

# Boletín

## DE OBSERVACIÓN TECNOLÓGICA EN DEFENSA



SUBDIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN  
Boletín de Observación Tecnológica en Defensa n.º 80 • 1.º trimestre de 2024

SIMBAAD: un nuevo concepto de defensa naval

Sistemas de armas: colimadores láser de alta potencia

Cómo limitar las bajas militares debidas a lesiones musculoesqueléticas en el personal militar



MINISTERIO DE DEFENSA



Edita:



Paseo de la Castellana 109, 28046 Madrid

NIPO 083-15-183-4 (edición en línea)

NIPO 083-15-182-9 (edición impresa)

ISSN 2444-4839 (edición en línea)

ISSN 2444-4847 (edición impresa)

Depósito legal M 8179-2009

**Autor:** Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT), Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación (SDG PLATIN) de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM), Paseo de la Castellana, 109, 28043 Madrid; teléfonos: 91 395 46 18 (Dirección), 91 395 46 01 (Redacción); [observatecno@oc.mde.es](mailto:observatecno@oc.mde.es).

**Director:** Óscar Jiménez Mateo.

**Consejo Editorial:** José Agrelo Llaverol, Cte. Carlos Calderón, Ste. José María Martínez Benítez, María Isabel Pérez-Cerdá Herrero, Ana Isabel Villoria Gajate.

**Asistencia técnica de apoyo a la redacción:** Nodo Gestor: David García Dolla, Rosalía Vindel Román; Observatorio de Armamento (OT ARM): Oscar Rubio Gutiérrez; Observatorio de Electrónica (OT ELEC): Yolanda Benzi Rabazas; Observatorio de Energía y Propulsión (OT ENEP): Carlos Garrido Sánchez; Observatorio de Materiales (OT MAT): Luis Miguel Requejo Morcillo; Observatorio de Defensa Nuclear, Biológica, Química y Radiológica (OT NRBQ): Nuria Aboitiz Cantalapiedra; Observatorio de Óptica, Optrónica y Nanotecnología (OT OPTR): Pedro Carda Barrio; Observatorio de Plataformas Navales (OT PNAV): Cristina Mateos Fernández de Betoño, Jaime de la Parra Díaz; Observatorio de Plataformas Terrestres (OT PTER): Pablo Monasterio Albuerne; Observatorio de Satélites y Espacio (OT SATE): Ana Belén Lopezosa Rios; Observatorio de Tecnologías de la Información, Comunicaciones y Simulación (OT TICS): Bernardo Martínez Reif, Isabel Iglesias Pallín.

**Portada:**

*Tecnologías disruptivas en Defensa.* Fuente: propia.

El *Boletín de Observación Tecnológica en Defensa* es una publicación trimestral en formato electrónico del Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica orientado a divulgar y dar a conocer iniciativas, proyectos y tecnologías de interés en el ámbito de Defensa. El boletín está abierto a cuantos deseen dar a conocer su trabajo técnico. Los artículos publicados representan el criterio personal de los autores, sin que el *Boletín de Observación Tecnológica en Defensa* comparta necesariamente las tesis y conceptos expuestos. Ningún material publicado en esta revista podrá ser reproducido, copiado o publicado sin el consentimiento por escrito de los autores, legítimos propietarios de los contenidos.

**Colaboraciones, suscripciones y dudas:**

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

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



DGAM  
Subdirección General de Planificación,  
Tecnología e Innovación

## CONTENIDOS

### Editorial

### Actualidad

- 4 ¿Dónde hemos estado?
- 6 Transformación Avanzada. Recuperando el liderazgo militar en innovación

### Tecnologías emergentes

- 9 SIMBAAD: un nuevo concepto de defensa naval
- 11 Sistemas de armas: colimadores láser de alta potencia

### En Profundidad

- 13 Simposio «La mitigación y la respuesta a la guerra cognitiva»
- 18 Cómo limitar las bajas militares debidas a lesiones musculoesqueléticas en el personal militar

## NATO Warfare Capstone Concept (NWCC)

El Consejo del Atlántico Norte (NAC, por sus siglas en inglés) aprobó el concepto de guerra de la OTAN (NWCC por sus siglas en inglés) a principios de 2021, con objeto de ofrecer una perspectiva sobre cómo debe desarrollar la Alianza sus Fuerzas para mantener su ventaja cualitativa durante los próximos veinte años.

En el marco de su reunión anual de febrero, la Junta de Ciencia y Tecnología (STB, por sus siglas en inglés) de la Organización de Ciencia y Tecnología de la OTAN (STO, por sus siglas en inglés) ha desarrollado el Taller de Planes y Programas (PPW, por sus siglas en inglés), en el que han participado también los paneles de la STO, el Centro de Investigación y Experimentación Marítima (CMRE, por sus siglas en inglés) y los socios externos, con objeto de desarrollar el NWCC, revisando los programas del año 2024, desde el punto de vista del NWCC y de sus Imperativos de Desarrollo de la Guerra (WDIs, por sus siglas en inglés), e identificando el nivel de alineamiento entre el Programa de Trabajo Cooperativo (CPoW, por sus siglas en inglés) actual y el NWCC y un análisis de las deficiencias que pongan de relieve las oportunidades para seguir elaborando programas.

El NWCC presenta cinco amplios WDI para centrar los esfuerzos orientados hacia el futuro: superioridad cognitiva; resiliencia por capas; proyección de influencia y fuerza; defensa multidominio integrada y; mando transversal. También identifica un total de seis facilitadores críticos (CE, por sus siglas en inglés) transversales que sustentan los WDI. A través de los WDI y los CE, el NWCC ofrece una orientación de alto nivel para futuras líneas de trabajo para toda la Alianza, incluida la comunidad de Ciencia y Tecnología.

Las áreas de Ciencia y Tecnología (S&T, por sus siglas en inglés) son, como sugiere la etiqueta, propuestas. Su objetivo es impulsar y orientar los debates entre los participantes en el PPW de 2024 y, como tales, son totalmente indicativas, no exhaustivas, y no tienen autoridad formal. En muchos casos, los conceptos se superponen y las actividades de CPoW pueden alinearse con múltiples áreas.

El WDI de superioridad cognitiva contempla los esfuerzos de la alianza para comprender el entorno operativo y los posibles adversarios en relación con las propias competencias, capacidades y objetivos de la alianza. Desde el punto de vista de la ciencia y la tecnología se divide en tres áreas S&T relacionadas con el procesamiento de datos e IA, el desarrollo de la conciencia situacional de todos los dominios y la comprensión de los mecanismos cognitivos.

El WDI de desarrollo de la guerra de resiliencia por capas contempla la disuasión de la alianza, permitiendo resistir ataques a las líneas de suministro y comunicaciones, así como los efectos en la dimensión cognitiva. Posibilita la preparación para perseverar en situaciones difíciles durante largos períodos y estar alerta desde el día cero. Desde el punto de vista de la ciencia y la tecnología, se divide en cinco áreas: resiliencia energética, resiliencia de la información y de la red, resiliencia humana, resiliencia de seguridad espacial y logística.

El WDI de influencia y proyección de influencia y fuerza permite dar forma al ambiente entorno a sus fortalezas, incluyendo la generación de opciones e imposición de dilemas en los adversarios, en los que la alianza debe ser

proactiva, con la esperanza de tomar la iniciativa a través de diversos medios. Se divide en tres áreas de S&T: enfrentamiento eficaz en el dominio cognitivo, operaciones de enfrentamiento en el espectro completo y facilitar opciones de proyección de la fuerza militar.

El WDI de desarrollo de la guerra de defensa multidominio integrada promueve un enfoque conjunto y flexible para proteger la integridad de la alianza contra todas las amenazas, independientemente de su origen o naturaleza. Desde el punto de vista de la ciencia y la tecnología, se divide en tres áreas: protección total, redes y comunicaciones superiores y planificación integrada.

El WDI de mando transversal subraya la efectividad del mando de la alianza al proporcionar a los mandos aliados la capacidad de comprender instantáneamente los desarrollos en el entorno operativo y tomar medidas efectivas en un campo de batalla integrado y multidominio. Se centra en invertir en las personas, en el arte del mando, en el pensamiento crítico y en la acción audaz. Desde el punto de vista de la ciencia y la tecnología se divide en tres áreas: toma de decisiones asistida, dominio de la explotación de datos y adiestramiento y juegos de guerra.

Los CE identifican los elementos comunes transversales que sustentan WDI múltiples. Así, los CE destacan las conexiones y las sinergias potenciales entre varios WDI y enfatizan la necesidad de considerarlas en combinación en lugar de individualmente.

Se identifican seis CE en total: Explotación de datos, Explotación de la tecnología, Agilidad para desarrollar capacidades, Personas adecuadas con las habilidades precisas, Preparación persistente a través del Instrumento Militar de Poder e Integración día cero con otros actores. Desde el punto de vista de la ciencia y la tecnología, esta sección de se divide en cuatro áreas: Agilidad, Personas/habilidades correctas, Preparación persistente e Integración día-cero.

El NWCC refuerza y complementa el enfoque político de la OTAN sobre las Tecnologías Emergentes y Disruptivas (EDTs) que la STO ha empleado desde 2020 para orientar el desarrollo futuro de sus programas de trabajo. A fin de evaluar la coherencia de los programas de la STO, fomentar la relevancia del liderazgo de la Alianza y demostrar la capacidad de respuesta a las demandas tanto políticas como militares, el PPW de 2024 revisará el Programa de Trabajo Colaborativo de 2024 a través de la lente del NWCC, lo que pondrá de relieve el alineamiento del CPoW y el NWCC y, al mismo tiempo, elaborar un análisis de deficiencias que resaltarán las oportunidades de desarrollo futuras.

Una vez más, la comunidad de ciencia y tecnología de la OTAN ha estado al quite para movilizar sus recursos de conocimiento y expertos para introducir el enfoque NWCC a la orientación con la que dota sus actividades y sus hojas de ruta. Este no es un trabajo de un instante, sino uno que requiere constancia y persistencia, pues los plazos de vigencia así lo imponen y, siempre, la permeación de las grandes líneas estratégicas a los niveles de científicos y tecnólogos requiere un tiempo para vencer las inercias inherentes a los procesos de transformación, como es este el caso, tan vigorosa y acelerada, dicho sea de paso.

# Actualidad

## ¿Dónde hemos estado?

19 de enero de 2024

### ● Demostración EUROPAVIA

Personal del SOPT de la SDG de PLATIN asistió el pasado 19 de enero de 2024 a la presentación seguida de una demostración realizada por la empresa EUROPAVIA en el cuartel general del Ejército de Tierra sobre sus capacidades PNT (Posición, Navegación y Tiempo) en la cual realizaron un ataque real a un dispositivo GPS montado en una furgoneta mediante *jamming* y *spoofing* por el centro de Madrid, mostrando como su sistema de PNT seguro (A-PNT) era inmune a dichas amenazas.



5 al 6 de febrero de 2024

### ● 1.<sup>st</sup> Swarming Technologies Conference

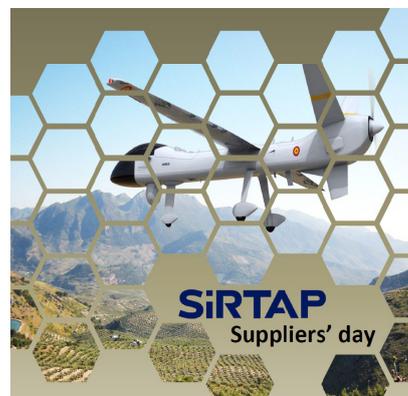
Los días 5 y 6 de febrero asistimos al evento *1.<sup>st</sup> Swarming Technologies Conference*, que organizó la Agencia Europea de Defensa (EDA) en las instalaciones del Instituto de Investigación Franco-alemán de Saint-Louis (ISL), en Francia. En esta conferencia participaron empresas de defensa de diferentes países europeos, exponiendo sus soluciones tecnológicas en el ámbito de los enjambres de sistemas no tripulados, tanto para el contexto aéreo como terrestre y marítimo. Asimismo, hubo personal de la EDA y miembros de las Fuerzas Armadas de distintas naciones europeas que también realizaron presentaciones.



8 de febrero de 2024

### ● SIRTAP Suppliers' Day

Personal de la SDG PLATIN ha asistido a un evento organizado por Airbus Defence and Space como consecuencia del inicio del programa SIRTAP, el cual consiste en desarrollar un UAV para las Fuerzas Armadas para que pueda cubrir las futuras necesidades funcionales y operativas de los ejércitos. Este nuevo hito tecnológico en el segmento táctico de los UAS, junto con el Ministerio de Defensa español, reforzará la soberanía nacional. El SIRTAP se desarrollará plenamente en España, integrando las capacidades nacionales. Además, gracias a su versatilidad y al uso de componentes sin ITAR, también se espera que desempeñe un papel clave en el mercado internacional.



