

La situación actual de las tecnologías de doble uso

José María Riola Rodríguez

Capítulo cuarto

Resumen

Las tecnologías de uso dual tienen su razón de ser desde la misma esencia del hombre como creador de tecnología. Diferentes hallazgos y adelantos tecnológicos han sido, a lo largo de la historia, aplicados con fines pacíficos y bélicos, o lo que es lo mismo civiles y militares.

En este capítulo se hace un breve recorrido sobre la acepción de tecnología de uso dual desde el prisma tecnológico, es decir, su aplicabilidad a fines civiles y militares, y de cómo a lo largo de los últimos años ha cambiado el flujo anterior de transferencia de tecnología del campo militar al civil, debido a que este ámbito ha concentrado un mayor esfuerzo innovador e investigador, y de los factores promotores de dicha dualidad desde un punto de vista objetivo.

Como un ejercicio de la situación actual y tendencias futuras, el capítulo se complementa con una revisión de algunas áreas tecnológicas significativas desde el punto de vista dual (robótica, sistemas no tripulados, tecnologías de la información, comunicaciones, energía, sistemas e infraestructuras espaciales, materiales, óptica, optoelectrónica y biotecnología) así como sus expectativas.

Palabras clave

Tecnología, uso dual, I+D, defensa, robótica, UAV, UCAV, SOPT, UGV, USV, LAR, TIC, óptica, optoelectrónica, energía, espacio, materiales, láser, NBQ, biotecnología.

Abstract

Dual-use technologies come up from the essence of human being as technology maker. Different discoveries and technology advances have been applied in history to meet peace and war needs, or what are the same, civil and military purposes.

In this chapter, a short review of dual-use term is addressed. From the point of view of technology duality, it is applicability to civil and military purposes; the chapter goes through how during last years, the direction of technology transfer has moved from military to civil, due to increased effort in research and innovation in the civil field. An analysis of factor promoting technology duality, from an objective point of view, is addressed too.

As an analysis of current situation, and future trends, the chapter is complemented with a review of some meaningful technology areas, from a dual use point of view (robotics and unmanned systems, information and communication technologies, energy, space systems and infrastructures, materials, optics and optoelectronics and biotechnology), and its expectations.

Key Words

Technology, dual use, R&D, defence, robotics, UAV, UCAV, SOPT, UGV, USV, LAR, ICT, optics, optoelectronics, energy, space, materials, laser, NBQ, biotechnology.

Introducción

El término de tecnologías de uso dual es utilizado en sus diversos contextos con connotaciones diferentes. Hasta casi principio de los años 80, este término se refería a las tecnologías civiles que planteaban problemas de exportación a países del *Pacto de Varsovia*, como pueden ser los microprocesadores, dado que planteaban tecnologías habilitadoras de sistemas de armas. En esa época, el concepto se extendió al control de armamento y transferencia de tecnología entre naciones, con objeto de dificultar y hasta impedir la transmisión de sistemas avanzados, que supongan un menoscabo de las ventajas ya adquiridas por las naciones. Así, se entiende por productos de doble uso aquellos que pueden destinarse tanto a usos civiles como militares y puedan ser utilizados en la fabricación de armas nucleares y otros usos no explosivos.

La *Guerra Fría* trajo la creación de sistemas de innovación dedicados en exclusiva al sector militar. Los diferentes órganos y agencias de Defensa elaboraban las especificaciones técnicas y requisitos operativos de los sistemas que precisaban y sobre los que trabajaban grandes corporaciones del sector en un entorno cerrado, de dedicación exclusiva, donde no era óbice la optimización de recursos o la rentabilidad de la inversión en pro del cumplimiento taxativo de los requisitos establecidos. Esta potente inversión fue un motor de crecimiento económico del sector y un catalizador indiscutible de I+D, situando al sector de la Defensa en la vanguardia de la innovación tecnológica. Este proceso evolutivo se llevó a cabo de forma intrínseca con un marcado hermetismo, donde el grado de cooperación con el ámbito civil, industrial, académico, etc. era muy bajo.

