

MEDIDAS CONTRA MINAS. NUEVA EVOLUCIÓN DEL PARADIGMA

Enrique GARCÍA MORERA



Sin cables. Sin líos. Como por arte de magia.

Apple

Introducción. La evolución del paradigma



pesar del famoso «Hombres de hierro en barcos de madera» que desde siempre ha adornado muchas de las bases y acuartelamientos de las fuerzas de medidas contra minas a lo largo y ancho del mundo, reducir el riesgo para las dotaciones ha sido un objetivo primordial a lo largo de la historia.

El gráfico 1 muestra la evolución técnica y táctica para enfrentar la amenaza de las minas. Un proceso que es consecuencia del uso de la tecnología disponible en cada momento puesta al servicio del concepto operacional, pero que siempre ha tenido de fondo el objetivo de alejar al ser humano de la mina.

Desde que por primera vez recalé en «la arena» de la guerra de minas, he tenido la oportunidad de analizar diferentes proyectos y conceptos, casi todos basados, en mayor o menor medida, en el empleo de sistemas de tecnología no tripulada, autónoma o de operación remota desde plataformas que permanecían alejadas de la amenaza, pero todo me parecía «la guerra de las galaxias».

Desde entonces han sido múltiples las iniciativas y estudios de marinas de nuestro entorno sobre desarrollos de capacidades de guerra de minas basadas en vehículos controlados remotamente. Incluso la Armada llegó a generar

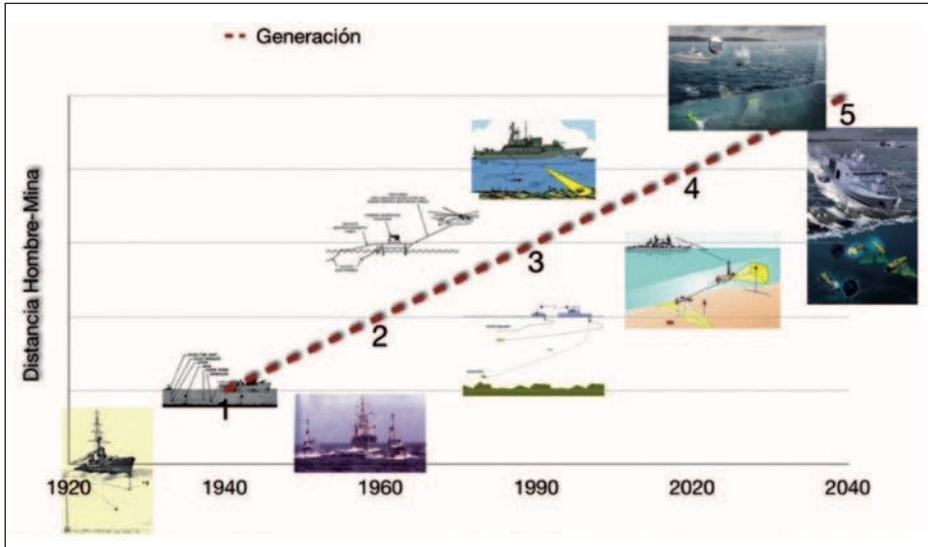


Gráfico 1. Evolución del concepto operacional. (Elaboración propia).

proyectos de mejoras y obtención de este tipo de sistemas (1), pero ninguno de ellos ha llegado a materializarse.

En ese momento nos aferramos al paradigma tradicional, de forma similar a los incrédulos que se reían de un tal Karlheinz Brandenburg (2), hasta que el 14 de julio de 1995 sus investigaciones revolucionaron el mundo de la reproducción musical, y a partir de ese momento los soportes de música tradicionales fueron perdiendo terreno frente a los formatos en memoria sólida.

Con regularidad estamos tan apegados a paradigmas continuistas (vinilo, CD, DVD... todo debe girar) que nos cuesta creer en la posibilidad de situaciones que rompen radicalmente con lo conocido y tangible. Sin embargo, en menos de lo que creemos, el nuevo concepto se nos vuelve cotidiano y, en poco tiempo más, se torna imprescindible. Eso, o podemos ser objeto de burla por llevar nuestro *disckman* en la riñonera.