13 al 14 de febrero de 2024

### ● Jornada EDA sobre tecnologías multimodales en simulaciones cognitivas

Los OOTT TICS y NBQ asistieron a la jornada de trabajo que tuvo lugar en la sede central de la EDA (Bruselas), bajo el título «Explorando el rol de las tecnologías transformadoras multimodales en las simulaciones cognitivas *human-in-the-loop* para desarrollo de conceptos operacionales de defensa». El evento fue organizado por el CapTech Tecnologías de Simulación de la EDA al objeto de explorar aplicaciones de defensa de estas tecnologías, atendiendo a pruebas de concepto y usos operativos en marcha dentro del ámbito civil y con potencial uso dual, así como de analizar posibles ideas de proyectos colaborativos de investigación y tecnología dentro de este ámbito. Las empresas y grupos de investigación participantes presentaron sus capacidades y proyectos de I+D, e iniciaron conversaciones sobre posibles proyectos de colaboración internacional dentro del marco de la EDA.



## ¿Dónde hemos estado?

15 de febrero de 2024

### ● Seminario «El papel de España en las tecnologías cuánticas»

Durante este evento, organizado por la Real Academia de Ingeniería (RAI) y el Instituto de Ingeniería de España, se expuso la situación actual de las tecnologías cuánticas y sus aplicaciones en España. El evento tenía como objetivo poner en valor las actuaciones de los principales actores, identificar escenarios de oportunidad y las áreas de mayor interés y, asimismo, ofrecer la oportunidad de fomentar la colaboración entre empresas, universidades y administraciones en este campo. Se realizó en formato presencial desde la sede de la Real Academia de Ingeniería, en Madrid, además de emitirse en directo a través del canal YouTube de la RAI ("<https://www.youtube.com/watch?v=YlfsMp0c3P8>" canal YouTube de la RAI). A este evento asistió el director general de la DGAM.



28 de febrero de 2024

### ● Jornada Criptología post-cuántica, un análisis de la situación

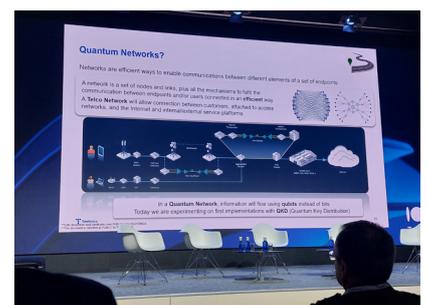
La Fundación Círculo de Tecnologías para la Defensa y la Seguridad celebró, en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid, una jornada planteada como un punto de encuentro para mostrar el estado actual de la criptología cuántica, la situación de las distintas entidades participantes (empresas, academia y otros organismos) con respecto a ella, además de debatir qué planes se deberían abordar para proteger la información frente a la amenaza de la soberanía cuántica, es decir, la aparición de un computador cuántico con la suficiente capacidad como para romper las actuales claves criptográficas. Las conclusiones de esta jornada pasaron por la necesidad de desarrollar un plan de migración a una criptografía post-cuántica segura para empresas y organismos, incluyendo soluciones híbridas (junto con la criptografía clásica o distribución cuántica de claves o QKD), criptoagilidad, así como tener una propuesta de calendario a seguir. A este evento asistió el director general de la DGAM, el almirante Aniceto Rosique Nieto. Actualmente, puede ser vista en el canal YouTube de la Fundación Círculo (link: "<https://www.youtube.com/watch?v=jR6dEIS-naU>" canal YouTube de la Fundación Círculo).



8 de marzo de 2024

### ● Jornada Comunicaciones Cuánticas

Telefónica de España celebró, en el auditorio del edificio Central de Distrito Telefónica en Madrid, una jornada tecnológica con expertos españoles en tecnologías cuánticas. El objetivo de este evento fue profundizar en el estado del arte de estas tecnologías, sobre todo en el área de las comunicaciones, y debatir sobre los retos y oportunidades que plantean a medio plazo, lo que depararán en el futuro, tanto en lo referente a nuevos servicios como al impacto que tendrán, la presentación de las actividades que se están llevando a cabo en colaboración con el ecosistema cuántico, así como una valoración del impacto que tendrán en todas las áreas de la economía y la sociedad.



# Transformación Avanzada. Recuperando el liderazgo militar en innovación

**Autores:** Sergio Álvarez Teleña; CEO, SciTheWorld, *Honorary Research Associate*, UCL; Marta Diez Fernández, CTO, SciTheWorld CEO, 41OPS.

**Palabras clave:** actividad federada, arquitectura federada, algoritmo, datos.

**Líneas I+D+i ETID relacionadas:** todas.

## Desplegando la federación militar y las estrategias de tres capas en el siglo actual

En la encrucijada del desafío militar en este siglo, emerge la Federación como la respuesta pragmática para instaurar cambios significativos y afrontar las complejidades de la realidad bélica. Este enfoque, fundamentalmente basado en dos dimensiones, la actividad federada y la arquitectura federada, se presenta como un equilibrio entre

descentralización y centralización. Una oportunidad para complementar la eficiencia de la que gozan los equipos autónomos con la eficiencia derivada de la coordinación rigurosa, dos fuerzas contrapuestas.

La actividad federada, esencial para este nuevo paradigma, se nutre del concepto de empresas de tres capas.

La primera capa, conocida como Core 1, constituye una arquitectura algorítmica-nativa basada asimismo en federación. Esto es, por un lado, ha de ser dirigida por algoritmos en lugar de dirigida por datos. Son los algoritmos los que definen la necesidad de datos, el modelo de datos y el nivel de calidad del dato, más a medida y más barato que la actual aproximación. Y por otro, construida sobre microservicios crucialmente rotos a su vez en más microservicios, como explicaremos más abajo. Su construcción es, por tanto, un reto mucho más complejo que las arquitecturas de datos, requiere mucho conocimiento, tanto de las necesidades del *learning* en *machine learning*, la parte científica, como las de la parte de *machine*, la de arquitectura.

Este componente, uniforme para todas las unidades militares, independientemente de su naturaleza, sienta las bases comunes de la tecnología requerida para afrontar los nuevos retos de este siglo: innovación, acción/reacción, resiliencia y protección.

La segunda capa, denominada Core 2, abarca los departamentos estándar que comparten similitudes entre diversas unidades —compras, mantenimientos, despliegues, recursos humanos, gestión de proyectos, etc.—. Aunque su estructura es prácticamente uniforme, requiere ajustes específicos basados en la idiosincrasia de cada unidad.

Finalmente, la tercera capa, la Órbita, representa la tecnología altamente especializada y a medida que se adapta a la idiosincrasia de cada unidad, considerando su sector, su cultura y las particularidades de las personas involucradas. Por ejemplo, un proyecto de simulaciones de realidad virtual para estresar y calibrar estrategias coordinadas entre ejércitos ante diferentes escenarios bélicos.

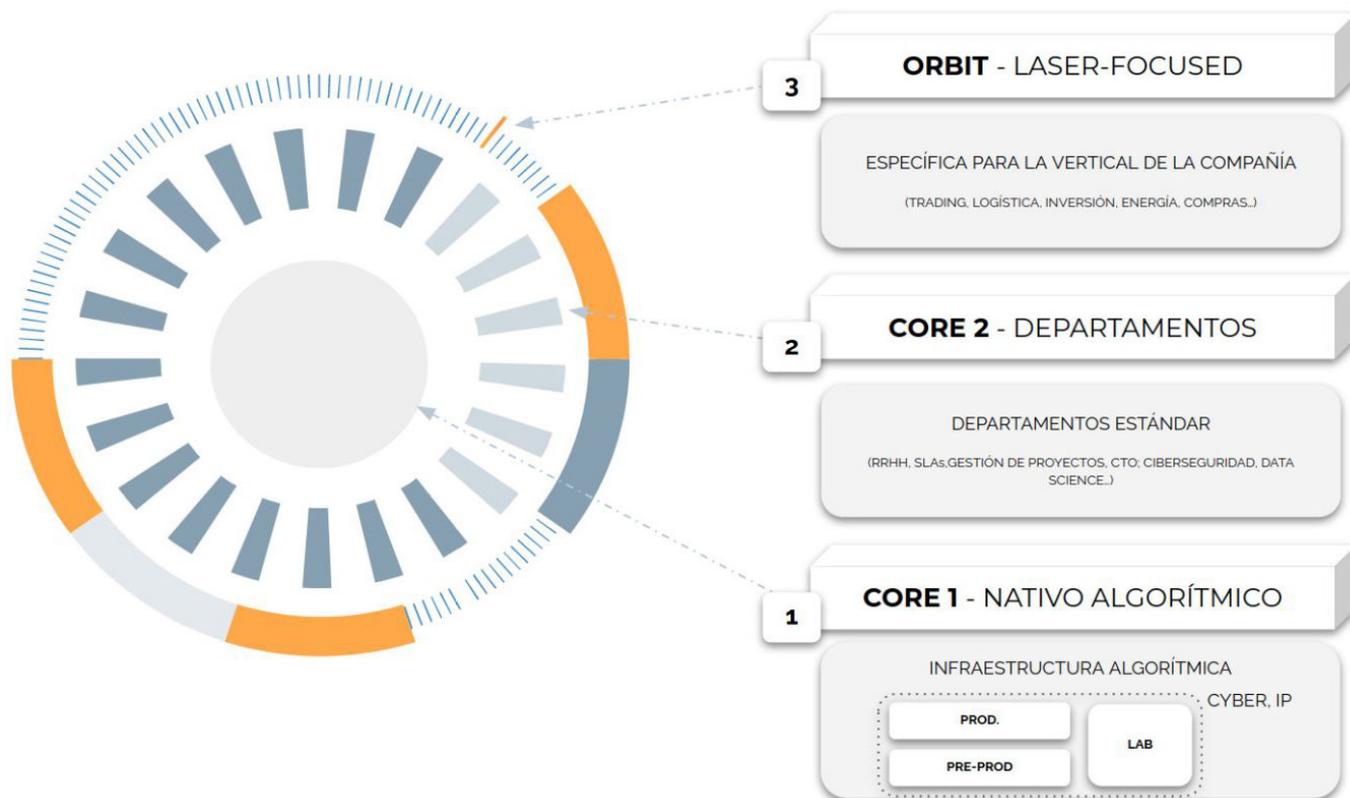


Figura 1. Estructura de una organización a través de la lente de las Empresas de Tres Capas. (Fuente: Elaboración propia).

La Federación se materializa al asegurar que cada líder de unidad construya sus capas aprovechando las contribuciones de otros departamentos.

La arquitectura federada, integrante del Core 1, abarca el Laboratorio, la Preproducción y la Producción. La clave reside en la descomposición de microservicios en subunidades más pequeñas, generando sinergias intra-micro servicios y resguardando partes críticas de la propiedad intelectual al distribuirlas entre servidores independientes, siguiendo la nomenclatura de «unidades de microarquitecturas que forman aplicaciones como mapas de estas». Esta desagregación no solo confiere flexibilidad, sino que también garantiza la compatibilidad con la infraestructura tecnológica heredada de cualquier unidad militar. Además, abre las puertas para el desarrollo futuro de tecnología personalizada basada en *open-source*.

La elección del *open-source*, más allá de su gratuidad, radica en su capacidad para adaptarse a medidas específicas y en la facilidad para atraer, retener y reemplazar talento en un entorno donde la rotación de jóvenes talentos es una constante estructural.

En la marcha hacia la transformación militar, la Federación y la Empresa de Tres Capas no solo representan un modelo, sino un cambio de paradigma que busca la sinergia, la flexibilidad y

la adaptabilidad como pilares fundamentales en la configuración de las fuerzas armadas del futuro.

**Excelencia estratégica: modelando el futuro militar a partir de la industria financiera**

En medio de grandes cambios tecnológicos, es imperativo identificar y aprender de las empresas mejor posicionadas.

El siglo pasado se buscaba el estado del arte en el mundo militar. El propio Silicon Valley surgió amparado por la industria militar estadounidense. El mundo físico, el de la industria pesada, era el origen de la innovación y los distintos ejércitos, dada su tensión bélica, lo empujaban hacia sus límites financiando proyectos ambiciosos.

En este siglo, lo cierto es que se está trasladando la innovación del mundo físico al digital. De las fábricas a los servicios centrales. De las máquinas a la inteligencia algorítmica. Y lo cierto es que la calificación de un producto como *military-grade*, antaño usado como señal de garantía de innovación de calidad, ya no tiene el mismo peso, la industria militar, como consecuencia de todo lo anterior, se ha quedado muy lejos del estado del arte.