Tras la *Guerra Fría*, la caída de inversión de I+D en Defensa de primeros de los 90 favoreció la financiación de estas tecnologías por parte de ambos sectores, civil y militar e incluso de tecnologías inicialmente desarrolladas en el ámbito militar. En este nuevo contexto, el concepto de tecnologías de uso dual se refiere a aquellas tecnologías susceptibles de producir aplicaciones tanto en el ámbito civil, como militar, que generan sinergias de explotación y reducen los ciclos de desarrollo y evolución. Hasta finales de los años 80, la necesidad de hacer frente a los conflictos bélicos fue el motor de desarrollo de un alto grado de capacitación tecnológica para hacer frente a los sistemas tecnológicos de Defensa de otros países. Ello propició que la transferencia tecnológica fuese principalmente del ámbito militar al civil, de modo que el ámbito militar ha sido el germen del uso civil de tecnologías. Existen innumerables referencias de tecnologías gestadas en el entorno militar como son el propio Internet, el radar, el microondas, el sonar, el GPS, la energía nuclear, las tecnologías aeroespaciales, la fibra óptica, etc. Esta tendencia se invierte a partir de la década de los 90, donde el ámbito civil ha exportado tecnología de

forma masiva al ámbito militar, como es el caso de las tecnologías de computación y los microprocesadores.

La madurez de las tecnologías aplicadas al sector de Defensa permitió crear economías de escala, a la vez que la reducción de inversión en el sector promovió su aplicación civil en busca de nuevos mercados. En este escenario, las inversiones en I+D en el ámbito civil fueron progresivamente realimentando el proceso, creando un crecimiento sostenido, con un volumen que llegó a superar con mucho al ámbito militar.

Con el establecimiento progresivo de estas colaboraciones se extendió la idea de la necesidad de una base tecnológica considerable en el ámbito civil era requisito imprescindible para una potente industria de Defensa. Este apoyo del sector Defensa a la base tecnológica y científica del ámbito civil ha promovido una apertura progresiva de la industria de Defensa a otros sectores, promoviendo la transferencia continua de conocimiento y tecnologías entre ambos ámbitos.

En los últimos años, especialmente después del terrible suceso del 11S, el término ha recuperado su acepción original, volviendo a abarcar en su definición todas aquellas tecnologías que tienen aplicación tanto real como potencial en el ámbito civil y militar, y que usadas indebidamente, representan una amenaza para la defensa del país. Se extiende el concepto de Defensa al ámbito de Defensa y Seguridad, perdiendo el carácter estrictamente militar de la Defensa del exterior para abarcar la seguridad y defensa interior, donde el carácter civil toma, sin duda, la preponderancia.

En la actualidad, podemos simplificar que los actores que intervienen en los procesos de innovación son los potenciales clientes, la industria que satisface esa demanda y los generadores de ciencia y tecnología, que son la propia industria en su esfuerzo inversor en I+D, los laboratorios, los centros tecnológicos y las universidades. En este ciclo de producción de tecnologías, las diferencias entre la aplicación al ámbito civil y militar están cada vez más difuminadas y en la mayoría de los casos varían en un pequeño conjunto de especificaciones particulares. La industria, que tiene el reto de atender la demanda de ambos sectores, en su intento de rentabilizar la inversión y minimizar los costes se convierte en el medio más activo de transferencia tecnológica entre los dos ámbitos, y son cada vez más habituales las iniciativas financiadas de forma cruzada, por instituciones civiles y militares.

Tras años de progresiva implantación, la dualidad tecnológica es constatablemente beneficiosa y ha demostrado que reduce los plazos y los recursos necesarios para la obtención de una determinada capacidad tecnológica, reutilizando investigaciones, desarrollos, procesos, permitiendo una ágil adaptación. También permite reducir los ciclos de vida, mejorando los tiempos de respuesta frente a los requisitos operativos, promoviendo la innovación continua y reduciendo los plazos de amortización de

tecnologías. Por último, aporta una reducción de costes, debido a una mayor dimensión de los mercados, disminuyendo los costes de operación y mantenimiento.