(1) Se han redactado diferentes documentos, DNO SIRAMICOR (2009), AUV (2015), ROV (2019), sobre la necesidad de obtención de sistemas no tripulados.

(2) Karlheinz Brandenburg (Erlangen, Alemania, 20 de junio de 1954) es un ingeniero de sonido que contribuyó al formato de compresión de audio MPEG Audio Layer 3, más conocido como MP3.

El paradigma tradicional. *Platform-centric*

Paradigma dominante hasta nuestros días, ha guiado la evolución desde los primeros desarrollos de MCM y está patente en todas las marinas que disponen de estas capacidades. En él, la plataforma es el centro de gravedad (3) del concepto, donde se aloja el sensor y sus operadores analizan de forma secuencial, *end-to-end* (4), cada contacto de forma aislada y seriada, sin pasar al siguiente hasta completar el proceso.

Bajo este concepto operacional, la evolución de tecnología, táctica y técnica se han dirigido durante años a mejorar y potenciar las capacidades de protección de la plataforma, reduciendo sus firmas hasta pasar desapercibidas a los sensores de las minas y aumentando su resistencia estructural a posibles explosiones.

A la vez, el factor humano a bordo de la plataforma, los operadores, determina el ritmo de trabajo y constituye el yugo limitante con influencia directa en los tiempos necesarios para completar la misión.

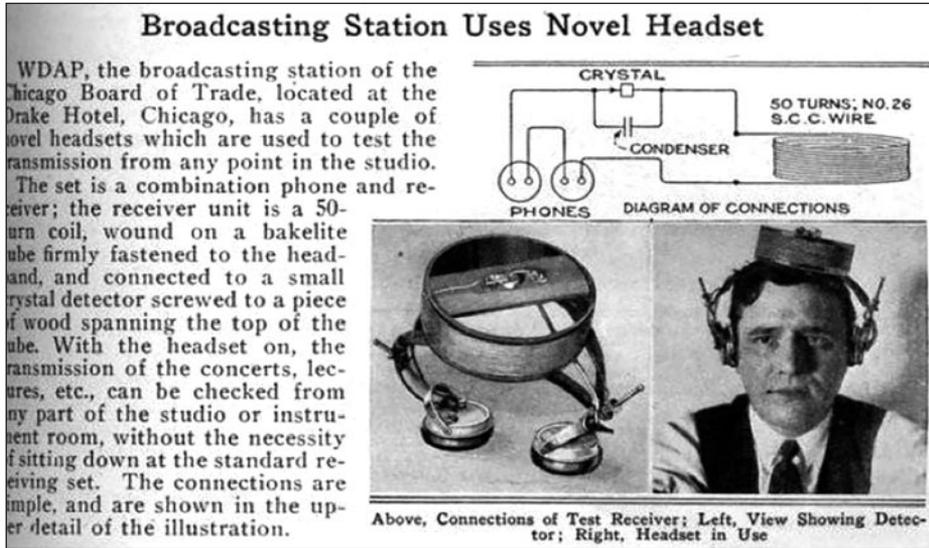
El proceso de análisis de los datos obtenidos durante las operaciones se realiza una vez finalizada la operación, tras el retorno de las unidades a la base y trasladada la información recabada al Centro de Datos de Guerra de Minas (CDGM). Pero este modelo, aunque idóneo en la actualidad debido a las capacidades de transferencia y a lo limitado de los datos, es lento e ineficiente, especialmente de cara a disponer de una rápida estimación que apoye el proceso de la decisión durante una acción militar.

Todo está, de una forma u otra, ligado al buque de forma permanente. Este es otro paradigma continuista que está costando vencer, el cable. No se concebía la operación de elementos «emancipados», todos los sistemas se desarrollaron para ser desplegados, pero controlados de forma positiva en todo momento, lo cual limitaba las posibilidades de alejamiento. A pesar del «Sin cables. Sin líos. Como por arte de magia» (5), Apple no puede presumir de haber inventado la tecnología, que según parece ya existía en 1924, pero sí de ser el desencadenante de la revolución «sin cable».

