empleado por la policía de Toronto, Canadá, y desarrollado inspirándose en el caparazón del armadillo. La primera vez que se utilizó fue en la reunión del G20 que se celebró en el 2010 en Toronto (300 trajes). (Fuente: http://www.behance.net/gallery/4833547/R4-E-Personal-Protective-Equipment).

Ropa de protección

Las principales necesidades a medio-largo plazo en esta área están en el desarrollo de una nueva generación de textiles de protección para la elaboración de ropa más ligera y resistente y con capacidad multifuncional. Se buscan mejoras en protección balística, protección NRBQ, reducción de firma IR y aislamiento térmico principalmente.

- Protección balística: Se están empleando materiales compuestos nanoestructurales para imitar procesos, estructuras y propiedades de materiales biológicos como los huesos y dientes de mamíferos y conchas de moluscos, que se caracterizan por su dureza y resistencia. Estos compuestos tendrían potencial aplicación como sistemas de protección balística ultrarresistentes y ligeros.

Algunos ejemplos de desarrollos en marcha y ya disponibles basados en este tipo de materiales son el chaleco antibalas que está desarrollando el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) inspirado en la estructura de la concha del molusco *Placenta Placuna*, también conocido como Ostra de cristal. Así mismo, investigadores de la Universidad de Helsinki de Ciencia y Tecnología, inspirándose en la estructura de la madera, han desarrollado una armadura ligera que se parece al nácar, con una estructura que consta de discos de nanopartículas de arcilla apilados en filas. Este material se cree que es lo suficientemente fuerte como para ser empleado en chalecos antibalas.

Un último ejemplo que se presenta es el de un chaleco antibalas que ya está disponible y en uso por el ejército estadounidense. Se trata del Dragon

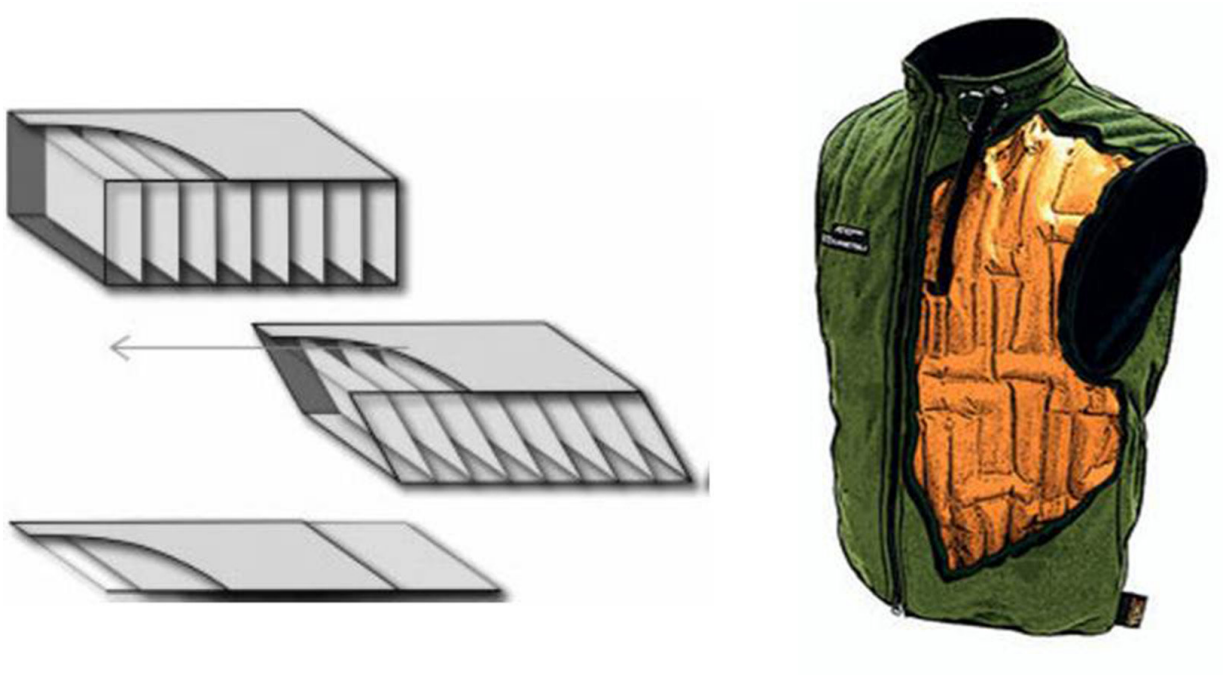


Fig. 2. Textil desarrollado inspirándose en la estructura de la piel y plumas de los pingüinos. (Fuente: Paula Croci. Presentación "biomimética aplicada a los textiles. UNT FRBA. 2012).