Figura 1. La tecnología es una pero su uso puede ser dual. (Fuente: upm).

Durante los últimos años, se han venido produciendo una combinación de cambios progresivos con otros de carácter súbito que han alterado profundamente la naturaleza de la Defensa y Seguridad, así como el marco tecnológico que los apoya. Uno de esos cambios es la naturaleza de los conflictos, de carácter híbrido, que incorporan toda la variedad de modos de guerra, incluyendo las capacidades más convencionales, las tácticas irregulares, los actos terroristas o la actividad criminal. También la propagación instantánea de la información a nivel mundial, puede ser utilizada de forma desequilibrante, la disponibilidad generalizada y barata del conocimiento ofrece una ventaja asimétrica a los adversarios frente a las inversiones multimillonarias que exigen los sistemas de armas modernos. La globalización en las transacciones y contactos facilitan el acceso a la tecnología avanzada a nuevos actores. Los cambios económicos recientes que han reordenado el equilibrio de poderes y que están limitando la posibilidad de países hasta ahora dominantes de invertir en Defensa y Seguridad. Por último, se tiene en cuenta la creciente importancia del ciberespacio y del entorno espacial, debido al riesgo de ataque a las infraestructuras digitales y al robo de la información. Las múltiples implicaciones que los factores anteriores tienen para el ámbito de Defensa y Seguridad pueden resumirse en una creciente complejidad en los entornos de operación, las misiones y las amenazas, sometidos permanentemente a un constante cambio.

El enfoque actual¹ de las tecnologías de doble uso se concibe desde la transferencia de productos y tecnologías, algo que requiere un control y suele

¹ UK MoD. (2010). Strategic Trends Programme. Global Strategic Trends 2014. https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/33717/GST4_v9_Feb10.pdf. Recuperado el 2 de junio de 2014.

tener en consideración la “*dualidad tecnológica*” en la obtención de beneficios significativos, como se ha descrito. Esta visión de oportunidad, frente a la amenaza, podemos abordar el concepto de dualidad tecnológica, que plantea otra dimensión complementaria a la hora de la toma de decisiones, aprovechamiento de los recursos y las actividades de I+D+i. Este reto requiere un enfoque abierto, que alinee la regulación de control de exportaciones, las políticas de privacidad y seguridad, fomente el conocimiento mutuo de mercados civil y militar, relaje las políticas tradicionalmente proteccionistas, adapte la idiosincrasia propia del mercado de Defensa, así como a racionalizar sus políticas de seguridad y sensibilidad de la información.

Durante los últimos años, debido a las limitaciones presupuestarias, las inversiones en evolución tecnológica han disminuido, y si bien no han cesado, se han priorizado las iniciativas con el objeto de mejorar o aumentar prestaciones de los sistemas sobre infraestructuras y plataformas. Así, aun manteniendo las mismas infraestructuras y plataformas, se han llevado a cabo desarrollos evolutivos que les han permitido dotarlas de nuevas tecnologías y capacidades. Sirva de ejemplo la actualización de las plataformas navales, con la modernización o actualización de los sistemas a bordo, que permiten dotar a dichas plataformas actuales de nuevas y mayores capacidades.

Los productos y tecnologías considerados de doble uso siguen una categorización regulada en el *Reglamento (CE) 428/2009 del Consejo* por el que se establece un régimen comunitario de control de las exportaciones, la transferencia, el corretaje y el tránsito de productos de doble uso. El objeto de esta categorización es regular la aplicación de los controles establecidos en el *Acuerdo de Wassenaar, el Régimen de Control de Tecnología de Misiles, el Grupo de Suministradores Nucleares, el Grupo Australia y la Convención de Armas Químicas*. Con dicho criterio la categorización establecida es la siguiente:

- Categoría 0: Materiales, instalaciones y equipos nucleares.
- Categoría 1: Materiales, sustancias químicas, “microorganismos” y “toxinas”.
- Categoría 2: Tratamiento de los materiales.
- Categoría 3: Electrónica.
- Categoría 4: Ordenadores.
- Categoría 5: Telecomunicaciones y “seguridad de la información”.
- Categoría 6: Sensores y láseres.
- Categoría 7: Navegación y aviónica.
- Categoría 8: Marina.
- Categoría 9: Aeronáutica y propulsión.