(3) STACK, J. R. (2012): «Transitioning Mine Warfare To Network-Centric Sensor R Analysis: Future PMA Technologies & Capabilities». Abril 2009. *Proceeding Paper*.

(4) Realizan las acciones necesarias de principio a fin, desde la detección, pasando por la clasificación, identificación y decisión final de neutralización de cada contacto en caso de ser identificado como mina.

(5) Eslogan de Apple en su campaña de lanzamiento de sus AirPods en diciembre de 2016.



Número de marzo de 1924 de la revista *Popular Mechanics* (6).

¿Por qué un nuevo paradigma y por qué ahora?

Oportunidad temporal

La oportunidad surge de la propia necesidad de renovar capacidades. Muchas de las unidades MCM en servicio están llegando al final de su vida útil y es necesario iniciar los estudios y proyectos de los sistemas que han de relevarlas. Para algunas marinas de nuestro entorno la necesidad es inminente y perentoria.

La unión de los factores que se exponen a continuación ha propiciado la evolución hacia un nuevo paradigma, un concepto de operación que ha sobrepasado la guerra de minas desde principios de siglo, pero cuya tecnología no terminaba de «despegar»: sustituir los sistemas tripulados actuales por otros no tripulados, autónomos u operados de forma remota para cubrir todas las etapas de la guerra de minas.

(6) https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2016-11-27/airpods-los-primeros-auriculares-sin-cables-se-inventaron-hace-casi-100-anos_1292092/.

Factores sociales

Como se ha mencionado, uno de los fines buscados desde la aparición de los conflictos ha sido salvaguardar las vidas humanas. El mecanismo innato de autodefensa nos lleva una y otra vez a desarrollar tecnologías, técnicas y tácticas que nos permitan alejar al individuo de la zona de riesgo. En este sentido, la evolución de las medidas contra minas no ha sido diferente, y los conceptos han ido evolucionando para aumentar la distancia hombre-mina.

Esta filosofía se hace aún más acuciante en las sociedades del bienestar actuales, en las que la seguridad personal colisiona con la idea de sacrificio por un bien superior y que no aceptan bien las bajas humanas en operaciones en lugares remotos y alejadas de la teórica zona de interés nacional.

Factores económicos

La coyuntura de restricción económica se torna un factor apremiante que está marcando la evolución a la baja de las partidas presupuestarias dedicadas a defensa, influenciada por la presión social. En ese sentido es necesario identificar sistemas de bajo coste integral, que engloben la adquisición y el sostenimiento de sus factores MIRADO a lo largo de la vida operativa.

El coste unitario de los sistemas autónomos que han de integrar las capacidades de medidas contra minas es menor que el de una plataforma tipo cazaminas y *a priori* implicará menos personal dedicado a su mantenimiento, alistamiento y operatividad.

Factores tecnológicos

Al igual que en otros campos, podemos ver el desarrollo de los sistemas no tripulados y vehículos autónomos en el gráfico 2, en el que el eje de abscisas refleja los valores de esfuerzo de investigación, recursos, personal, etc... y el de ordenadas arroja los datos de la evolución de la operatividad de los sistemas (7). Al principio, el balance es pobre, casi negativo, apareciendo estudios y resultados

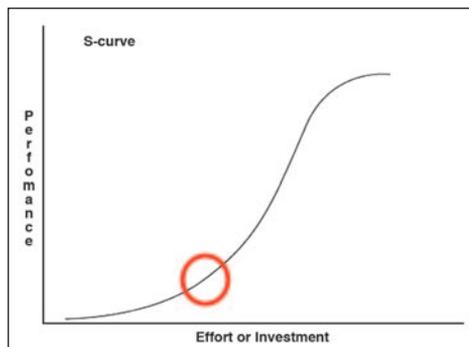


Gráfico 2. Curva teórica de evolución de la tecnología. (Fuente: www.perecondom.com).

(7) <https://www.perecondom.com/2017/08/28/la-curva-s-una-tecnologia/>.

aislados; se comparte poco conocimiento en una carrera competitiva por desarrollar las capacidades de forma unilateral, hasta que el interés se generaliza y dispara la aparición de desarrollos relacionados.