Skin Body Armor, un chaleco flexible, formado por capas superpuestas de material cerámico, a modo de escamas. El chaleco se ha probado y se ha visto que ofrece protección frente a balas de diferente calibre, metralla, e incluso protege contra la detonación de granadas de fragmentación.

- Protección individual NRBQ: Inspirándose en el mecanismo que emplean las piñas para replegar sus escamas en respuesta a la humedad, se está trabajando en el uso de materiales estructurales en tejidos inteligentes con capacidad de respuesta a estímulos externos (humedad, luz, temperatura). Una de las aplicaciones de estos tejidos inteligentes es en equipos de protección individual NRBQ respirables. Concretamente, en el marco del Programa del Combatiente del Futuro estadounidense, los laboratorios Natick, junto con la empresa Dupont han desarrollado membranas conductoras en las que los elementos conductores bajo determinados estímulos pueden desplazarse bloqueando las vías de transporte del aire y del vapor de agua, convirtiéndose en una barrera impermeable. Esta misma tecnología se pueden emplear para desarrollar tejidos que permitan el aislamiento térmico (ver figura 1).

Así mismo, se está investigando sobre nuevos materiales funcionales con capacidad superhidrofóbica (repelente al agua, líquidos y suciedad) para el desarrollo de ropa y recubrimientos autolimpiables con capacidad de protección NRBQ. Para ello se ha imitado la superhidrofobicidad de las hojas de la flor de Loto, debido a que éstas presentan unas células epidérmicas que forman nano estructuras rugosas donde las gotas de agua resbalan, arrastrando los contaminantes de la superficie.

- Reducción firma IR: En este caso, el principal reto está en el desarrollo de nuevos tejidos que enmascaren la firma de calor de un soldado. Recientemente se ha publicado una noticia sobre las investigaciones

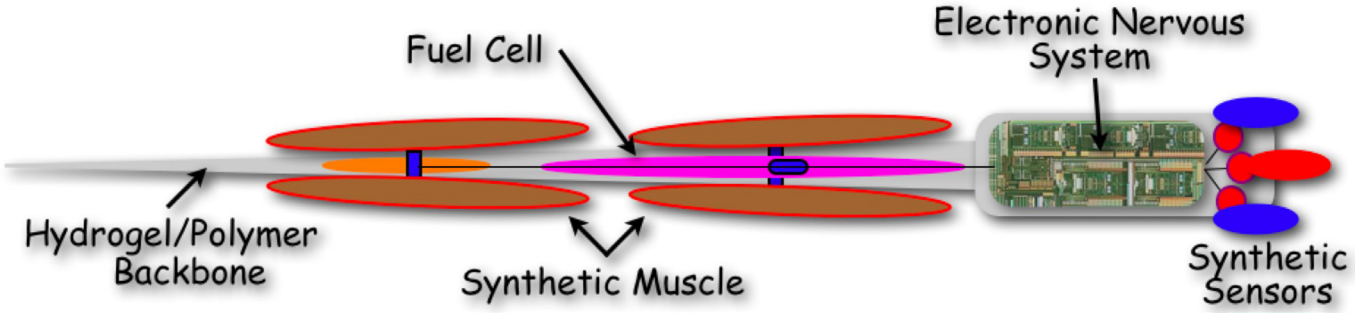


Fig. 3. Esquema de funcionamiento del nano robot Cyberplasm, inspirado por la lamprea y que emplea glucosa como combustible. Está diseñado para detectar enfermedades en humanos. (Fuente: www.kurzweilai.net).