La dualidad tecnológica se ve influenciada por las similitudes en los requisitos demandados por el sector civil y militar, pero en ocasiones las necesidades a cubrir divergen, y el grado de divergencia puede impedir que las tecnologías desarrolladas permitan cubrir todas las necesidades sin requerir investigación y desarrollo propio. En la mayoría de los casos, no obstante, los requisitos de aplicación en ambos ámbitos no son idénticos pero sí son muy similares y gran parte coincidentes.

Debido a su escasa flexibilidad, algunas tecnologías implican un coste elevado en su adaptación. En ocasiones adoptar mayor flexibilidad requiere relajar ciertos requisitos, que especialmente en aplicaciones militares requiere restricciones no asumibles. El uso de sistemas más generalistas, de uso comercial, menos sofisticados y más económicos no siempre es viable.

Un factor determinante es la demanda potencial del mercado, que puede ser de origen público, como es el caso del sector de Defensa, o tener su origen en los mercados, lo que fomentará la inversión y adaptación de tecnologías para su uso en el ámbito civil. A la hora de determinar el grado de dualidad, hay que tener en consideración las iniciativas de I+D+i existentes en ambos sectores y su alineamiento. La cooperación en I+D entre el ámbito civil y militar presenta la oportunidad de detectar de forma temprana las sinergias de aplicación para su uso en ambos sectores, los requisitos específicos de cada aplicación y potencia las posibilidades de reutilización y aprovechamiento.

Son muchas las áreas tecnológicas, que en función de estos criterios, se prevé tendrán un próximo gran desarrollo e impacto. Pero sin duda existen otras áreas tecnológicas aún desconocidas o ignoradas hasta el momento que no estando previsto también tendrán de igual modo un impacto significativo. El establecimiento de los mecanismos de control de estas sinergias permitirá aumentar los beneficios de las inversiones y reducir el riesgo de desaprovechamiento de esfuerzos en iniciativas de investigación y desarrollo con potencial de dualidad tecnológica. En esta labor de identificación y promoción de sinergias que se llevan a cabo en los organismos que realizan vigilancia tecnológica, como las realizadas por nuestro Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT) de la SDG de Tecnología e Innovación de la DGAM, proporciona la herramienta idónea para catalizar la dualidad tecnológica, permitiendo alinear iniciativas procedentes del ámbito civil y militar, y proporcionando asesoramiento en la planificación estratégica de las actividades de I+D. Por ello el SOPT, debido a su conocimiento en las tecnologías que puedan ser de aplicación al ámbito de la Defensa y Seguridad, involucra a los diferentes actores del ámbito civil y militar, potenciando el empuje científico-técnico hacia las nuevas tecnologías y sistemas (*bottom-up*), y analizando los posibles escenarios venideros y sus desafíos (*top-down*).



Figura 2. Logo del SOPT. (Fuente: SDGTECIN).

Robótica y sistemas no tripulados

En el mundo de los sistemas no tripulados o UXVs (Unmanned Vehicles), a diferencia del enorme crecimiento en la demanda y empleo en el ámbito aéreo *UAV (Unmanned Aircraft Vehicle)* y en menor medida en el ámbito naval, *USV (Unmanned Surface Vessel o Vehicle)* y *UUV (Unmanned Underwater Vehicle)* según trabajen sobre o bajo el mar, los terrestres *UGVs (Unmanned Ground Vehicle)* están teniendo un empleo más limitado que se restringe a aplicaciones muy concretas.

Existe una tendencia a dotar a los sistemas no tripulados de mayor inteligencia y autonomía, aplicando tecnologías robóticas que evitan que los sistemas deban ser pilotados remotamente. Siendo un área en el que las tecnologías que dan soporte a los sistemas son las mismas que en el ámbito civil y que en aplicaciones estrictamente civiles se están realizando desde hace tiempo inversiones millonarias que están permitiendo conquistar nuevos ámbitos de aplicación de la robótica (industrial, ocio, medicina, logística, etc.), todo induce a prever que en la próxima década el peso de los sistemas no tripulados y la robótica en el ámbito de defensa va a ser muy superior al actual.