Atendiendo a la evolución en el número de desarrollos de integración colaborativa de sistemas no tripulados del gráfico 3 (8), se puede inferir que se ha iniciado el ascenso hacia la curva alta de la «S», por lo que es de esperar una rápida evolución de sistemas en corto plazo (9).

Por ello, es el momento de mantener el seguimiento de la evolución en esta área e iniciar la adquisición de sistemas no tripulados que nos permitan adelantarnos, realizando investigación y estudios de las posibilidades y capacidades que puede proporcionar la tecnología.

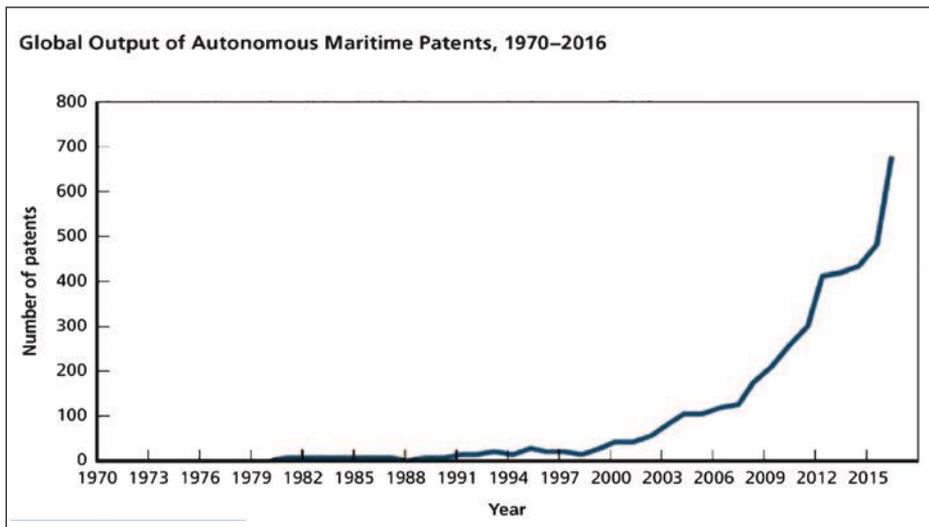


Gráfico 3. MARTIN, Bradley, *et al.*, 2019.

(8) Hasta 680 patentes en 2016, con un fuerte aumento de los desarrollos a partir de 2004. (MARTIN, Bradley, *et al.*, 2019). El estudio reconoce un crecimiento en torno al 19 por 100 anual desde 1970 hasta 2016, lo que llevaría a más de 1.600 vehículos patentados a finales del presente año 2021.

(9) «The global UUV market size is projected to grow from USD 2.0 billion in 2020 to USD 4.4 billion by 2025, at a CAGR of 16.4% from 2020 to 2025», <https://www.prnewswire.com/news-releases/unmanned-underwater-vehicles-uuv-market-by-type-rov-auv-market-by-application-product-propulsion-system-system-and-region-global-forecasts-to-2025-301210235.html>.

Factores político-militares

Integrar los avances tecnológicos y participar en programas y desarrollos en coordinación con naciones aliadas supone compartir gastos y adquirir sistemas de mayor calidad que aseguren la interoperabilidad en todos los ámbitos, especialmente en lo relativo a comunicaciones y transferencia de datos. No hacerlo es caer en la brecha tecnológica, lo que disminuiría el peso específico y la capacidad de influir en las organizaciones de las que se forme parte, quedando relegados a un segundo plano.

Desde la óptica del mando, que debe cumplir la misión de la forma más eficiente y a la vez minimizar los riesgos para sus fuerzas y medios, es preferible emplear sistemas no tripulados —de bajo coste si los comparamos con un buque— que no aventuran las vidas de las dotaciones al adentrarlas en un campo minado.