Entonces, ¿cuál es el sector que ha tomado el relevo en innovación? ¿Cuál es el que está en la vanguardia

de este siglo? Sin duda, el financiero. Este tiene otra serie de tensiones muy particulares y, en cierto modo, tan cruciales como las bélicas para la industria militar durante el siglo pasado, que le han servido de pilares para evolucionar de la forma correcta. Estas pasan desde la lucha agresiva por el talento (que alcanza titulares de prensa) hasta la intensidad de su regulación, pero las más importantes derivan de la propia pureza del mercado, donde equivocarse cuesta dinero casi al instante. Así que las responsabilidades no se diluyen tanto como en otros campos donde no es tan fácil de entender la relación causa-efecto de una estrategia. Una de *marketing*, por ejemplo, tiene muchas variables que generan ruido en su medición. Al no diluirse esa responsabilidad se fuerza de manera natural el realismo en el uso de la tecnología y la ciencia por parte de los equipos responsables. Y este hecho, a su vez, se traduce en que no se buscan grandes proyectos de IA, sino que se minimiza la ciencia (y la tecnología) necesaria para alcanzar cierto objetivo. Pero siempre con la seguridad de que mínimo no significa pequeño: si el mínimo requiere desplazar la frontera del conocimiento en un campo, se desplaza esa frontera.

Llegados a este punto es importante entender que no todo el sector financiero vale como ejemplo. Dentro del mismo destacan dos grandes grupos: *sell-side* y *buy-side*. Básicamente, el

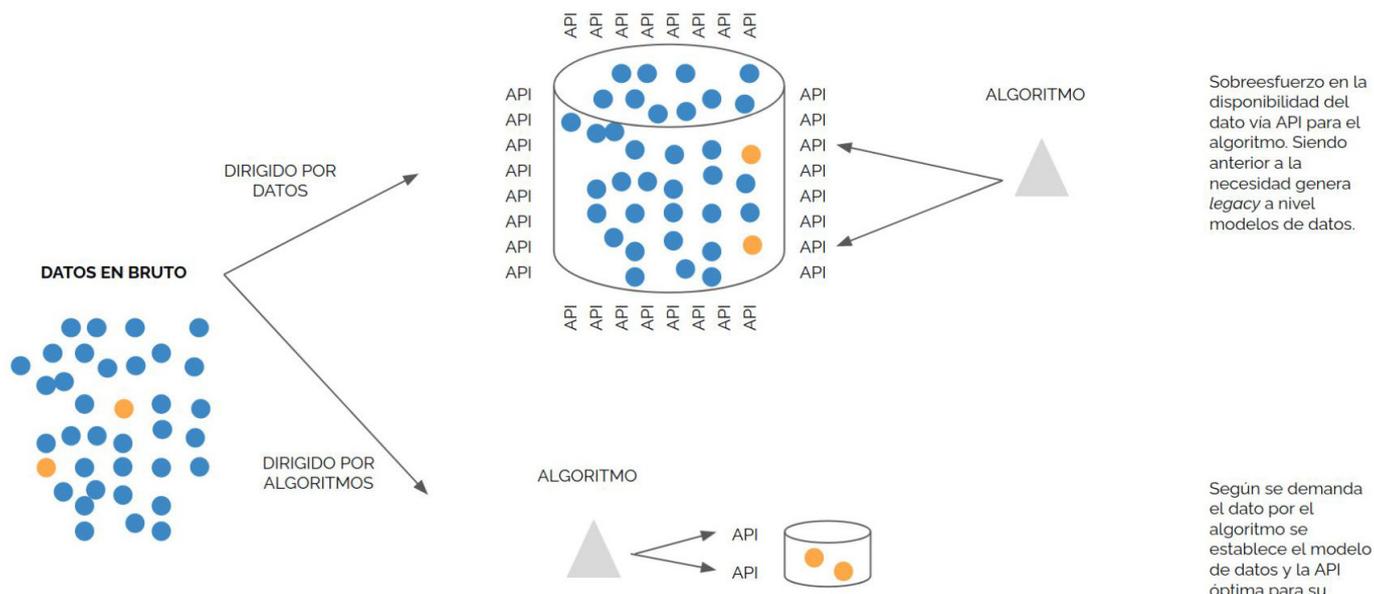


Figura 1. Ineficiencias en la aproximación dirigida por datos. (Fuente: Elaboración propia).

## Actualidad

primer grupo son los bancos de inversión. Su negocio se centra en comisiones por productos financieros y generación de liquidez. Aunque son sofisticados en gestión de riesgos, su enfoque altamente sesgado hacia la venta hace que se hayan quedado atrás con respecto al *buy-side*. Este segundo grupo está representado por los fondos de cobertura (*hedge funds*) a quienes se les valora exclusivamente por la cantidad (y calidad) de retorno que generan, así que están completamente sometidos a las dinámicas del mercado. Con esta presión, varios de los fondos más importantes han construido algunas de las plataformas algorítmicas más complejas del mundo, con diferencia, ejemplos como Renaissance Technologies, Citadel y DE Shaw, destacan por su nivel avanzado, bajo personal y alto secreto industrial. Y estas, las han desarrollado con muy pocos proveedores, muy estratégicos y no estándar, que buscan la autoridad en la toma de decisiones, la experiencia en la ejecución y la diferenciación con sus competidores.

### Paralelos con el Ejército: el peligro del legado tecnológico incorrecto

Los ejércitos han heredado la transformación estándar del mundo empresarial. La que aún se dirige por datos en lugar de por algoritmos. Y es ahora cuando a ellos también les surgen los problemas, empezando porque los propios datos suelen tener calidad pobre y, sobre todo, limitada intercomunicación que conlleva pobre coordinación entre, por ejemplo, tierra, mar y aire. Se necesitan años de formación e investigación muy compleja para dominar el campo de la Transformación. Su teoría aún se está formando, así que además de dominar a la perfección modelos y arquitectura de *software*, hay que tener experiencia previa empujando la transformación de forma profesional. Se dice que el dominio de cada campo, sector profesional sobre el que se aplica la transformación, aprendizaje de máquinas y arquitectura de *software*, requiere al menos siete años. Así que hacen un total de no menos de veintinueve. Es por esto por lo que no solo hay muy pocas

personas en todo el mundo con el bagaje adecuado, sino que no va a haber más durante muchos años. Esa es la clave para establecer ventajas competitivas tecnológicas.

Inspirados por la agilidad y éxito de los *hedge funds* algorítmicos mencionados más arriba, las Fuerzas Armadas deben incorporar transformaciones paralelas. Buscar eficiencia en procesos, adoptar tecnologías avanzadas no estándar y preservar el equilibrio táctico-estratégico serán fundamentales. Siguiendo el ejemplo de estos líderes financieros, el ejército está llamado a forjar su propio camino hacia la excelencia en el siglo presente. No en vano las equivocaciones en este campo no cuestan dinero, cuestan vidas.

### Adopción de la transformación: de la teoría a la práctica

En la travesía hacia la transformación militar, comprender su complejidad, especialmente a nivel cultural de los propios ejércitos, es crucial para que tenga éxito. Anteriormente, se destacó el papel del «a medida» frente a apilar tecnología estándar. Después se explicaron las capas involucradas en una transformación ordenada de un agente. Ahora es el momento de hablar del flujo de actividad entre capas.

En general, no es buena práctica intentar forzar el «borrón y cuenta nueva» que implicaría empezar por el Core 1, la arquitectura federada. Eso sería lo ideal. Pero lo ideal pocas veces es óptimo dada la cantidad de restricciones realistas con las que lidiar en un proyecto. Para que el proceso no sea percibido como una amenaza debe ser orgánico. Así que hay que comenzar por la capa de Órbita, la de proyectos clave para desatascar nuevas oportunidades y con mucho foco idiosincrático. Esto ayuda no solo a generar impacto desde el principio, sino también a guiar la evolución hacia niveles más profundos. Y es que, casi con toda seguridad, dada la complejidad a la que se enfrenta un profesional que esté intentando transformar su unidad, tener a mano los servicios de la capa de Core 2 le

sirve para desbloquear nuevas formas de trabajar que permiten reducir el riesgo del proyecto en diferentes dimensiones, ejemplo, gestión de personas. Se dice que en este siglo cada departamento necesita tener las herramientas de toda una organización a medida de sus propias necesidades, incentivar, protección de propiedad intelectual a medida, ciberseguridad. En esta dinámica, los responsables militares lideran la marcha sobre la tecnología. Nunca al revés. Arrastrando consigo ajustes en la arquitectura actual que hagan hueco a las bondades de la capa del Core 1. El resultado final es que la arquitectura actual, el legado, se conecta, rodea y amplía por una Arquitectura de Producción Extendida (APE) de manera que se desbloquean muchas de las limitaciones tecnológicas sin grandes cambios extra.

Una vez las dinámicas se entienden y se pasa a la acción, hay que tener muy presente la relevancia de entender dónde se está y hacia dónde se va. La transformación completa lleva años, así que es importante seguir viendo el bosque a pesar de los árboles. La mejor práctica es comunicar con el *senior management* a través de una sencilla matriz que organice los proyectos entre táctico o estratégico, corto o largo plazo. Esta distinción evita desviaciones y mantiene el foco en los objetivos de la misión mientras responde a los desafíos inmediatos.

Finalmente, y alineado con lo anterior, hay que destacar el rol de los altos mandos. Su participación requiere entender activamente la estrategia y mantener la energía necesaria para desbloquear los diferentes pasos a seguir del corto al largo. Dada la resistencia y la complejidad del campo no es tarea sencilla. Y es que la transformación es más que un proceso; es un viaje continuo hacia la excelencia.

### Referencias

Álvarez, M. y Díez, M. (2022). *Data MAPs: On Platform Organisations*. Madrid, España. [Consulta: 2024]. Disponible en: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=4232955](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4232955)

# Tecnologías emergentes

## SIMBAAD: un nuevo concepto de defensa naval

**Autores:** Rocío Malpartida Gallardo, César Martínez Fernández, Eduardo de Diego Custodio, UTEK; Pedro José Sanz Valero, UJI; Gabriel Oliver Codina, UIB; Alberto Prelech Januario, NARWHAL.

**Palabras clave:** USV, UUV, amenaza, subacuático, superficie, protección, no tripulado, colaborativo, comunicaciones.

**Líneas I+D+i ETID relacionadas:** 4.1.2; 5.3.3; 6.4.1; 6.4.2; 6.4.3; 11.2.5.

### Introducción

El proyecto SIMBAAD (Sistema Integrado de Monitorización y Búsqueda de Amenazas Acuáticas para Defensa), financiado por el MDE dentro del Programa COINCIDENTE 2019, fue desarrollado entre 2020 y 2022 por la Universidad Jaime I de Castellón, la empresa UTEK, la Universidad de Islas Baleares y el astillero NARWHAL Boats. El objetivo principal de este proyecto era desarrollar un prototipo para la detección de amenazas submarinas compuesto por un sistema de vehículos no tripulados en dos dominios (superficie y submarino) capaces de trabajar en modo colaborativo entre sí, además de con una red de sensores.

Mientras que los desarrollos tecnológicos llevados a cabo en las plataformas aéreas no tripuladas han sido numerosos durante los últimos años, los avances en el sector de las plataformas de superficie no tripuladas han sido más limitados, si bien, cada vez son más las entidades que apuestan por estas tecnologías, necesitando adaptarse a un mercado cada vez más demandante.

A finales de 2022 las tecnologías desarrolladas en el marco de este proyecto fueron demostradas en instalaciones de la Armada con un resultado satisfactorio, siendo entregado el sistema colaborativo a la Dirección General de Armamento y Material (DGAM) en noviembre de 2022, a excepción de la plataforma submarina no tripulada.

### El entorno colaborativo y su arquitectura

El proyecto SIMBAAD demostró las ventajas del trabajo colaborativo entre vehículos no tripulados y redes de

sensores. El prototipo comprendía el desarrollo e integración de un vehículo no tripulado de superficie (USV) y la integración en el mismo de un vehículo no tripulado submarino (UUV) con capacidad de despliegue y recogida automáticos por medio de un sistema LARS desarrollado específicamente para este proyecto. Además, se diseñaron y fabricaron dos boyas provistas de diferentes sensores con capacidad de apoyar en la detección de amenazas, las cuales también formarían parte del sistema colaborativo.

SIMBAAD se diseñó con un robusto sistema de comunicaciones que permitía el funcionamiento en red de los diferentes componentes. Además, la estación de control del sistema permite operar los diferentes elementos de manera independiente, así como mostrar sus telemetrías de estado y la información recogida por sus cargas de pago.

Este proyecto representa un importante hito en los desarrollos relativos a la colaboración y funcionamiento en enjambre (*swarm*) de vehículos autónomos, una temática que representa un gran porcentaje de los proyectos de I+D en desarrollo hoy en día.