Un entorno propicio para el encuentro de iniciativas de colaboración es el espacio aéreo, donde se manifiesta la necesidad histórica de compartir el recurso en condiciones de eficiencia para usos militares y civiles (transporte, seguridad, defensa, etc.) ha requerido desde hace años un esfuerzo de coordinación que permita una interoperabilidad técnica y operacional. Sirva de ejemplo los sistemas de identificación *IFF (Identification, Friend or Foe)*, desarrollado durante la II Guerra Mundial, para distinguir aparatos amigos de enemigos detectados mediante los sistemas radar desarrollados por los británicos, que terminó siendo la tecnología empleada para el control del tráfico aéreo. En este ámbito, organismos internacionales como la organización europea para la seguridad de la navegación aérea (*EUROCONTROL*),² y la Organización Internacional para la Aviación Civil (*ICAO*),³

² EUROCONTROL. Integrating RPAS in the European aviation network: our role. <https://www.eurocontrol.int/articles/integrating-rpas-european-aviation-network-our-role>. Recuperado el 2 de junio de 2014.

³ ICAO. (2011). Civil/Military Cooperation in Air Traffic Management. <http://www.skybrary.aero/bookshelf/books/2605.pdf>. Recuperado el 2 de junio de 2014.

promueven esta colaboración, donde ha desarrollado conceptos de flexibilidad del uso del espacio aéreo, que permita compatibilizar más su explotación y mejorando la eficiencia de operadores de ambos sectores, lo que potencia sin duda la investigación y el desarrollo tecnológico conjuntos.

Esta cooperación se manifiesta en el escenario de los vehículos aéreos no tripulados, conocidos además por *UAS (Unmanned Aircraft System)* y *RPAS (Remote Piloted Autonomous System)*, dando énfasis al hecho de estar pilotados remotamente, están teniendo actualmente un avance vertiginoso. En la actualidad se ha empezado a dotar a estos sistemas de capacidad armamentística, constituyendo lo que se denomina vehículos de combate no tripulados (*UCAV*), como se ha puesto de manifiesto en los últimos conflictos de Afganistán e Irak con los sistemas *Predator* y *Reaper*.

Los organismos internacionales trabajan en la definición del marco que permita un uso flexible de los *UAVs*,⁴ ya que en la actualidad son considerados aeronaves, y por tanto tienen un uso limitado que impide su aplicación en la mayor parte de los casos. Hasta el momento, por ello han proliferado especialmente las aplicaciones de uso militar, estando las de uso civil a la expectativa de un marco regulatorio. La definición de este marco requiere un esfuerzo conjunto de integración, donde se plantean retos como la interoperabilidad y armonización, aspectos operacionales, requisitos de espacio aéreo no segregado, de seguridad y aeronavegabilidad, etc. Por el momento, el uso permitido de *UAVs* permitido en el espacio aéreo no segregado debe ser pilotado remotamente, no autónomo, es decir, los *RPAS*; sin intervención humana, los *UAS*, deben limitarse a hacer uso de espacio segregado.

Existen multitud de aplicaciones de los *UAVs*, entre las más significativas se encuentran la exploración, búsqueda y localización de objetos, estructuras, personas, inspección de obras, tráfico y movilidad, exploración en lugares de difícil acceso, etc. en sustitución de operaciones tripuladas basadas en helicópteros. También los *UAVs* se emplean con éxito a la hora de desempeñar trabajos de cartografía y topografía, obteniendo datos para la elaboración de mapas 3D basados en captura de imágenes y videos, y en función del equipamiento estudios geológicos. En lo referido al medio ambiente, son muy útiles en aplicaciones de emergencias y desastres naturales, como la prevención y control de incendios, medidas de parámetros medioambientales como la contaminación y vertidos, estado de cultivos, etc.