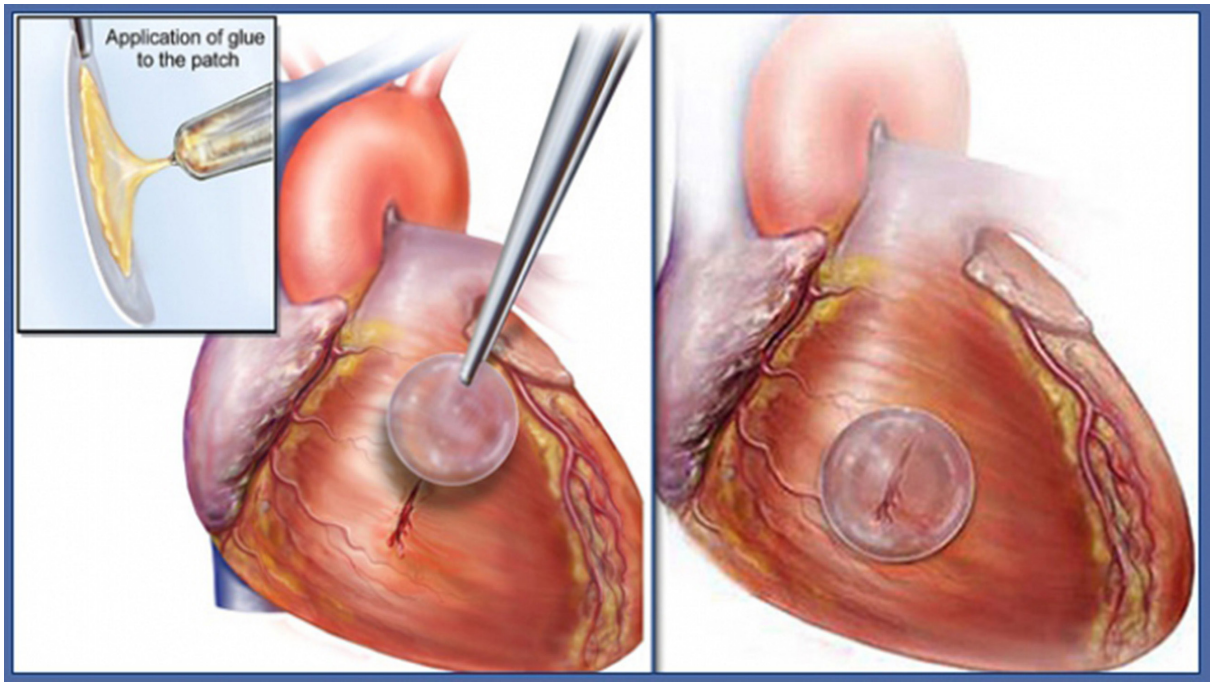


Fig. 4. Nuevo adhesivo para cirugía basado en el generado por insectos. (Fuente: Harvard University/Brigham and Women's Hospital).

realizadas por la Universidad de California, concretamente por el grupo del profesor Alon Gorodetsky, centradas en proporcionar camuflaje en condiciones de poca luz y por la noche, evitando la detección por infrarrojos. Para ello se ha inspirado en la señalización infrarroja propia del calamar, consecuencia del cambio de color de su piel para imitar la coloración del entorno que les rodea. La proteína clave de este cambio de color es la Reflactina. El grupo del profesor Gorodetsky ha modificado genéticamente bacterias para producir esta proteína y han desarrollado pegatinas poliméricas adaptables de reflactina que pueden adherirse a distintas superficies. Aún quedan retos que superar, como conseguir que respondan de la misma manera al mismo tiempo cuando se produzcan de forma masiva y aunque actualmente la versión obtenida refleja la luz del infrarrojo cercano se pretende que trabajen en longitudes de onda media y de infrarrojo lejano. Así mismo, se pretende desarrollar con ellas ropa que permita retener o liberar calor corporal para mantener una temperatura óptima en función de los diferentes ambientes donde se empleen.

Por otro lado, el Laboratorio Nacional de Sandia, Alburquerque, Nuevo México, han desarrollado un material sintético inspirándose en la forma en que ciertas especies de peces que cambian de color y patrón para mezclarse con su entorno. Esto lo consiguen utilizando unas proteínas motoras pequeñas de sus células epiteliales. Se prevé que este tipo de material podría integrarse en ropa que podría estar disponible comercialmente en 5-10 años.