### Vehículos no tripulados

#### USV «Kunai»

«Kunai» es un USV diseñado especialmente para este proyecto por la empresa UTEK en colaboración con el astillero NARWHAL Boats. Gracias a la experiencia previa de ambas empresas, fue posible el desarrollo en un tiempo récord de una embarcación no tripulada de alta fiabilidad, prestaciones avanzadas, baja firma radar y diseño avanzado, destacando por su modularidad y flexibilidad para integrar nuevos equipos a bordo.

El USV «Kunai» está basado en una embarcación RHIB de 6,7 metros de eslora, con un novedoso diseño que permite la incorporación de un sistema LARS (*Launch and recovery system*) para el despliegue y recogida de UUV que puede ser operado remotamente desde la estación de control o manualmente desde la propia embarcación. En cuanto a la propulsión, dispone de un motor diésel intraborda de 150 CV combinado con *waterjets*.

El USV integra un equipo USBL desplegable remotamente, con el cual,

además de permitir georreferenciar el UUV, se realizan las funciones de enlace de datos submarino entre este y la embarcación.

Además, este vehículo está dotado de diferentes sensores para la detección de amenazas de superficie y subacuáticas. Este conjunto de sensores y cargas útiles está constituido por:

- Cámara de navegación: de apoyo al operador con un FOV de 180° y HD, integrada por cuatro sensores, permite identificar el entorno desde el través de babor al través de estribor sin deformación de la imagen.
- Cámara de vigilancia: giro estabilizada y provista de un sensor electroóptico HD con *zoom* óptico 30x y electrónico 12x que puede ser operada desde la estación de control para detectar amenazas de manera temprana.
- Cámara subacuática: integrada en el casco que permite detectar amenazas submarinas.
- AIS (*Automatic Identification System*): con posibilidad de apagado/encendido desde la estación de tierra para evitar la detección por parte de potenciales amenazas.
- Micrófono: el barco está dotado de un micrófono que capta el sonido de los alrededores y es transmitido a la estación de tierra.
- Altavoz y bocina: estos dispositivos permiten respectivamente reproducir sonido enviado desde la estación de tierra, así como una alerta sonora. Se trata de elementos con función disuasoria para las amenazas de superficie.

La modularidad de la arquitectura desarrollada para el USV «Kunai» permitiría continuar ampliando sus capacidades e integrando nuevos sensores y funcionalidades, en el caso de que fuera necesario.

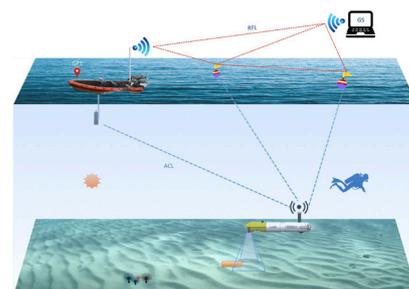


Fig. 1. Sistema SIMBAAD.  
(Fuente: Proyecto SIMBAAD).

# Tecnologías emergentes

## UUV Sparus-II

El UUV Sparus-II es una plataforma desarrollada por la empresa IQUA ROBOTICS, pero que en este caso sería aportada por la Universidad de las islas Baleares y modificada para la integración de los sensores y cargas de pago necesarios para cumplir los requisitos del proyecto. Este vehículo submarino posee una alta capacidad de maniobra y tiene la posibilidad de permanecer estacionario en un punto fijo.

El UUV dispone de dos cámaras este-reoscópicas con su sistema orientable, unos focos led que iluminan el fondo marino, un proyector de luz láser, dos ecosondas mono haz y un magnetómetro digital de tres ejes.

## Boyas

El sistema SIMBAAD integra dos boyas motorizadas desarrolladas por la Universidad Jaime I de Castellón. Estas cuentan con capacidad de desplazamiento y de mantenimiento de la posición una vez desplegadas. Además, están provistas de cámaras de superficie y submarinas que ayudan a la vigilancia de la zona, así como de un sonar de barrido mecánico y un GPS.

## Sistema de comunicaciones

El sistema robusto de comunicaciones, específicamente diseñado por la empresa UTEK para este proyecto, permite la transmisión de datos entre la estación de control y los diferentes vehículos autónomos.

En este contexto, cuando el sistema está desplegado alejado de la costa, el Kunai actúa como relé de comunicaciones. Esto es, las boyas y el UUV, a través de los respectivos enlaces de comunicaciones, transmitirán la información al Kunai y será este el encargado de reenviarlo a la estación de control a través del enlace de radiofrecuencia. Este enlace está compuesto a su vez por dos radioenlaces redundantes, para así asegurar la fiabilidad de la transmisión de los datos. Estos dos radioenlaces se establecen mediante



Fig. 2. USV Kunai.  
(Fuente: Proyecto SIMBAAD).

una antena direccional y una omnidireccional. El primero proporciona el enlace primario, de menor alcance, pero mayor ancho de banda para el envío de todos los datos de las cargas útiles, además del control del barco. El segundo, actúa como enlace de emergencia en caso de perder el primario para poder mantener el control del USV a mayores distancias de la estación remota.

Por otro lado, cuando todos los elementos estén lo suficientemente cerca, el sistema funciona con una red wifi local de comunicaciones, permitiendo la comunicación directa entre elementos sin necesidad de utilizar el USV como relé de comunicaciones.

La comunicación entre el UUV y el USV se realiza mediante un modem USBL instalado en la popa de la embarcación y otro USBL instalado en el UUV. Las boyas se comunican con el «Kunai» a través de un sistema wifi. El UUV también dispone de un sistema wifi para la comunicación en red con los diferentes elementos del sistema cuando se encuentra en la superficie.

## Estación de control

Esta estación permite el control de los tres sistemas no tripulados: USV, UUV y boyas.

La estación de control está subdividida en tres módulos. En primer lugar, la estación de control del USV permite el control remoto del mismo, así como planificar misiones para que las realice de forma autónoma. Para ello, dispone de un *software* planificador de misiones diseñado y desarrollado por la empresa UTEK. Por otro lado, la estación de control dispone de un módulo que permite la visualización de las cargas útiles del «Kunai». Además, permite el control de las mismas, pudiendo hablar a través de un megáfono y micrófono, manejar la cámara para orientarla o hacer *zoom* sobre un objetivo y encender la cámara subacuática o la bocina. El tercer módulo permite controlar el UUV y las boyas, además de presentar las telemetrías de estado de ambos y la información de sus cargas útiles.

Estos tres módulos se encuentran interconectados entre sí mediante una red LAN compartiendo datos entre ellos, permitiendo, además, georreferenciar cada uno de los vehículos sobre la carta náutica.

## Operativa

Desde el punto de vista operativo, el objetivo es definir una zona de

seguridad desplegando los diferentes vehículos para asegurar la ausencia de amenazas tanto en superficie como subacuáticas, realizando el control de los mismos desde la estación de tierra que, en caso necesario, puede también ser desplegada en un buque nodriza.

Durante la última fase del proyecto se realizó una campaña de ensayos en entornos reales de operación en la Estación Naval de la Algameca (Cartagena). El objetivo de estos ensayos era demostrar que el sistema cumplía los requisitos y comprobar la operación de los diferentes vehículos. En este contexto, se diseñaron diferentes situaciones operativas en las que verificar las funcionalidades del sistema.

En septiembre de 2023, el USV «Kunai» participó en el ejercicio OTAN REPMUS23 celebrado en la Base Naval de Troia (Portugal). En esta ocasión fue operado por un equipo conjunto de UTEK y la Armada, demostrando sus capacidades operativas en un amplio abanico de misiones.

## Conclusiones

El proyecto SIMBAAD constituye un nuevo concepto de defensa naval, ya que combina diferentes vehículos no tripulados trabajando de forma coordinada y colaborativa, multiplicando así las capacidades de los mismos.



Fig. 3. Estación de control.  
(Fuente: Proyecto SIMBAAD).

Aunque el objetivo inicial era el desarrollo de un prototipo, el resultado obtenido a través del proyecto SIMBAAD del Programa COINCIDENTE ha sido un sistema colaborativo operativo, apto para su uso en distintas misiones militares.

Actualmente, el sistema colaborativo, a excepción de la plataforma UUV, ha sido cedido por parte de la DGAM al Centro de Valoración y Apoyo a la Calificación Operativa para el Combate (CEVACO) para evaluarlo en distintas misiones de la Armada. Para ello, personal de la Flota ha recibido los cursos formativos de operación pertinentes por parte de personal de la empresa UTEK.

## Sistemas de armas: colimadores láser de alta potencia

**Autores:** Jesús Aivar Mateo, ingeniero industrial; Stefano Li Bassi, ingeniero aeroespacial; LIDAX.

**Palabras clave:** *Laser Directed Energy Weapons*, telescopio de lanzamiento láser.

**Líneas I+D+i ETID relacionadas:** 1.3.1.

### Introducción

La Dirección General de Armamento y Material (DGAM) en su Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa publicado en 2020<sup>1</sup>, destacaba la necesidad y la priorización del desarrollo de tecnologías de armas láser de alta potencia.

En dicha Estrategia se mencionaban los sistemas de armas de energía dirigida mediante láser de alta potencia (*Laser Directed Energy Weapons, LDEW*), los cuales proporcionarían capacidades adicionales de autodefensa y respuesta.

Estos sistemas emplean la energía de un láser de pulsos ultracortos y alta potencia que oscila entre los 10 kW y los 300 kW, para generar un haz de luz altamente concentrado que puede dirigirse con precisión hacia un objetivo situado a una distancia que va desde unos pocos cientos de metros hasta varios kilómetros, provocando daños térmicos en los vehículos aéreos no tripulados (Drones / UAV por sus siglas en inglés), cohetes, misiles, artefactos explosivos improvisados (IED), e incluso otros sistemas de armas enemigos.



Figura 1. Sistema de Armas Láser ANSEQ-3 US Navy instalado en noviembre de 2014. (Fuente: Wikipedia).

### Sistemas de armas láser

La arquitectura de sistemas de armas láser puede variar según la versión y su aplicación específica. Los subsistemas principales de los que consta son: la fuente de energía que alimenta el láser, el láser de alta energía que incorpora el subsistema óptico que colima el haz de forma concentrada y coherente, el sistema de seguimiento y orientación que permite localizar y rastrear los objetivos, el sistema de control y procesamiento de datos que permita calcular la trayectoria del objetivo y optimizar el rendimiento del sistema, el sistema de refrigeración que garantiza una operación óptima de funcionamiento dentro de unos límites de temperatura seguros y una vida útil prolongada y, por último, un sistema de seguridad que protege a los operadores con dispositivos de bloqueo, advertencia y apagado en caso de mal funcionamiento o condiciones peligrosas de utilización<sup>5</sup>.

Es un hecho que recientes ataques de drones en el conflicto bélico entre Ucrania y Rusia y, a menor escala, entre Hamas e Israel, han evidenciado la necesidad de contar con este tipo de sistemas para eliminar en concreto esta clase de amenazas.

Algunos países han invertido elevados presupuestos y décadas en el desarrollo de este tipo de armamento de alta tecnología, mientras que para otros países ya es una realidad. Por ejemplo, Estados Unidos cuenta con el sistema HELIOS desarrollado por Lockheed Martin, utilizado por la Marina de los EE. UU. contra drones y embarcaciones de ataque rápido. Además, está el sistema *Iron Beam*, desarrollado por la empresa israelí Rafael, el cual ha sido utilizado recientemente para la destrucción de



Figura 2. Sistema de defensa aérea basado en láser, *Iron Beam*. (Fuente: Ministerio Defensa Israelí).

drones, misiles y morteros lanzados por el ejército de Hamas. También está el caso de MBDA británica con el sistema *DragonFire*, que recientemente probó su sistema LDEW, y que, según fuentes de la compañía, acertó en el blanco de una moneda de 1 libra a 1 km de distancia.

Esta tecnología destaca por su elevada rentabilidad, ya que supone un coste por disparo de alrededor de 3,5 dólares, lo que la convierte en una contramedida muy económica en comparación con la propia amenaza, representada por proyectiles que pueden alcanzar un coste de 300 dólares. Además, contrasta con las contramedidas empleadas por el sistema de Cúpula de Hierro donde cada misil interceptor Tamir tiene un coste unitario de 100 000 dólares<sup>3</sup>.

Por otra parte, estas armas láser tienen costos operativos más bajos, ya que teóricamente pueden realizar un número ilimitado de disparos al no estar sujetas a la disponibilidad de munición y su calidad. Esto se debe a la reducción de personal al eliminarse las necesidades asociadas al transporte, instalación y mantenimiento de la munición.

El mayor inconveniente proviene de la pérdida de eficacia a medida que aumenta la distancia y ante ciertas condiciones meteorológicas, lo que limita su cobertura a unos 7-10 km de distancia para poder transmitir la energía suficiente durante al menos los cuatro o cinco segundos necesarios para destruir un blanco u objetivo.