En el ámbito militar, además de su uso en las misiones de inteligencia, vigilancia y reconocimiento (*ISR*), permiten realizar operaciones relacionadas con la seguridad, vigilancia, etc., están los mencionados *UCAVs* que

⁴ CALVO C. Aeronaves no tripuladas. <http://www.infodefensa.com/es/2014/05/05/noticia-aeronaves-tripuladas-parte-historia-aplicaciones.html>. Recuperado el 2 de junio de 2014.

incorporan capacidad armamentística, y por otra parte existen multitud de aplicaciones como adquisición de objetivos, soporte a la artillería, relé de comunicaciones, guerra electrónica, etc. La siguiente figura, elaborada por el Departamento de Defensa de EEUU,⁵ muestra la evolución prevista de estos sistemas en la actualidad.

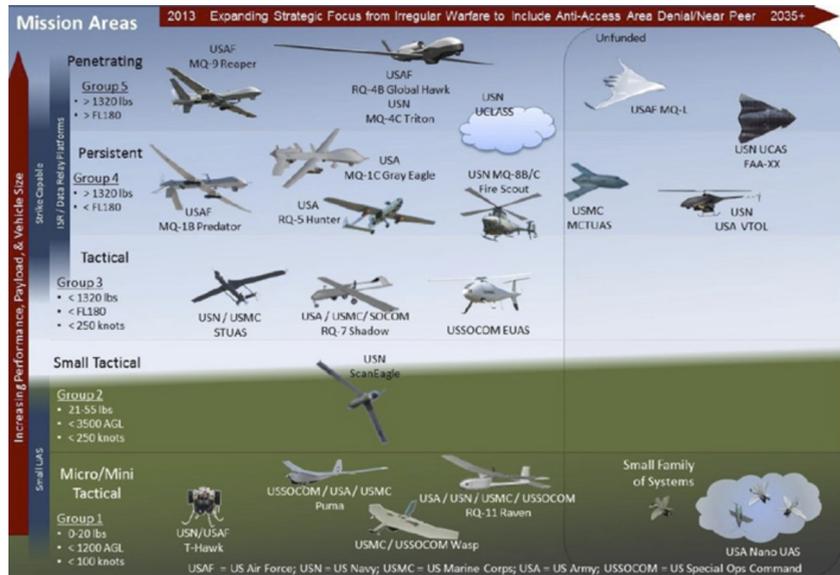


Figura 3. Evolución prevista de los sistemas aéreos no tripulados en EEUU (Fuente: DoD EEUU).

En lo referente al ámbito naval, algunas de sus aplicaciones de mayor desarrollo son la inteligencia, vigilancia y reconocimiento (*ISR*), donde generalmente los *UUVs* y *USVs* complementan las capacidades en localizaciones inaccesibles desde otras plataformas. Equipados con múltiples sensores, son muy útiles en aplicaciones en el ámbito militar como en el de la seguridad civil, la vigilancia de infraestructuras críticas (puertos, gasoductos, redes telefónicas submarinas, etc.) y efectuando operaciones de recolección de datos hidrográficos, oceanográficos, ambientales y geográficos. En las situaciones de emergencia son utilizados en operaciones de salvamento, control de vertidos, alerta de tsunamis o volcanes submarinos, etc. Así como en operaciones logísticas para transporte y suministro de cargas, tienen poca capacidad pero permiten mínima exposición y confidencialidad.

En el ámbito exclusivamente militar, *UUVs* y *USVs*⁶ son muy útiles en el rastreo y neutralización de minas, reduciendo la exposición al riesgo de

⁵ Departamento de Defensa EEUU. (2013). Unmanned Systems Integrated Roadmap.

⁶ Departamento de Defensa EEUU. (2012). The Role of Autonomy in DoD Systems.

buques e infantes. Pero también ofrecen capacidades en la guerra naval de superficie y submarina, equipados con armamento de diversa índole o con dispositivos de designación de objetivos para ataques balísticos, permiten realizar operaciones tácticas sin participación humana. Y por último, también son utilizados para misiones de guerra electrónica que permitan proteger o inhabilitar sistemas electrónicos o sistemas de información. La siguiente figura, elaborada por el Departamento de Defensa de EEUU, muestra la evolución prevista de estos sistemas en la actualidad.