- Aislamiento térmico: Un mecanismo muy estudiado para protección térmica es el de la piel del oso polar que permite su regulación térmica. Su piel está compuesta por pelos gruesos y largos y una densa capa de pelos finos. Ambos tipos de pelo están unidos a una capa delgada de piel negra de aproximadamente 1 mm de espesor. La absorción y conversión de la energía solar parece ser debida a la morfología de estos pelos gruesos y largos. El Instituto de Tecnología Textil e Ingeniería de Procesos (ITV), en Denkendorf (Alemania) está desarrollando materiales imitando las propiedades físicas de la piel del oso polar. Otro animal que está siendo objeto de investigación es el pingüino, se está tratando de imitar la estructura de su piel y plumas puesto que parece que minimizan la pérdida de calor atrapando aire entre sus plumas. Al momento de nadar, se libera el aire y la superficie se compacta para repeler el agua. Textiles con propiedades de aislamiento térmico adaptativo ya han sido desarrollados con el objetivo de aplicarlo en uniformes militares por la empresa inglesa N. & M.A. Saville Associates.

Detección, identificación y neutralización de agentes de guerra biológica y química.

El objetivo primordial a cubrir a medio-largo plazo es obtener capacidad de “detectar para alertar”, es decir, mejorar la capacidad de detección actual, mediante la reducción de falsas alarmas, acortando los tiempos de respuesta (la tendencia es hacia respuestas en tiempo real), obtener capacidad de detección a distancia, etc. En la naturaleza, existe una gran variedad de mecanismos implicados en la detección de agentes de guerra biológica y química antes de que sus concentraciones alcancen niveles tóxicos, lo que es realmente interesante desde el punto de vista de Defensa y Seguridad. Las langostas y otros crustáceos son capaces de identificar pequeñas diferencias en concentraciones de contaminantes químicos gracias al parpadeo de un par de antenas, que arrastran a través del agua

para dirigir los pelos químico-sensoriales que las recubren hacia los contaminantes. Un ejemplo de una línea de I+D relacionada con esto, es la llevada a cabo por el grupo de Ciencias Biomoleculares y Biosistemas de la Oficina de Investigación Naval (ONR), centrada en aplicaciones de vigilancia y reconocimiento a través de vehículos no tripulados para la detección de minas. Otro ejemplo de línea de I+D a destacar en este área es el desarrollo por parte de DARPA de sensores nanoestructurados inspirados en las escamas de las alas de la mariposa azul para la detección rápida y selectiva a niveles de "trazas" de agentes de guerra química y explosivos.

Descontaminación

A largo plazo, las necesidades se centran en materiales multifuncionales, que además de detectar la amenaza, neutralizar y degradar, permitirían su autodescontaminación. El principal reto está en desarrollar materiales que permitan una descontaminación segura, sin productos de degradación tóxicos resultantes. Un área de I+D muy activa se basa en el uso de biomateriales que puedan neutralizar y degradar los contaminantes ambientales y las amenazas químicas y biológicas. Se está investigando el diseño de enzimas en materiales poliméricos con un éxito moderado. Sin embargo otras actividades en las que se ha tenido éxito han sido la incorporación de enzimas fosfatasas en materiales de poliuretano para la descontaminación de superficies expuestas a agentes nerviosos o la modificación de materiales nanoparticulados de tipo "detergente" para degradar agentes biológicos.

Las investigaciones más recientes se centran en la integración de estos materiales en ropa de protección, máscaras, filtros de aire, pinturas y revestimientos, para obtener capacidad de autodescotaminación. Con esta aplicación ya existen algunos recubrimientos no tóxicos comerciales que mantienen la superficie libre de bacterias, inspirándose en la estructura y patrón de las escamas de la piel del tiburón de las Galápagos.