Esta pérdida de eficiencia impone unos requerimientos extremos y, en concreto,



Figura 3. Estrella Guía Laser Observ. Teide WHT. (Fuente: Isaac Newton Group of Telescopes-La Palma).

al subsistema óptico. Este debe focalizar el haz incorporando lentes o espejos de máxima calidad óptica, con unos recubrimientos ópticos especiales de alta resistencia al desgaste. Igual de importante es la «atermalización» del telescopio para poder operar en condiciones ambientales varias y evitar distorsiones debidas al propio calentamiento producido por el haz láser, sin olvidar una mecánica de precisión que evite que las vibraciones inducidas por la plataforma con el fin, en su conjunto, de garantizar la máxima estabilidad del subsistema óptico.

La industria española no quiere quedarse atrás en esta clase de sistemas de armas. En 2019, el Ministerio de Defensa aprobó el proyecto SIGILAR en el que participó la empresa EM&E junto con el Centro de Láseres Pulsados Ultracortos Ultraintensos de Salamanca (CLPU), desarrollando un primer demostrador láser de más de 15 kW de potencia pico y estable.

Recientemente, el Ministerio de Defensa ha invertido casi 11 millones de euros<sup>4</sup> para el desarrollo de un

Demostrador Instrumental de Arma Láser (DIAL) contra Sistemas de Aeronaves Pilotadas Remotamente o Drone (RPAS por sus siglas en inglés) con una potencia de hasta 35 kW. En este proyecto trabajarán, a través de una Unión Temporal de Empresas (UTE), las empresas INDRA y EM&M.

En nuestro país, existen pymes de base tecnológica innovadoras, como es el caso de LIDAX, una compañía que desarrolla soluciones de telescopios «atermalizados», que minimizan los efectos que la variación de temperatura pueda causar en la calidad de imagen.

Esta pyme madrileña participó en el desarrollo de un telescopio refractivo de un láser de alta potencia colimado, con exigentes requisitos en cuanto a la calidad óptica del haz requerida a una distancia de 90 km de altura (en la mesosfera terrestre). Estos sistemas se utilizan como «estrella guía» para medir la turbulencia, permitiendo la corrección en tiempo real mediante sistemas de óptica adaptativa.

Aunque se trate de una aplicación civil, las soluciones implementadas pueden tener una aplicación directa para la defensa, siendo estos telescopios fundamentales para una correcta colimación de un láser de alta potencia. Además de los requisitos ópticos del láser a su salida, el correcto diseño del subsistema de gestión y control térmico es crucial para disipar los gradientes térmicos generados por el láser en el propio telescopio como en los subsistemas adyacentes.

Otras empresas nacionales están realizando prometedores desarrollos en láseres en estado sólido pulsados como FYLA o Monocrom, que fabrica tecnología de diodos láser o, como se mencionó anteriormente, una infraestructura científica y técnica singular como el CLPU.

## Conclusiones

A pesar de lo dicho, para los próximos años queda camino por recorrer con el objetivo de disponer de un sistema de armas

nacional de energía dirigida mediante láser de alta potencia. Para que este sea una solución eficaz y robusta, los fabricantes de sistemas (*Original Equipment Manufacturer*, OEM) nacionales, deben confiar más en su cadena de suministro, especialmente, en aquellas pymes de base tecnológica.

Estas pymes, contando con capacidades específicas en el desarrollo de productos de alto valor, pueden contribuir en los diferentes subsistemas que dominan (por ejemplo, telescopios ópticos, láseres) con el fin de alcanzar un nivel de prestaciones óptimo, de alto valor y competitivo. Esta aproximación nos permitiría contar con un sistema completo nacional y competitivo en el mercado, lo que aseguraría participar, junto con nuestros aliados europeos, en una estrategia común de seguridad y defensa, sobre todo ante un contexto de alta inestabilidad en el que se encuentra Europa, para la próxima década.

## Referencias

- [1] Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa ETID - 2020. (2021). Secretaría de Estado de Defensa. DGAM. Ministerio de Defensa. [Consulta: 2024]. Disponible en: <https://publicaciones.defensa.gob.es/estrategia-de-tecnologia-e-innovacion-para-la-defensa-etid-2020-libros-pdf.html>
- [2] Ventajas y desventajas del *Iron Beam*, el arma más sofisticada de Israel. (2023). *La Razón*. [Consulta: 2024]. Disponible en: [https://www.larazon.es/tecnologia/ventajas-desventajas-iron-beam-israel-hamas\\_202310086522848e-90d39d000108a781.html](https://www.larazon.es/tecnologia/ventajas-desventajas-iron-beam-israel-hamas_202310086522848e-90d39d000108a781.html)
- [3] DragonFire, la precisa arma láser europea que acierta a una moneda a 1 kilómetro de distancia. (2024). *El Español*. [Consulta: 2024]. Disponible en: [https://www.elespanol.com/omicrocrono/defensa-y-espacio/20240127/dragonfire-precisa-arma-laser-europea-acierta-moneda-kilometro-distancia/826917469\\_0.html](https://www.elespanol.com/omicrocrono/defensa-y-espacio/20240127/dragonfire-precisa-arma-laser-europea-acierta-moneda-kilometro-distancia/826917469_0.html)
- [4] Indra y Escribano diseñarán un arma láser antidrón para España por casi 11 millones. (2023). *Infodefensa*. [Consulta: 2024]. Disponible en: <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/4624223/indra-escribano-disenaran-demostrador-arma-laser-ministerio-defensa-espanol>
- [5] Armas Láser – Génesis Evolución y Tendencias. Ejércitos. (2020). Revista Ejércitos. [Consulta: 2024] Disponible en: <https://www.revistaejercitos.com/articulos/armas-laser-genesis-evolucion-y-tendencias/>

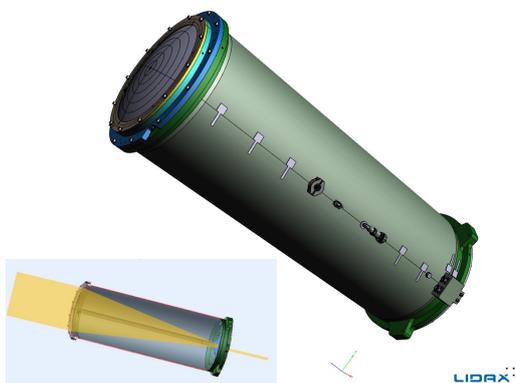


Figura 4. CAD Desarrollo de un Telescopio de Lanzamiento Láser LLT. (Fuente: LIDAX).

# En Profundidad

## Simposio «La mitigación y la respuesta a la guerra cognitiva»

**Autor: Dionisio Urteaga Todó, SDG Relaciones Internacionales de la DGAM.**

**Palabras clave:** guerra cognitiva, respuesta a la guerra cognitiva, operaciones psicológicas, operaciones de información.

**Líneas I+D+i ETID relacionadas:** 9.1; 9.2; 9.3; 11.1; 11.3; 11.4; 11.5.

### Introducción

La Organización de Ciencia y Tecnología de la OTAN organiza, en el marco de las actividades anuales de sus siete paneles, diferentes simposios en los que diversos autores, investigadores, científicos o analistas expertos, presentan comunicaciones o estudios, que dan lugar a líneas de investigación sobre temas de interés para la OTAN posibilitando mejorar sus capacidades operativas.

En este ámbito, y como continuación al trabajo presentado por el HFM *Exploratory Team 356*<sup>1</sup>, se organizó en Madrid, el pasado mes de noviembre (13 y 14 de noviembre) un Simposio, organizado por el Panel de Factores Humanos y Medicina, de la Organización de Ciencia Tecnología (STO) de la OTAN, bajo el título HFM-361-SYMPOSIUM *Mitigating and Responding to Cognitive Warfare*, en el que se presentaron hasta veintiuna (21) ponencias a los ciento veintinueve (129) participantes de veinticuatro (24) nacionalidades y diferentes organismos de la OTAN (Cuartel General,

<sup>1</sup> El Equipo Exploratorio (ST) 356 sobre Mitigación y Respuesta a la Guerra Cognitiva (HFM ET 356) operó en el contexto del Panel de Factores Humanos y Medicina (HFM) de la Organización de Ciencia y Tecnología (STO) de la OTAN. En el trabajo presentado realizó una evaluación de la ciencia y la tecnología necesarias para mitigar y defenderse de la guerra cognitiva (CogWar). El ET 356 propuso una hoja de ruta científica y tecnológica para orientar a la OTAN y a los socios aliados en las futuras actividades de investigación e inversiones de la organización. Los miembros de este equipo participaron en un taller sobre la guerra cognitiva (CogWar), celebrado en Polonia en abril del 22, que tuvo su continuación en otro, en Noruega, en noviembre del mismo año.

Mando Aliado de Transformación (ACT) y STO) que asistieron a las diferentes sesiones celebradas en el salón de actos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales de Madrid. Las diferentes ponencias abordaron distintos enfoques, tanto teóricos como prácticos, militares y civiles, sobre la guerra cognitiva. Las comunicaciones se agruparon en cinco categorías en función del tema o complementariedad:

- Conferencias magistrales o principales.
- Ciencia cognitiva focalizada en la comprensión y conceptualización de la guerra cognitiva.
- *Modus Operandi*. (Técnicas, Tácticas o Procedimientos) y Conocimiento de la situación. En estos dos grupos, analizando las estrategias y modelos de la guerra cognitiva, y su caracterización.
- Habilitadores tecnológicos como multiplicadores de fuerza en el que se abordaron aspectos tecnológicos y sociales de la guerra cognitiva y su posible uso sobre el terreno y en la práctica.

Durante todas las intervenciones, los diferentes ponentes pusieron de relieve la naturaleza dinámica de la guerra cognitiva, haciendo hincapié en la necesidad de disponer de estrategias adaptables y globales para hacer frente a las amenazas en el dominio cognitivo. Este dinamismo viene condicionado por las nuevas tecnologías disruptivas y emergentes, y las interacciones psicosociales que estas posibilitan.

Entre las principales conclusiones del simposio se encuentran la necesidad de seguir investigando sobre la aportación de la tecnología y la ciencia a este «nuevo» modelo de guerra, la necesidad de establecer el marco ético y legal de las tecnologías emergentes y su impacto en el dominio cognitivo, y el desarrollo de estrategias eficaces para mitigar y responder a la guerra cognitiva.

### Las claves del congreso

El simposio tenía como objetivo profundizar, por una parte, en el estudio



**Figura 1.** Vista general del salón de actos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales, durante una de las sesiones del simposio. (Fuente: Organización del simposio. CSO STO).

llevado a cabo por el ET<sup>2</sup> previo, donde se presentó el *Cognitive Warfare House Model*<sup>3</sup> (ver Figura 2), como base de una Hoja de Ruta Estratégica de ciencia y tecnología, estableciendo vínculos con el ciclo operativo Observar, Orientar, Decidir y Actuar (OODA) y, por otro lado, en las discusiones de un grupo de trabajo *ad hoc*<sup>4</sup> sobre la guerra cognitiva, que se ha consolidado como un foro de discusión sobre este concepto en el marco de la STO, para tratar de conocer mejor el campo de batalla multidominio de la guerra cognitiva y explorar cómo se puede influir en el comportamiento humano, protegiendo o manipulando la cognición para obtener una ventaja estratégica.

Todo ello con el fin de mejorar la comprensión de la guerra cognitiva por parte de la comunidad científica y tecnológica de la OTAN, dando pasos importantes hacia la madurez de este concepto (la guerra cognitiva y las

<sup>2</sup> Ver nota al pie 1.

<sup>3</sup> El *House Model* presenta siete campos de conocimiento y facilitadores en los ámbitos científicos y tecnológicos que están interrelacionados y se construye sobre una referencia doctrinal, tres pilares y cuatro niveles, para apoyar el objetivo de la guerra cognitiva:

- Pilares:
  - Neurociencia cognitiva.
  - Ciencias cognitivas y del comportamiento.
  - Ciencias sociales y culturales.
- Niveles:
  - Conciencia situacional y sensibilización.
  - Efectos cognitivos.
  - *Modus operandi*.
  - Tecnología y multiplicadores de fuerza.

<sup>4</sup> El *Workshop* de Noruega (ver nota al pie 1) se desarrolló bajo el título *Advancing Towards a Common Understanding of Cognitive Warfare for Science and Technology and Identifying Future Research*. Este GT mantiene reuniones periódicas para seguir profundizando en la comprensión del concepto de la Guerra Cognitiva. Del GT forma parte el autor de este artículo.