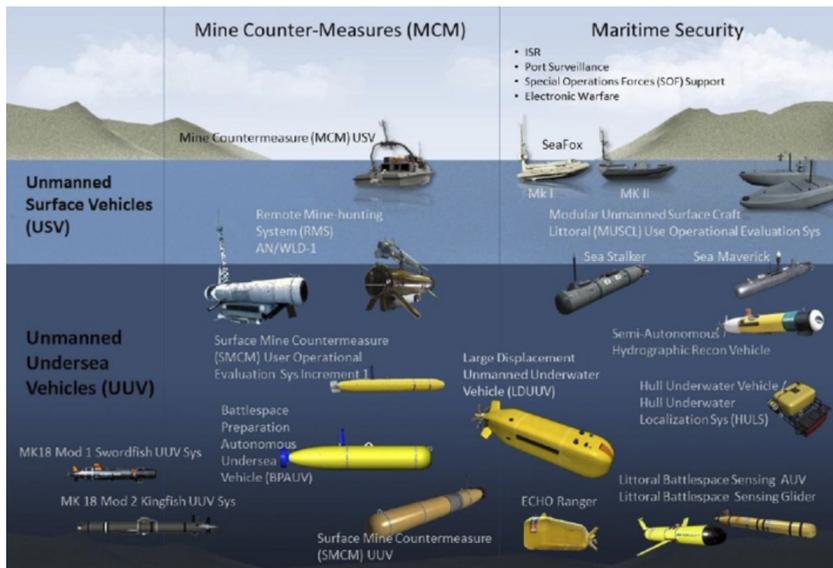


Figura 4. Evolución de los sistemas marítimos no tripulados en EEUU (Fuente: DoD EEUU).

En el ámbito de los vehículos terrestres no tripulados UGVs,⁷ la falta de madurez en algunos de sus elementos centrales (guiado en el entorno, inteligencia para la toma de decisión, etc.) motiva esta falta de expansión hacia aplicaciones en defensa y seguridad más ambiciosas. Los UGS son sistemas consistentes en una o varias plataformas, móviles o estacionarias, sin ningún operador humano, que realizan un conjunto de tareas controladas o supervisadas de forma remota desde una estación de control. Por UGVs también se puede referir a los sensores desatendidos (*Unattended Ground Sensors*). Existe también el concepto de municiones desatendidas *UM (Unattended Munitions)*, si bien no incluyen a los misiles y cohetes. Lo habitual en el campo del armamento, es referirse a ellos como *UWS (Unmanned Weapons Systems)*.

⁷ Departamento de Defensa EEUU. (2012). The Role of Autonomy in DoD Systems.

La robótica y la automática están consideradas como los elementos que van a cambiar sustancialmente la manera de llevar a cabo esas operaciones, lo que ha supuesto que dediquen importante cantidades económicas a su desarrollo y que, en los recientes conflictos de Irak y Afganistán, estos sistemas sean los que más han crecido en número. Particularmente, los exoesqueletos son englobados dentro de este grupo, aunque incorporen a bordo un operador humano, que controla o supervisa en mayor o menor medida su funcionamiento.

Los diferentes tipos de misiones que llevan a cabo los UGS condicionan notablemente sus características (dimensiones, arquitectura física, sensores, actuadores, comunicaciones, autonomía, etc.) y sus capacidades autónomas, que varían desde una teleoperación pura a grados de autonomía importantes (autoaprendizaje, adaptación al entorno, etc.). La siguiente figura, elaborada por el Departamento de Defensa de EEUU, da una idea de la gran variedad de tipos de sistemas que se están considerando en la actualidad.