Salud

En esta área lo que se busca es la mejora de la sensibilidad y especificidad de los sistemas de diagnóstico y de los mecanismos de detoxificación, así como el desarrollo de dispositivos de liberación de fármacos más eficaces y sensores embebidos. Para ello, los principales retos que se deben abordar se centran en el desarrollo de nuevos materiales para crear tejidos artificiales, en la manipulación de células y en la mejora de las tecnologías de microfluidos para la liberación precisa de moléculas fisiológicas y farmacológicas en el órgano blanco.

Ejemplos de cómo la tecnología inspirada en biología se han empleado en esta área con éxito son el desarrollo de "nanoesponjas" como mecanismos detoxificadores de toxinas peligrosas en el torrente sanguíneo. Estas nanoesponjas, desarrolladas por la Universidad de California, se envuelven en membranas de células sanguíneas (glóbulos rojos) para ser biocompatibles y evadir de esta forma el sistema inmune.

Así mismo, otro grupo de investigación, también de la Universidad de California, ha desarrollado un dispositivo en 3D con capacidad de detectar, atrapar y detoxificar toxinas en el torrente sanguíneo, inspirándose en la capacidad de detoxificación del hígado. El dispositivo ha sido diseñado para su uso fuera del cuerpo (modo diálisis), y proporciona un modelo de prueba de concepto para nuevas técnicas de detoxificación. Por último, mencionar que ya se está desarrollando un micro-robot capaz de circular por el torrente sanguíneo en busca de enfermedades inspirándose en el sistema nervioso y la capacidad de nadar de la lamprea de mar. Se prevé que este robot pueda estar en uso en el 2017-2018.

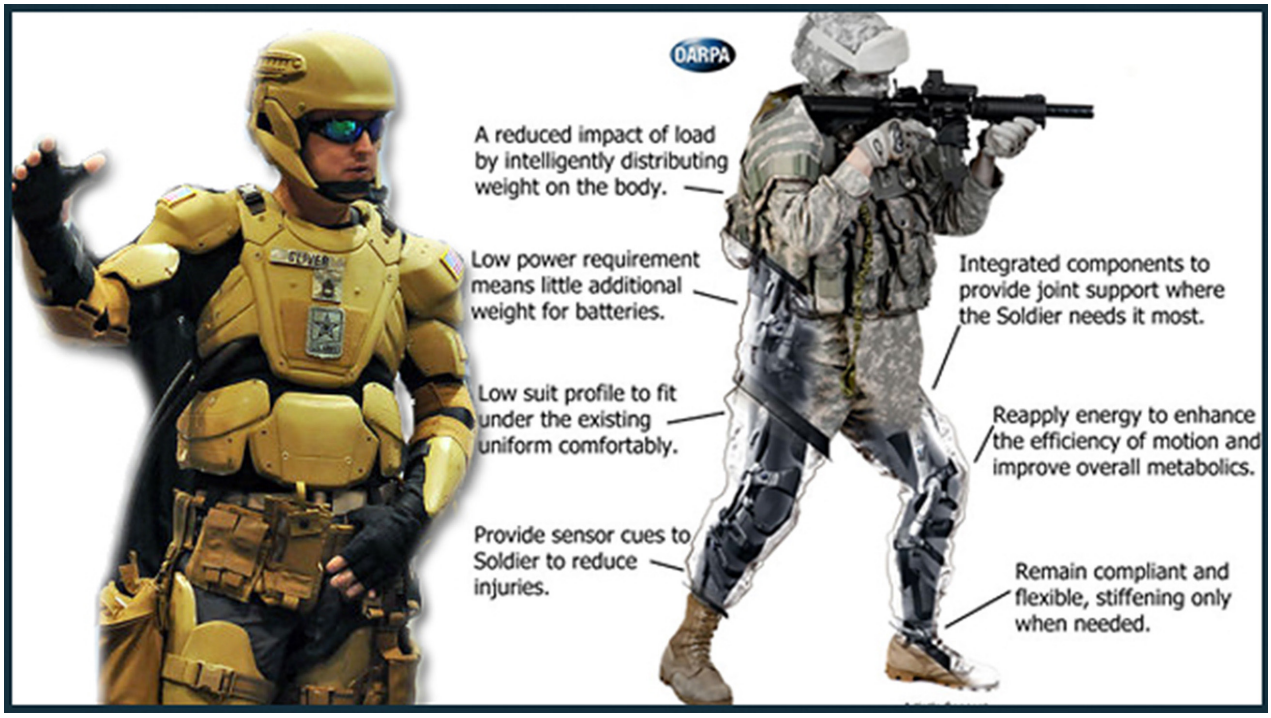


Fig. 5. Detalles del traje de combatiente Warrior Web desarrollado por DARPA. (Fuente:DARPA).