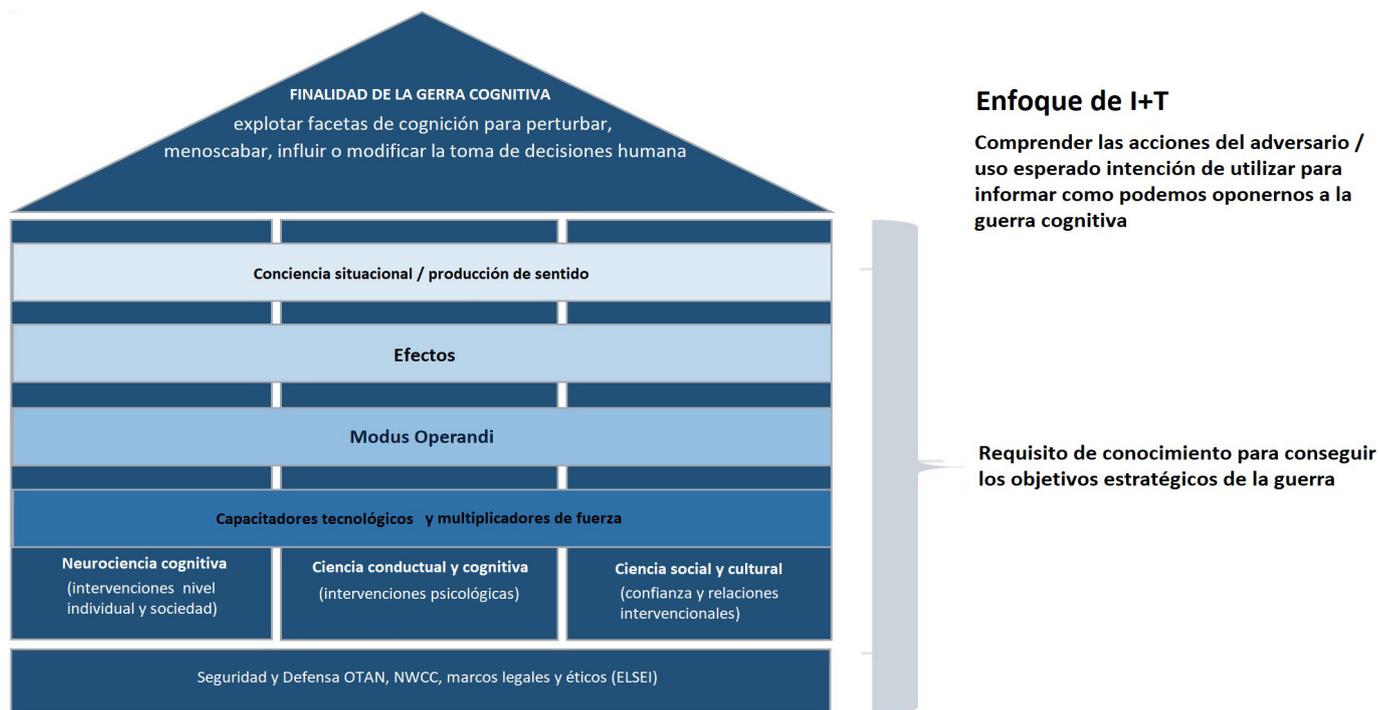


Figura 2. Cognitive Warfare House Model. (Fuente: Benjamin J. Knox. STO Technical Report STO-TR-HFM-ET-356 Mitigating and Responding to Cognitive Warfare).

formas de contrarrestarla) dentro de la Alianza, considerando los desafíos multidimensionales de este «novedoso» tipo de guerra, y explorar sinergias y retos comunes en la compleja naturaleza de la guerra cognitiva.

Podemos entender el dominio cognitivo del enfrentamiento como una parte del entorno de la información, que incluye el espacio no físico de operaciones que, a su vez, abarca las acciones, procesos y efectos relacionados con las percepciones del ser humano, individualmente o como grupo<sup>5</sup>. Este dominio es inherente a la capacidad humana de juicio, conciencia de grupo y toma de decisiones. Por otro lado, podemos definir la guerra cognitiva como el desarrollo de aquellas actividades llevadas a cabo en sincronización con otros instrumentos de poder<sup>6</sup> para afectar actitudes y comportamientos influyendo, protegiendo o perturbando la cognición individual y grupal para

ganar ventaja sobre un adversario<sup>7</sup>. Igualmente, podemos considerar que las ciencias y tecnologías emergentes y disruptivas contribuyen a la guerra cognitiva: todas ellas producen efectos en las operaciones militares, en las capacidades de la defensa y en los procesos de decisión (políticos, militares, etc.).

Por ello, las ponencias presentadas en el simposio abordaron aspectos científicos, tecnológicos, conceptuales o doctrinales sobre la guerra cognitiva, pero también sobre el dominio cognitivo, agrupándose, como se ha señalado anteriormente, en cinco grandes áreas.

Tras la bienvenida de los anfitriones al simposio, por parte del subdirector general de Planificación, Tecnología e Innovación (SDG PLATIN) de la DGAM, el general de División Campo Loarte y, por parte de la STO, Brian Wells, Jefe Científico de la OTAN (NATO STO Chief Scientist), la primera de las sesiones se dedicó a una presentación, genérica, a modo de introducción, en la que se pretendían, en tres conferencias magistrales, sentar las premisas del simposio,

## Enfoque de I+T

Comprender las acciones del adversario / uso esperado intención de utilizar para informar como podemos oponernos a la guerra cognitiva

Requisito de conocimiento para conseguir los objetivos estratégicos de la guerra

con tres presentaciones sobre el enfoque español de la guerra cognitiva<sup>8</sup>, la descripción del campo de batalla cognitivo con otra perspectiva, en este caso la rusa<sup>9</sup>, o la vinculación del dominio cognitivo y la guerra cognitiva al ámbito científico y tecnológico<sup>10</sup>.

Tras esta inmersión en el dominio y guerra cognitivos, se dio paso a que los expertos, que presentaron comunicaciones<sup>11</sup> para el simposio, expusieran sus trabajos de investigación y

<sup>8</sup> Spanish approach to cognitive warfare. CN Ignacio Nieto, jefe de la Sección de Dirección Estratégica de Operaciones, de la División de Estrategia del Estado Mayor Conjunto.

<sup>9</sup> Cognitive Battleground: Understanding the Russian Perspective. Janis Bezins, Center for Security and Strategic Research (CSSR) at the National Defense Academy.

<sup>10</sup> Subversion in the 21<sup>st</sup>. Century: Emerging Technologies and Cognitive Warfare. Jean-Marc Rickli, Head of Global and Emerging Risks at the Geneva Centre for Security Policy, Switzerland.

<sup>11</sup> En el simposio se presentaron 20 ponencias seleccionadas de entre las 35 presentadas al Comité de Programa (de las cuáles fueron seleccionadas 22). El Comité estaba presidido por un italiano y un británico (vinculado profesionalmente a Noruega), y compuesto además por diez miembros, dos de ellos españoles, el autor de este artículo y Eugenia Hernández. De las 35 ponencias inicialmente presentadas, 6 fueron presentadas por españoles (individualmente o en equipo), y con respecto a otras 2, en los equipos «multinacionales» que las presentaron, había representantes españoles. Por tanto, de las 22 seleccionadas, en cuatro de ellas había representantes españoles.

<sup>5</sup> Concepto Exploratorio Ámbito Cognitivo. Estado Mayor de la Defensa. Mayo de 2020.

<sup>6</sup> Los instrumentos (clásicos) del poder, según la teoría planteada por Joseph Nye, son la diplomacia, la información, el militar y el económico. Recientemente, se han incorporado el financiero, el legal (Law Enforcement) y la inteligencia. Por eso pueden verse en diferentes ámbitos tanto los acrónimos DIME, como DIME-FIL, cuando nos referimos a los instrumentos del poder.

<sup>7</sup> NATO Cognitive Warfare Exploratory Concept Draft. NATO Allied Command Transformation (ACT). (2022). Versión: diciembre.

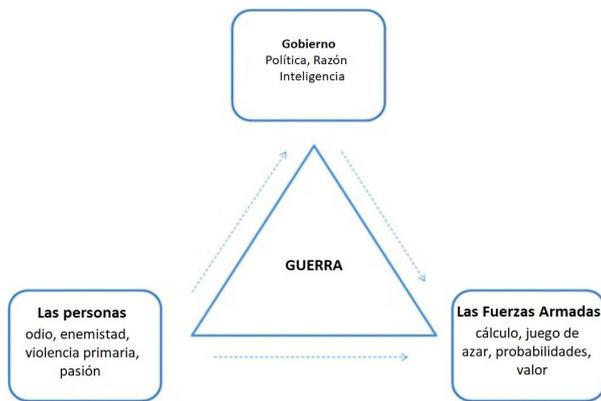


Figura 3. La Trinidad de la Guerra de Clausewitz y la concepción de No llegar al combate de Sun Tzu. (Fuente: CAP (N) Ignacio Nieto jefe de la Sección de Conducción de Operaciones. División de Estrategia / Estado Mayor Conjunto).

ponencias. En las presentaciones se parte del hecho de que en la guerra cognitiva se combinan la estrategia militar (incluyendo tácticas, técnicas y procedimientos) y una gran variedad de técnicas (tecnologías o avances científicos) provenientes de campos académicos como la neurociencia, la psicología y la tecnología de la información, entre otros, planteando tanto retos como oportunidades a las opciones político-militares que puedan plantearse para resolver (o responder a) las crisis o conflictos.

Así, la guerra cognitiva, que puede llevarse a cabo en todo el espectro del conflicto, desde situaciones de paz a guerra total, pasando por lo que hoy se conoce como zona gris y conflictos híbridos, no se limita a las perspectivas u opciones militares solamente; abarca entornos políticos y sociales aprovechando avances tecnológicos y científicos, junto a técnicas tradicionales como las operaciones psicológicas, por ejemplo, para manipular la cognición y el comportamiento humanos. En este sentido, la guerra cognitiva se podría plantear como una alternativa estratégica al uso de la fuerza o la diplomacia, dirigida a los tres pilares de la trinidad de Clausewitz —pueblo, fuerzas armadas y Gobierno— mediante la manipulación de la información y de la mente humana, y la alteración de los procesos de decisión.

Esto último ha sido una constante tradicional en todo conflicto (Sun-Tzu ya lo avanzaba en su famosa obra El Arte de la Guerra, hace más de dos mil años). Lo que ha cambiado es que el rápido ritmo de desarrollo de la tecnología (especialmente civil y de

doble uso, pero también la militar)<sup>12</sup>, es un factor crucial que influye en la dinámica de la guerra cognitiva, pues su alcance, en tiempo y distancia, es, actualmente mucho mayor (los efectos se consiguen a mayor rapidez y sobre mayores audiencias objetivo a mayor distancia del «campo de batalla»).

### Comprender y conceptualizar la guerra cognitiva

En esta sesión se abordaron, desde diferentes perspectivas, aspectos que permitieron encuadrar o enmarcar la guerra cognitiva.

Es en el campo de las ciencias sociales, reforzado a través de la interacción con otras ciencias de los ámbitos de las ciencias naturales o las ciencias formales, donde se desarrolla, esencialmente, la guerra cognitiva, cuyas acciones producen efectos de gran impacto en la organización social y las identidades de grupo, destacando la desinformación y la propaganda, amplificadas en la era digital que vivimos, como acciones tipo. Así, en Internet (en especial en las redes sociales que utilizan este medio) se aprovechan los sesgos cognitivos y los procesos de socialización para manipular la opinión pública y la identidad, lo que exige trabajar en el ámbito de las ciencias sociales para mitigar los efectos de la guerra cognitiva.

Por otra parte, se detecta que los sistemas de valores tienen una gran

importancia en este ámbito de enfrentamiento, en el que se distinguen claramente las diferencias en el comportamiento entre sociedades democráticas y autocráticas, y las narrativas que en cada una se utilizan. Las diferencias en el sistema de valores tienen una importancia estratégica en las operaciones militares cuando se afrontan acciones que pretenden tener efectos en el ámbito cognitivo.

En otra de las ponencias de esta sesión se enfatiza en la relación de la guerra cognitiva con conceptos afines como las amenazas híbridas y la manipulación e interferencia de la información extranjera (FIMI), conceptos actualmente en fase de definición como consecuencia de su continua evolución y tener distintas interpretaciones en las diferentes esferas institucionales, cuando no nacionales, además de tener un carácter complejo.

También se presentó un trabajo sobre el desarrollo de un sistema codificado que presenta un marco integral para comprender y categorizar las tácticas, técnicas y procedimientos en relación con los objetivos de la guerra cognitiva, con una visión totalmente «neuro céntrica», al focalizarse en el análisis de cómo el sistema neuronal «procesa» la información e interactúa con los métodos adversarios que pretenden alterar ese proceso.

Hoy en día, las máquinas permiten integrar la cognición y la inteligencia humana en sus procesos automatizados, facilitando la interacción entre el elemento humano y el computador. Esta interfaz es un campo fértil para la

<sup>12</sup> Si en el pasado los avances tecnológicos militares se exportaban al ámbito civil, en la actualidad ocurre al contrario.