El nuevo paradigma. Empleo de vehículos no tripulados

Bajo este concepto de operación, los primeros desarrollos trataban de buscar una plataforma única no tripulada, de operación remota o autónoma, única capaz de incorporar sistemas similares a los disponibles en los buques MCM con la idea de reemplazarlos, eliminando así el riesgo para las dotaciones. Sin embargo, a pesar del *man out of the minefield*, el proceso de trabajo es similar al que emplea el buque tripulado, no reduciéndose el tiempo de operación, o al menos no significativamente. A esto se suma el requisito de disponer de plataformas de tamaño considerable, debido fundamentalmente a la necesidad de albergar sistemas voluminosos de generación de energía (10), capaces de proporcionar suministro a los sensores, sistemas auxiliares de navegación, de comunicaciones y a otros medios necesarios para el proceso, integración y análisis de la señal a bordo. En definitiva, este vehículo único solo dispone de la ventaja de alejar el componente humano del campo minado, pero con el mismo riesgo para la maniobra, ya que la pérdida del vehículo supone la de todos los sensores y, por tanto, la suspensión de la operación.

A partir de 2004 se acentuó la proliferación del empleo de vehículos no tripulados en diferentes ámbitos de la vida civil, y el Departamento de Defensa de Estados Unidos estableció un plan para potenciar el perfeccionamiento

(10) En la mayor parte de los desarrollos, el sistema de energía se compone de bloques de baterías de tamaño variable en función de las necesidades y de la tecnología empleada en el diseño.



Infografía. Desarrollo ECA Group.
(Fuente: <https://www.navalnews.com>).

de vehículos autónomos (11), que aceleró el desarrollo de la tecnología no tripulada (12).

Este nuevo salto modula el concepto hacia el empleo de varios vehículos no tripulados con función limitada, monofunción en la mayor parte de los casos, que albergan una única carga útil (13) que se complementa a lo largo de la *kill chain* (14). Como consecuencia de la reducción de sensores, los vehículos restringen sus requerimientos de acumulación de energía, y con ello su tamaño, favoreciendo su autonomía, distancia de operación y agilidad para su despliegue basado en módulos de misión de fácil transporte.

Como se ha resaltado, estos vehículos serán capaces de cubrir todas las etapas de las diferentes operaciones MCM de forma más eficiente, reduciendo el tiempo que se emplea, aumentando el volumen de datos obtenidos en cada operación y disminuyendo el riesgo para la vida hu-

(11) Aunque la US Navy y el Ministerio de Defensa de Estados Unidos ya realizaban investigaciones y desarrollos en estos ámbitos, en 2004 se publicó *The Navy Unmanned Undersea Vehicle (UUV) Master Plan*, que provocó un mayor interés en la industria de defensa por este sector.

(12) Curva baja del gráfico 1.

(13) La carga útil identifica todo aquel sistema necesario para cumplir la misión principal del vehículo —sensor, sistemas de armas, etc.—, empleado para cubrir la parte de la operación encomendada, además de las cargas necesarias para su operación remota o autónoma, como comunicaciones o sistema de navegación.

(14) La *kill chain* es la cadena de pasos o eventos de una capacidad para alcanzar un efecto destructivo sobre capacidades del oponente.

mana. El desarrollo actual, por el que ya han apostado marinas aliadas de primer nivel en el área de guerra de minas (15), integra sistemas autónomos submarinos desplegados desde un vehículo de superficie no tripulado, operado desde una plataforma madre que permanece alejada del campo minado, incluso OTH (16) si la necesidad de discreción de la operación así lo requiere y la capacidad de las comunicaciones lo permite.

El concepto asume que en el futuro estos sistemas trabajarán de forma colaborativa, intercambiando información y complementando procesos, de manera que se reduzca el tiempo necesario para concluir la misión, imponiendo el paradigma centrado en la «red de información» (17) que, formada por los sistemas autónomos y su buque madre y su integración en la red superior de la organización operativa en la que se integren las unidades de MCM para el desarrollo de cada operación concreta, permitirá el aprovechamiento de la información en otras áreas.

Este paradigma modificará igualmente el concepto y las capacidades del proceso de los datos obtenidos, en el que los operadores toman distancia con la amenaza y pasan a ser analistas —ya sea a bordo del buque madre o en instalaciones en tierra a kilómetros de distancia— y, además de procesar y analizar la información, supervisan la ejecución por veto.