Otra línea de actividad exitosa que se está siguiendo es el desarrollo de materiales adhesivos que se están empleando para reemplazar suturas y grapas quirúrgicas. En este sentido, investigadores de la Universidad de NorthWestern (EEUU) basándose en el mecanismo de adhesión que emplea el gecko y los mejillones, han desarrollado una cinta adhesiva que parece ser muy útil como sutura quirúrgica. Así mismo, científicos del Hospital Infantil de Boston y del MIT han desarrollado un adhesivo biodegradable, biocompatible y elástico que permite corregir defectos congénitos de corazón en niños sin necesidad de intervención quirúrgica. Para el desarrollo de este material se han inspirado en las secreciones viscosas de organismos de la naturaleza (como la de los mejillones o la baba de la babosa).

Por otro lado, también son numerosas las líneas de I+D que se inspiran en el comportamiento de los vasos sanguíneos en presencia de una herida para desarrollar materiales que permiten el sellado y cicatrización de heridas de forma que se evita el desangrado.

Otra área de investigación importante se centra en el diseño y desarrollo de exoesqueletos ligeros para aumentar la fuerza y resistencia del individuo, permitiendo el retraso en la aparición de la fatiga y el estrés físico, evitando las lesiones por el transporte de cargas pesadas.

También, se están desarrollando vacunas inspiradas en plantas africanas que tienen la capacidad de rehidratarse tras secarse. Así por ejemplo, la compañía farmacéutica Cambridge Biostability Ltd., ha desarrollado vacunas que no necesitan frío gracias a que las vacunas son vaporizadas con un recubrimiento de una sustancia denominada trehalosa, formándose esferas inertes que se pueden envasar de forma inyectable y mantenerse almacenadas durante meses.

Energía

En cuanto a la búsqueda de sistemas de almacenamiento de energía más eficaces, las líneas de investigación se centran en la mejora de la eficiencia energética de las células solares y en el desarrollo de dispositivos solares baratos, ligeros, flexibles y duraderos, a la par que pequeños y con capacidad de autorregeneración.

En este sentido, alguno de los ejemplos que podemos mencionar en este artículo es la investigación desarrollada por el MIT, por el grupo de investigación de la doctora Angela Blecher que utiliza virus modificados genéticamente para producir estructuras que mejoran la eficiencia energética de las células solares en una tercera parte. La principal aplicación de este desarrollo sería en los países en vías de desarrollo y en áreas remotas. Por otro lado, otro grupo de investigación del MIT ha empleado un proceso de deposición de vapor por oxidación química para la impresión de células fotovoltaicas en cualquier tipo de papel (papel de seda, de impresora, de periódico), para su incorporación en dispositivos solares baratos, ligeros, flexibles y duraderos.

La Universidad de Harvard ha desarrollado hojas artificiales con capacidad de autoregeneración, emulando la producción de luz solar y agua de las hojas reales.

Por último, mencionar que el Laboratorio de Materiales Avanzados de la Facultad de Ciencia Macromolecular de la Universidad Fudan (Shanghai) se ha inspirado en el mecanismo por el que el camaleón cambia de color para desarrollar placas de energía solar de pequeño tamaño y poco peso con el objetivo de hacer que éstas puedan ser transportadas fácilmente.