## En profundidad



Figura 4. *Situational Awareness/Sense Making and OODA Loop.*  
 (Fuente: Dionisio Urteaga Todó).

guerra cognitiva, lo que exige u obliga a hacer una aproximación holística hacia esta relación para evitar, por un lado, efectos perniciosos y, por otro, obtener ventajas en el marco de los procesos de apoyo que la máquina proporciona al intelecto humano en la toma de decisiones o en la gestión de la información. Esta integración de la cognición humana y la inteligencia computacional fue el objeto de la última ponencia de esta sesión dedicada a la conceptualización de la guerra cognitiva.

La aproximación integral u holística de ciencias sociales y tecnologías facilita la comprensión del ámbito cognitivo en la guerra moderna, tanto para explotar sus posibilidades como para mitigar los efectos de las acciones en dicho ámbito.

### Aspectos tecnológicos y sociales de la guerra cognitiva

La tecnología, en particular la asociada a la comunicación (a través de redes sociales en Internet), juega un rol muy importante en la configuración de las estrategias de la guerra moderna (la que se lleva a cabo sin enfrentamiento militar), que facilitan en gran medida la transición de la propaganda tradicional a sofisticadas tácticas de guerra cognitiva y operaciones psicológicas. Esto, además, se amplifica por el desarrollo de la Inteligencia Artificial (IA) y el aprendizaje Automático de las Máquinas (AM) que permiten la gestión de un gran volumen de información (tanto los datos, como su flujo), una opción útil tanto para acciones ofensivas como defensivas.

La conciencia situacional (*Situational Awareness*) se define como la percepción de los elementos de un entorno dentro de un volumen definido de tiempo y espacio. Conocer que es lo que está sucediendo es crucial para la toma de decisiones en la guerra. Hasta ahora, se situaba en los mapas de decisión lo que sucedía en los ámbitos físicos del enfrentamiento (terrestre, marítimo o aéreo). Hoy en día hay que situar lo que sucede en los virtuales, incorporando componentes psicosociales como los elementos culturales, el comportamiento humano y el impacto de las redes sociales y los medios de comunicación, que configuran la necesidad de disponer de un Mapa de Situación multidominio (que las nuevas tecnologías deben posibilitar), que facilite el proceso de decisión en y para todos los ámbitos/dominios de enfrentamiento.

Esta representación debe facilitar la integración del creciente uso de los medios sociales (información y redes sociales), como acciones con influencia en las operaciones militares en todos los niveles. A partir de su visualización se podrá determinar la amenaza, lo que facilitará su posible mitigación, al caracterizar e identificar acciones y actores hostiles.

Pero las tecnologías, se expone en otra de las ponencias de este panel, no deben ser explotadas únicamente para esto, también deben facilitar la exploración de las fronteras emergentes en la edición del genoma y las interfaces cerebro-ordenador (BCI) para establecer sus implicaciones en la guerra cognitiva. Las tecnologías de doble uso presentan potencial para mejorar la cognición y la salud humanas, pero pueden, simultáneamente, ser utilizadas como armas. En este sentido, las interfaces entre el cerebro y la máquina pueden amplificar capacidades cognitivas (del ser humano o de la propia máquina), pero también aprovecharse para manipularlas.

Así, en otra ponencia, se resalta el uso de las tecnologías de mejora cognitiva, como la «neuroestimulación» y esas interacciones entre el cerebro y el ordenador, en entornos militares, para aumentar las capacidades cognitivas que, en muchos casos, facilitan la resiliencia y superioridad cognitiva. En esta ponencia se presenta, además, el cuestionamiento ético y legal, también social, del uso de estas tecnologías de carácter dual.

### Contenido, cognición y competencia estratégica

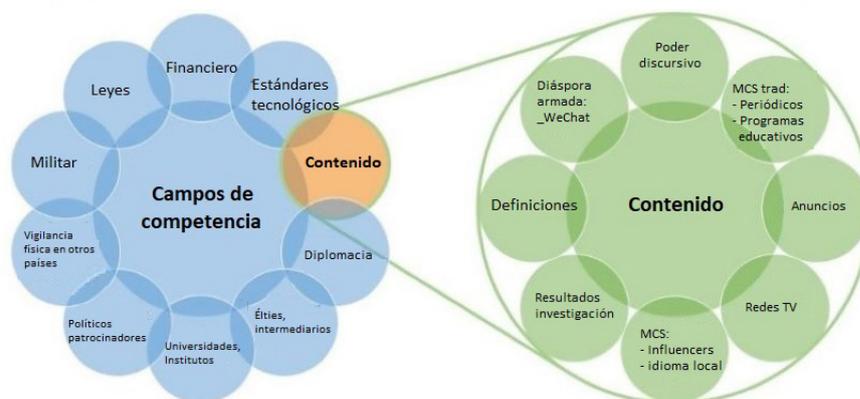


Figura 5. *Content, cognition and strategic competition.* (Fuente: Arild Bergh, Ph. D. *Being There: Content, Cognition and Strategic Competition Norwegian Defence Research Establishment*).

Finalmente, en este panel se abordó el empleo de productos químicos y farmacéuticos como «neuroarmas» en la guerra cognitiva, considerando su potencial para manipular la cognición y el comportamiento humanos.

En este panel se planteó el panorama complejo y en evolución de la guerra cognitiva, en el que se emplean diversos métodos para influir, manipular y controlar la cognición y el comportamiento humanos, así como la necesidad, pero también la dificultad, de su visualización.

### Estrategias y modelos de guerra cognitiva

Como todo tipo de guerra, la guerra cognitiva exige estrategias, tácticas y procedimientos (TTP) innovadores para una ofensiva, defensa y resistencia eficaces. Lo que podría diferenciar estas TTP de los utilizados en otros tipos de guerra es que las mismas tienen un carácter multidimensional.

En la guerra cognitiva, al intentar modificar las percepciones, juega un papel fundamental la confianza en las instituciones y en el líder, para facilitar la defensa contra la guerra cognitiva y facilitar el obtener la superioridad cognitiva, a partir de la resiliencia cognitiva.

En la guerra cognitiva la manipulación estratégica de la información pretende erosionar la confianza de la sociedad. En la ponencia que se expone esta cuestión se presenta, como modelo paradigmático, la necesidad de mantener la resiliencia de la sociedad equilibrando un nivel saludable de desconfianza o escepticismo con la confianza. Un modelo que, en la ponencia que se expuso a continuación, se reflejó en el análisis de cómo Noruega hace frente a posibles escenarios de guerra cognitiva en procesos electorales, señalando la necesidad de afrontar posibles injerencias de forma transversal por parte de toda la sociedad y de las instituciones.

Unos escenarios en los que es necesario desenvolverse adecuadamente, por lo que es necesario adiestrarse utilizando para ello cualquier posibilidad, entre ellas, la del uso de

simuladores. Por ello se presentó por parte de un ponente la herramienta Somulator (Noruega) que proporciona escenarios realistas para que el personal experimente y responda a tácticas de guerra cognitiva, mejorando la conciencia situacional y las habilidades de comunicación estratégica.

En estas ponencias se expuso la complejidad de la guerra cognitiva y la necesidad de integrar los conocimientos teóricos con las aplicaciones prácticas, desde un punto de vista holístico y multidisciplinar.

### La guerra cognitiva sobre el terreno y en la práctica

En esta sesión se analizaron diferentes escenarios en los que se llevan a cabo acciones asociadas a la guerra cognitiva, aunque se definan como zonas grises, conflictos híbridos o «guerras».

Entre ellos se examinó el uso, a nivel estratégico, de las campañas de desinformación por parte de Rusia y el papel transformador de las redes sociales y las plataformas digitales en los conflictos modernos, lo que obliga a realizar un análisis exhaustivo del entorno de la información, demostrando cómo la comunicación estratégica (StratCom) es esencial para identificar y contrarrestar las operaciones de influencia.

También se presentó un estudio sobre el uso, por parte de China, de narrativas culturalmente matizadas y adaptadas a las diferentes audiencias en el Sudeste Asiático.

En otra ponencia de este panel se afrontó el aspecto táctico de la guerra cognitiva, destacando la necesidad de que las democracias participen activamente en el entorno informativo para combatir la influencia de las narrativas adversarias, no dejando espacio libre ni oportunidades al adversario, utilizando para ello un trabajo de campo realizado en Japón.

También se dedicó una parte del panel a explorar el papel de los rasgos de personalidad como la concienciación y la atención visual a la hora de discernir las noticias falsas de las reales, en el contexto de las estrategias de

manipulación narrativa, una nueva forma de llevar a cabo «operaciones psicológicas».

Finalmente, volviendo sobre el escenario ruso, en el marco de su intervención ilegal en Ucrania, se abordó la comprensión de la guerra cognitiva en condiciones extremas y su impacto en las capacidades de percepción, aprovechando la fatiga mental de los individuos y las sociedades, y la niebla existente en el entorno de la información.

En los trabajos presentados en este panel, basados en casos reales, se confirma el enfoque polifacético de la guerra cognitiva.

### Conclusiones

La amplitud del enfoque con el que se analizó la guerra cognitiva durante el simposio muestra la variedad de herramientas disponibles no solo para comprender el fenómeno, sino también para contrarrestarlo, mitigarlo y defenderse de él, debido al carácter multidimensional de este tipo de guerra, lo que la hace sensiblemente compleja y cambiante, exigiendo adaptabilidad a la misma, que puede facilitarse por el uso adecuado de la tecnología y los avances científicos.

Uno de los aspectos más destacables es el apunte que se hizo de forma reiterada sobre las dimensiones éticas de la guerra cognitiva. Los debates, en particular los relativos al dilema del doble uso de ciertas tecnologías, pusieron de relieve la importancia de considerar las implicaciones morales de los avances en este campo.

### Referencias

- [1] Buvarp, P. M. H. (2023). *Mitigating and Responding to Cognitive Warfare*. STO Technical Evaluation Report – HFM-361-SYMPOSIUM. 13-14 noviembre. Madrid, España.
- [2] Concepto Exploratorio Ámbito Cognitivo. Estado Mayor de la Defensa. (2020).
- [3] Knox, B. J. (2022). *Cognitive Warfare House Model*. STO Technical Report STO-TR-HFM-ET-356 *Mitigating and Responding to Cognitive Warfare*.
- [4] NATO *Cognitive Warfare Exploratory Concept Draft*. NATO Allied Command Transformation (ACT). (2022). Versión: diciembre.

## Cómo limitar las bajas militares debidas a lesiones musculoesqueléticas en el personal militar

**Autores:** Beatriz Sanz-Bustillo Aguirre, Ministerio de Defensa, Universidad San Pablo-CEU; Luis Miguel López Mojares, Instituto de Debate y Análisis de Política de Defensa (IDAPS).

**Palabras clave:** prevención, bajas militares, lesiones musculoesqueléticas, instrucción militar.

**Metas Tecnológicas relacionadas:** MT 9.2.1.

### Introducción<sup>1</sup>

Durante los últimos veinte años, la investigación científica ha desarrollado diversas herramientas que persiguen reducir significativamente la principal causa de bajas militares, que son las Lesiones Musculoesqueléticas (LME), procedentes de la instrucción militar.

Con antecedentes en el impulso de la administración Rumsfeld al principio del milenio, un grupo multidisciplinar internacional de especialistas integrados en el Grupo de Investigación del Panel de Factores Humanos y Medicina (HFM) de la Organización de Ciencia y Tecnología de la OTAN, en el que España ha estado representada, acaba de publicar un notable documento que resume el trabajo de expertos mundiales del ámbito militar. Se trata del Informe Técnico TR-HFM-283, denominado *Reduciendo Lesiones Musculoesqueléticas (Reducing Musculoskeletal Injuries)*, premiado por el Panel HFM con el

reconocimiento a la excelencia investigadora. A continuación, se destacan los aspectos más relevantes, de indudable aplicación práctica, tanto para los mandos superiores, como para los instructores, personal sanitario y científicos involucrados en la instrucción militar de nuestras Fuerzas Armadas.

La exigencia de la actividad militar requiere un entrenamiento específico, que supone un cierto riesgo de sufrir este tipo de lesiones, problema que se agudiza en la instrucción básica de los nuevos reclutas.

Las LME suponen, al menos, la mitad de todas las causas de baja médica, lo que limita significativamente la eficacia y eficiencia, tanto de la instrucción militar como de la operatividad de las unidades. La bibliografía científica revela que entre el 20 y el 60 % de los nuevos reclutas son afectados por estas, con una baja médica del 8 % del total de los ingresados. También se ha comprobado que las medidas generales de prevención han surtido un pobre resultado.

### Prevalencia de las lesiones musculoesqueléticas<sup>1</sup>

En la prevalencia de las LME destacan las localizadas en los miembros inferiores, hallándose diferencias significativas entre hombres y mujeres.