Pero no es oro todo lo que reluce

Actualmente, a pesar del gran paquete de ventajas que poseen los sistemas no tripulados, aún queda camino por recorrer en tecnologías de gran importancia que completen las capacidades de este nuevo paradigma, como son la «autonomía» —entendida como la capacidad de aprendizaje, decisión y comportamiento adaptativo de los sistemas—, las comunicaciones submarinas y los sistemas de producción y almacenamiento de energía.

Se han conseguido avances en inteligencia artificial que se acercan a la clasificación automática de contactos, pero aún mantienen un alto índice de falsos contactos. Hay que continuar el seguimiento de las investigaciones en este mercado hasta ver si es factible lograr el comportamiento adaptativo de los sistemas autónomos que les capacite para responder de forma indepen-

(15) Es el caso de Reino Unido, Francia, Bélgica y Holanda, que ya han comenzado la fase de producción del sistema NMCM, <https://www.navalnews.com/naval-news/2020/11/uk-mmcm-program-enters-manufacture-stage-with-initial-production-contract-award/>. <https://www.navalnews.com/naval-news/2021/02/belgian-dutch-rmcm-program-achieved-preliminary-design-review/>

(16) Del inglés *Over The Horizon*, más allá del horizonte.

(17) STACK, J. R. (2012): «Network-centric paradigm», <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frobt.2020.00091/full>.

diente y adecuada a los cambios que se produzcan en el ambiente operativo. Por ello, de momento no es posible sacar al ser humano del círculo de decisión y supervisión (18). En el futuro, el paulatino incremento de estas capacidades irá excluyendo al operador de las decisiones durante la operación, aunque esta polémica cuestión, que cuenta con tantos defensores como detractores, podría ser objeto de otro artículo.

En segundo lugar, asegurar la inmediatez de la información que ha de llevar a la superioridad sobre el oponente requiere una rápida transmisión de los datos obtenidos a los niveles de proceso. Si bien la parte electromagnética de la red es eficiente y permite un ancho de banda suficiente para mantener una relación en tiempo real con los operadores/analistas, las comunicaciones acústicas submarinas —que deben conectar el vehículo submarino con la superficie para posibilitar el enlace— mantienen un limitado alcance y ancho de banda y altos niveles de dispersión de señal.

De momento, las características de las transmisiones submarinas inalámbricas no podrían abarcar el volumen de datos que es necesario transmitir a la superficie. Los estudios en desarrollo no han establecido solución adecuada a este escollo en el corto plazo.

Por último, la capacidad de almacenamiento y/o producción de energía es un elemento limitativo del concepto de operación ya que influye en la autonomía y distancia de operación desde la plataforma madre. Una mayor capacidad energética permitirá desplegar los vehículos no tripulados a mayor distancia de la zona objetivo, potenciando la discreción y la seguridad de la plataforma madre y de su dotación.

La Armada española hoy

Los buques de la clase *Segura* han superado su media vida, y la vertiginosa evolución de la tecnología acrecienta sus carencias de día en día. Sin embargo, parece que la Armada podrá extender sus capacidades hasta el horizonte 2040 (19) modernizando o complementando los sistemas que vayan quedando obsoletos. Esta situación nos brinda la oportunidad de estudiar la evolución de la tecnología y el resultado de los desarrollos emprendidos por marinas aliadas, de manera que podamos identificar las capacidades que mejor cubran nuestras necesidades y que se acomoden a la coyuntura económica que impere en el momento de la adquisición.

(18) <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frobt.2020.00091/full>.

(19) *Aproximación conceptual a la Fuerza de MCM 2040*.



(Foto: colección Fuerza de MCM).

Reflexiones finales

Estar listos para incorporar estos sistemas de la forma más rápida pero menos intrusiva hace imprescindible mantener un estrecho seguimiento de las diferentes iniciativas en el ámbito internacional y fomentar la implicación y participación de la industria nacional en el desarrollo e investigación de los sistemas, de forma que se puedan obtener conocimientos e independencia tecnológica y, como consecuencia, un abaratamiento del mantenimiento de los sistemas a lo largo de su ciclo de vida.