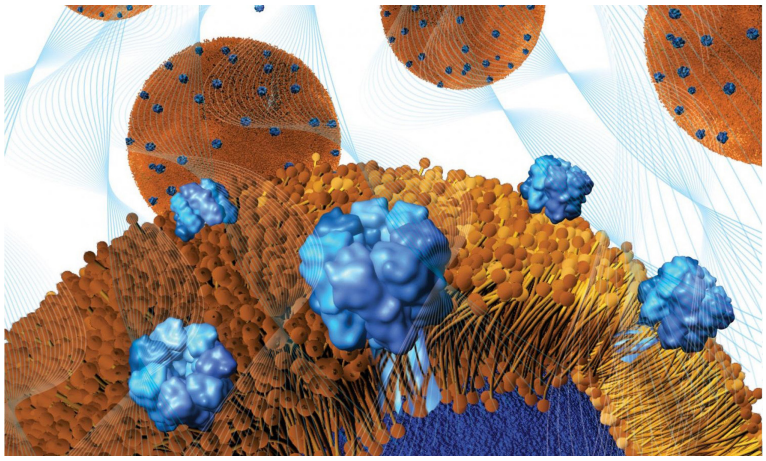


Fig. 6. Nanoesponja defoxificadora desarrollada por la Universidad de California, San Diego. (Fuente: Weiwei Gao/Jacobs of Engineering/UC San Diego).

Conclusiones

La biomímesis es una plataforma que facilita la transferencia de tecnología desde la naturaleza a un amplio espectro de aplicaciones del mundo actual. Los materiales y estructuras biológicas son "inteligentes" por naturaleza, ya que tienen que permitir una multitud de mecanismos necesarios para sustentar la vida, también tienen que protegerse, repararse, mantenerse y adaptarse a los cambios del entorno. Todo esto muestra el enorme potencial que la biomímesis tiene en el desarrollo de materiales inteligentes para todo tipo de aplicaciones, incluidas aplicaciones para Defensa.

No obstante, para alcanzar todo el potencial que tiene este tipo de tecnologías en protección es necesario tener en cuenta que:

- Los requisitos y las necesidades de Defensa en este ámbito deben estar claramente definidas y ser conocidas por todos los actores implicados.
- La viabilidad técnica de muchos de estos materiales ya ha sido demostrada, pero en algunos casos aún existen retos a alcanzar antes de obtener una aplicación real en este ámbito.
- El reto no sólo reside en el uso de organismos vivos como modelo para la obtención de estos materiales, sino en la comprensión y manipulación de estos organismos para obtener las aplicaciones deseadas.
- La principal limitación para mimetizar los sistemas biológicos en materiales y procesos para Defensa radica en el desconocimiento de estos sistemas y las limitaciones en cuanto al uso de estas moléculas, estructuras y procesos.

Impresión Bajo Demanda

Borrar

Procedimiento

El procedimiento para solicitar una obra en impresión bajo demanda será el siguiente: Enviar un correo electrónico a **publicaciones.venta@oc.mde.es** especificando los siguientes datos:

Nombre y apellidos
NIF
Teléfono de contacto

Dirección postal donde desea recibir los ejemplares impresos

Dirección de facturación
(si diferente a la dirección de envío)

Título y autor de la obra que desea en impresión bajo demanda

Número de ejemplares que desea

Recibirá en su correo electrónico un presupuesto detallado del pedido solicitado, así como, instrucciones para realizar el pago del mismo.

Si acepta el presupuesto, deberá realizar el abono y enviar por correo electrónico a: **publicaciones.venta@oc.mde.es** el justificante de pago.

En breve plazo recibirá en la dirección especificada el pedido, así como la factura definitiva.

Centro de Publicaciones

Solicitud de impresión bajo demanda de Publicaciones

Título:

ISBN (si se conoce):

N.º de ejemplares:

Apellidos y nombre:

N.I.F.:

Teléfono

Dirección

Población:

Código Postal:

Provincia:

E-mail:

Dirección de envío:
(sólo si es distinta a la anterior)

Apellidos y nombre:

N.I.F.:

Dirección

Población:

Código Postal:

Provincia:

MINISTERIO DE DEFENSA
SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA
SUBDIRECCIÓN GENERAL DE PUBLICACIONES Y PATRIMONIO CULTURAL

Publicaciones de Defensa
Camino de los Ingenieros, 6 • 28047 Madrid
Teléfono: 91 364 74 27 (Pedidos)
publicaciones.venta@oc.mde.es

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/inicio/revistas

SOPT
SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE DEFENSA
SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA
SUBDIRECCIÓN GENERAL DE PUBLICACIONES Y PATRIMONIO CULTURAL