La evaluación y comparación de los datos de los países participantes ha encontrado ciertas dificultades técnicas, resaltando las siguientes:

- La falta de aplicación de una codificación internacional sistemática y unificada de las lesiones.
- La falta de uniformidad en los controles médicos.
- La carencia de uniformidad de los registros digitales normalizados.
- La tendencia a la infradeclaración de este tipo de lesiones.

Factores de riesgo de lesiones musculoesqueléticas en personal militar 1,2.

Con objeto de diseñar la mejor estrategia de intervención, los factores de riesgo (FR) de sufrir LME se clasificaron con tres criterios:

- Modificable (m) / No modificable (nm).
- Intrínseco (del individuo) / Extrínseco (del ambiente o de la misión).
- Orden: proximidad del factor de riesgo para ser causa directa de la lesión: 1.º, 2.º y 3.º.

Se evaluaron cincuenta y siete (57) factores de riesgo, potencialmente responsables de las LME, de los cuales se hallaron veintiuna (21) con asociación estadísticamente significativa fuerte o moderada, que pueden contemplarse en la Tabla 1.

De entre los quince (15) factores con asociación fuerte, se detectaron ocho modificables, de ellos cuatro relacionados con el control de peso, y tres con el tipo de entrenamiento. De los seis considerados como de asociación moderada, había solo dos modificables, del mismo modo relacionados con el entrenamiento y la nutrición.

En la figura 1 se puede ver la representación gráfica de estos hallazgos, y su clasificación según sus posibilidades de modificación, origen y orden.

### Intervenciones<sup>1</sup>

Las estrategias orientadas a la reducción y prevención de LME deberían tener en cuenta: el origen multifactorial de estas lesiones, las interacciones entre los diferentes factores de riesgo que las propician, las particularidades de la población diana y el abordaje multidisciplinar.

Las siguientes tablas muestran intervenciones recomendadas (tabla 2) y no recomendadas (tabla 3), extraídas de dos revisiones sistemáticas efectuadas en relación con estrategias preventivas eficaces en la prevención de LME en poblaciones militares 3,4.

Coinciden en reseñar como elementos esenciales de los esfuerzos preventivos: el liderazgo, la supervisión y la concienciación.

### Recomendaciones para la prevención de lesiones musculoesqueléticas durante el entrenamiento militar<sup>1</sup>

Existen diversas profesiones caracterizadas por desarrollarse en condiciones medioambientales singulares, que definen la capacidad de acción en situaciones de fatiga, calor, frío, humedad, altas o bajas presiones, o falta de sueño, y que requieren de una preparación psicofísica adecuada: militares, policías, bomberos, personal dedicado a tareas de rescate o personal de seguridad, entre otras<sup>5</sup>.

Estas personas, que bien podrían considerarse DEPORTISTAS DE ACCIÓN<sup>5</sup>, requieren un entrenamiento físico y mental especial

FUERTE	MODERADA	DÉBIL	INSUFICIENTE	NO
Exceso de grasa corporal (m)	Edad (nm)	Equilibrio deficiente (m)	Alcohol (m)	Limitación en la dorsiflexión del tobillo (nm)
Tipo de Unidad Militar (ET, Armada,...) (nm)	Pies disfuncionales (nm)	Enfermedad actual (nm)	Tiempo disponible para Actividad Física (AF)	Altura (nm)
Carga transportada (m)	Antigüedad en el servicio (nm)	Factores genéticos (nm)	Índice de Masa Corporal (IMC) elevado (m)	Calzado deportivo (m)
Actividad Militar (nm)	Escasa Fuerza Muscular (m)	Antiinflamatorios No Esteroides (AINEs) (m)	Elevado Peso Corporal (m)	Menarquia retrasada (nm)
Obesidad (m)	Despliegues recientes (nm)	Embarazo previo (nm)	Escasa densidad ósea (nm)	Contraceptivos (m)
Sobrepeso (m)	Bajo nivel vitamina D (m)	Escasa rotación tibial en carrera (m)	Escasa ingesta de calcio (m)	Activo/Reserva (nm)
Escasa experiencia deportiva previa (nm)		Empleos inferiores (nm)	Escaso nivel educativo (nm)	Consumo de verduras (m)
Escasa Condición Física (m)		Niveles escasos de hierro o ferritina (m)	Hiperrotación externa de la cadera (nm)	
LME previas (nm)		Escaso tiempo de sueño (m)	Escasa flexibilidad (m)	
Etnia (nm)		Contenido del Programa de Instrucción (m)	Estado civil (nm)	
Temporada del año (nm)		Lugar de entrenamiento (m)	Escaso consumo de leche (m)	
Sexo femenino (nm)		Índice de exposición UV (nm)	Escasa participación en el entrenamiento físico (m)	
Consumo de tabaco (m)		Dieta vegetariana (m)	Ejercicio durante el tiempo libre (m)	
Bajo peso (m)		Excesivo perímetro abdominal (m)	Huella plantar disfuncional (nm)	
Instrucción intensiva, propia de la Unidad militar (m)			Amenorrea secundaria (m)	
			Tibia corta (nm)	

Tabla 1. CORRELACIÓN ESTADÍSTICA de potenciales factores de riesgo de LME en el personal militar. Modificable (m). No modificable (nm). (Fuente: Adaptado de Sammito et al. 2).

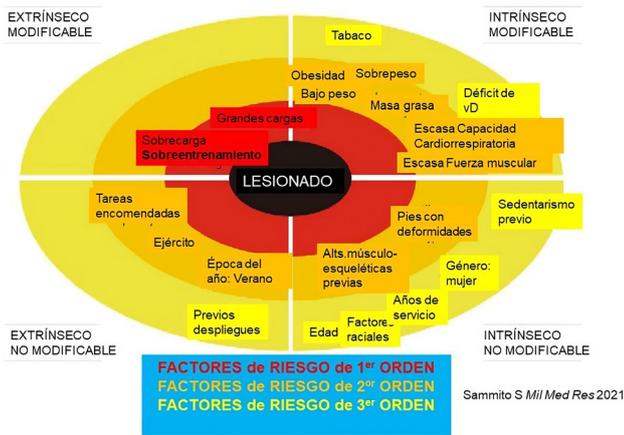


Fig. 2. Modelo de Clasificación de Factores de Riesgo (FR) de LME durante la instrucción militar. (Fuente: Adaptado de Sammito et al).

Bullock et al. 2010 <sup>3</sup>	Wardle y Greeves 2017 <sup>4</sup>
Prevenir sobre-entrenamiento *	Reducir el volumen de actividad física *
	Mejorar la aptitud física de base (pre-acceso) **
Realizar entrenamiento multiaxial, neuromuscular propioceptivo y de agilidad **	
Llevar protector bucal durante actividades de alto riesgo *	
Llevar tobillera semirígida para actividades de alto riesgo *	Tobillera (recomendación potencial en algunos casos) *
Llevar calcetines de mezcla sintética para prevenir ampollas *	
Consumir nutrientes para restaurar el equilibrio energético durante la hora siguiente a una actividad de alta intensidad **	
	Liderazgo / supervisión / concienciación *

Tabla 2. Intervenciones recomendadas para la prevención de LME en personal militar 3,4. \*Intervención de primer orden, según apartado 3. \*\*Intervención de segundo orden, según apartado 3. (Fuente: elaboración propia).

Bullock et al. 2010 <sup>3</sup>	Wardle y Greeves 2017 <sup>4</sup>
Espaldillas, arneses, cinturones de sujeción *	
Medicación anti-inflamatoria previa al ejercicio **	
	Modificación del calzado *

Tabla 3. Intervenciones no recomendadas para la prevención de LME en personal militar 3,4. \*Intervención de primer orden, según apartado 3. \*\*Intervención de segundo orden, según apartado 3. (Fuente: elaboración propia).

que les permita acometer su tarea con seguridad y eficacia. De un modo semejante a la preparación que requiere un deportista de alta competición, estos profesionales que arriesgan su vida en beneficio de la sociedad deben dedicar muchas horas y mucha ilusión al acondicionamiento psicofísico general, fuerza, habilidad, agilidad, resistencia, nutrición y descanso reparador. Además, el estar sometidos a un medioambiente adverso acentúa la necesidad de un entrenamiento especial<sup>5</sup>.

Para optimizar la instrucción militar deben considerarse las características funcionales de cada uno de los combatientes, el ambiente en el que se van a desarrollar las operaciones y la misión ordenada. Como se indicaba con anterioridad, la eficacia de las intervenciones para

reducir el riesgo de LME depende de decisiones a múltiples niveles: los mandos superiores, los entrenadores, el personal sanitario y los investigadores que están al servicio del soldado.

Con respecto a los mandos superiores, y dado que los índices de atrición y el número de bajas limitan la eficiencia de la instrucción militar, tendrán que poner los medios adecuados para reducir, en la medida de lo posible, las lesiones durante la instrucción. Cuando se vaya a introducir alguna medida de prevención, como por ejemplo los protectores de rodilla, deberían asegurarse de que su uso no haga que se reduzcan las medidas de precaución ordinarias, cometiendo nuevas imprudencias. Además, será necesario garantizar unos programas de entrenamiento psicofísico bien diseñados para el personal al que van dirigidos, con la periodización y progresión adecuadas que limiten al mínimo las inevitables lesiones por sobrecarga y, especialmente, aquellas que pudieran cronificarse. Para esto también es preciso adecuados periodos de descanso, programas de recuperación, hidratación y nutrición. Por último,

los mandos superiores deberían favorecer un proceso de selección que garantice una aptitud física y psicológica capaz de asimilar el programa de instrucción requerido.

En el caso de los instructores y del personal sanitario (médicos, enfermeros, fisioterapeutas, psicólogos, odontólogos, etc.) que están en contacto estrecho con el soldado, deberán recibir formación especializada, con objeto de ser capaces de analizar los factores de riesgo de LME que sufren los entrenados, realizando las modificaciones precisas en los programas, y haciendo las recomendaciones pertinentes. Seguidamente, se citan los factores de riesgo más relevantes, apuntando las medidas preventivas correspondientes:

- Entre los Factores de Riesgo (FR) de LME intrínsecos modificables destaca: obesidad, sobrepeso, bajo peso, exceso de grasa, condición física deficiente, fuerza muscular deficiente, trastornos óseos, consumo de tabaco y déficit de vitamina D. Medidas preventivas:
  - Proceso de selección con reconocimiento médico para la identificación de los FR de LME.
  - Categorización de los soldados según los componentes de la condición física (resistencia, fuerza, velocidad, flexibilidad, masa grasa, etc.).
- Con respecto a los FR de LME extrínsecos modificables: exceso de carga transportada, ergonomía del equipo y disponibilidad de fisioterapeutas, se destacan las siguientes medidas preventivas:
  - Consideraciones relativas a la modificación del peso de la carga, velocidad de la marcha, inclinación y características del terreno, repetición de tareas, etc.
  - Instrucción del personal para aplicar los principios de la ergonomía.
  - Identificación de FR de LME a cargo de los profesionales sanitarios para la prevención, tratamiento y recuperación de la lesión.

Por último, los científicos e investigadores deben aportar ideas innovadoras para mantener actualizadas las técnicas de entrenamiento, con una eficaz transferencia de conocimiento, a los Mandos Superiores, instructores y personal sanitario. Para lograr este objetivo es preciso una adecuada herramienta, normalizada adecuada que facilite la categorización y descripción de cada una de las LME que pueda aparecer.

Referencias

[1] STO-TR-HFM-283 *Reducing Musculo Skeletal Injuries*. STO 2023. DOI: 10.14339/STO-TR-HFM-283. ISBN: IMSB 978-92-837-2424-7.

[2] Sammito, S. et al. *Risk Factors for Musculoskeletal injuries in the Military: A Qualitative Systematic Review of the Literature from the past Two Decades and a new prioritizing Injury Model*. (2021). *Mil. Med. Res.* Diciembre 10; 8(1):66. DOI: 10.1186/s40779-021-00357-w.

[3] Bullock, S. et al. (2010). *Prevention of physical training-related injuries*. *Am J Prev Med.* 38, 1S, S156-S181.

[4] Wardle, S. y Greeves, J. (2017). *Mitigating the risk of musculoskeletal injury: a systematic review of the most effective injury prevention strategies for military personnel*. *Journal of Science and medicine in sport.* 20, S3-S10.

[5] López, L. (2013). *Entrenamiento para Ambientes Extremos*. Ministerio de Defensa. NIPO: 083-13-139-9.

# Boletín de Observación Tecnológica en Defensa

Disponible en

[http://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/es-es/Contenido/Paginas/Publicaciones.aspx?cat=BOLETINES TECNOLÓGICOS](http://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/es-es/Contenido/Paginas/Publicaciones.aspx?cat=BOLETINES%20TECNOLÓGICOS)

<https://publicaciones.defensa.gob.es/>



 **SOPT**  
SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y  
PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