Por otro lado, la Armada debe comenzar a adquirir sistemas no tripulados sencillos, ya disponibles en el mercado (20), que le permitan la experimentación y el desarrollo de técnicas, tácticas y procedimientos de empleo para generar conocimiento y personal experimentado que oriente las capacidades de los sistemas durante el proceso de obtención.

Esta evolución llevará aparejada una fuerte inversión inicial en material, sistemas, formación de personal para su operación y mantenimiento y para generar las infraestructuras asociadas necesarias. En todo caso, habrá que

(20) Es el caso de Bélgica o Alemania, que operan desde hace años vehículos no tripulados sencillos para obtener experiencia y desarrollar conocimiento.

tener en consideración que los vehículos no tripulados supondrán un coste inferior al generado por el concepto «cazaminas» y un ahorro de personal.

En definitiva, el nuevo paradigma requerirá una modificación global de los factores MIRADO asociados a los nuevos sistemas. Pero quizás lo más importante, y lo más complicado, será «cortar el cable».

Debemos entender que las tecnologías están modificando la forma de entender y configurar el campo de batalla y que nuevos sistemas están entrando en escena y van a condicionar la forma de enfrentar la amenaza de minas. Es necesario generar confianza, acondicionar nuestra organización y desarrollar los conceptos de operación nacionales para incorporarlos de forma progresiva y paralela, maximizando sus capacidades.

BIBLIOGRAFÍA

- COMTEMECOM: *Aproximación Conceptual a la Fuerza de MCM 2040*. Armada española. Cartagena. Julio 2020.
- STACK, J. R.; GUTHRIE, R. S.; CRAMER, M. A. (2012): «Transitioning Mine Warfare To Network-Centric Sensor R Analysis: Future PMA Technologies & Capabilities». Office of Naval Research. Mine Warfare Program Office, Washington Navy Yard, https://www.researchgate.net/publication/266353258_Transitioning_Mine_Warfare_to_Network-centric_Sensor_Analysis_Future_PMA_Technologies_Capabilities.
- COSTANZI, R.; FENUCCI, D.; MANZARI, V.; MICHELI, M.; MORLANDO, L.; TERRACCIANO, D.; CAITI, A.; STIFANI, M.; TESEI, A.: «Interoperability Among Unmanned Maritime Vehicles: Review and First In-Field Experimentation». *Frontiers in Robotics and AI*. ISSN=2296-9144. 14 July 2020, <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/frobt.2020.00091>.
- ARCHAMBAULT, D.; BAXTER, T.; BOXERMAN, J.; HARRINGTON, C.; HAWKINS, L.; JOHNSON, S.; MITCHELL, B.; WINSETT, L.: «A Roadmap of the Future of Mine Countermeasures». Project Advisors: PAULO, E.; GREGORY, M.; BEERY, P.; WILLIAMS, R.: December 2017. Naval Postgraduate School Monterey, California, <https://calhoun.nps.edu/handle/10945/56762>.
- MARTIN, B.; TARRAF, D.; WHITMORE, T. C.; DE WEESE, J.; KENNEY, C.; SCHMID, J.; DE LUCA, P.: «Advancing Autonomous Systems, an Analysis of Current and Future Technology for Unmanned Maritime Vehicles». RAND Corporation, Santa Mónica, California, 2019. https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR2751.html.
- GONZÁLEZ-GARCÍA, J.; GÓMEZ-ESPINOSA, J.; CUAN-URQUIZ, E.; GOVINDA GARCÍA-VALDOVINOS, L.; SALGADO-JIMÉNEZ, T.; ESCOBEDO CABELLO, J. A.: «Autonomous Underwater Vehicles Localization, Navigation, and Communication for Collaborative Missions». *MDPI*, 13 February 2020, <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/4/1256>.
- «SUNRISE (Sensing, monitoring and actuating on the Underwater world through a federal Research InfraStructure Extending the Future Internet)» COMSORTIUM. Building the Internet of Underwater Things, <http://fp7-sunrise.eu/index.php>.