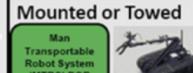
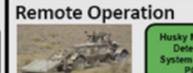
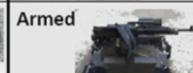
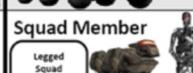
Soldier Transportable	Vehicle Transportable	Self Transportable	Appliqué
Crew Served Bot 	Mounted or Towed 	Soldier Follower 	Remote Operation 
Small Bot 		Recon/Security 	Supervised Autonomy 
Micro Bot 	Armed 	Robotic Wingman 	Full Autonomy 
Nano Bot 	Humanoid 	Squad Member 	Exoskeleton 
			

Figura 5. Imagen de diferentes tipos de sistemas robóticos militares (Fuente: DoD EEUU).

La principal aplicación en la que la robótica terrestre tiene un adecuado grado de madurez es la detección de IEDs. Precediendo a convoyes o desplegados para inspeccionar zonas sospechosas, hacen uso de sensores específicos para detectar alguna propiedad física que de indicación de la presencia del explosivo. También se emplean para la desactivación de explosivos con robots teleoperados, dotados de brazos manipuladores para llevar a cabo acciones de precisión. Del mismo modo son útiles en ambientes con contaminación NBQR, en la que dotados de sensores miden las condiciones ambientales. En el campo de la logística e ingeniería, se utilizan para el transporte de cargas, limpieza de rutas, etc. En este

La situación actual de las tecnologías de doble uso

campo varían desde vehículos terrestres robotizados a robots mula. En el sector de las emergencias se utilizan en misiones de búsqueda y rescate, donde cada vez es más frecuente su empleo para avanzar en zonas de difícil acceso (naturales o urbanos, tras una catástrofe, etc.) y encontrar personas atrapadas. La siguiente figura ofrece la visión del DoD de EEUU sobre cómo prevé el desarrollo según cada tipo de aplicación.

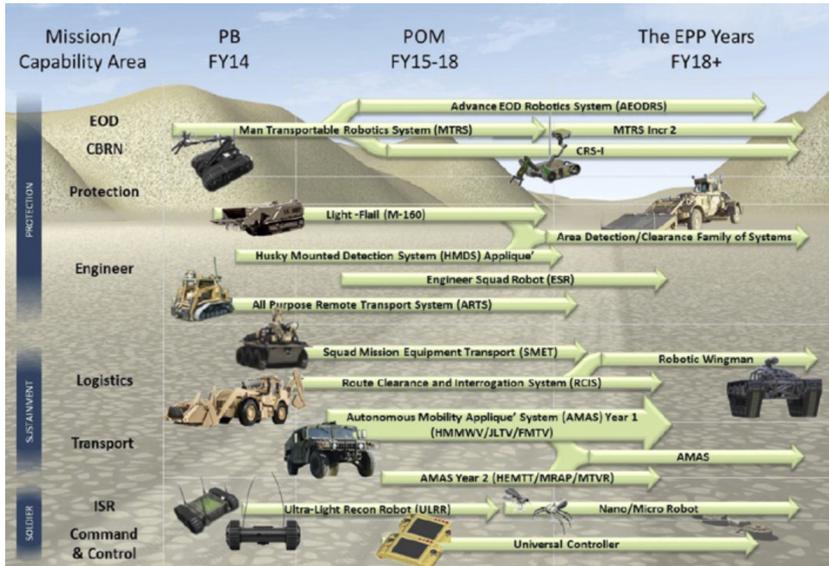


Figura 6. Evolución prevista de sistemas terrestres no tripulados en EEUU (Fuente: DoD EEUU).

La dualidad de la tecnología empleada en los diferentes UXVs es absoluta, lo que facilita el traslado de los avances tecnológicos en aplicaciones civiles al ámbito militar. No obstante, el uso de dicha tecnología exige una adaptación a las problemáticas concretas y al entorno al que se van a aplicar los sistemas. Problemas aparentemente similares pueden requerir sistemas completamente diferentes (por la aplicación específica, por las características del terreno y de entorno no estructurado, por las necesidades de guiado autónomo, por la calidad de las comunicaciones, etc.). Y en todos estos aspectos, una parte importante de las aplicaciones militares son extremadamente exigentes, lo que condiciona el máximo desarrollo y aprovechamiento de todo el potencial de los sistemas robóticos.

Recientes declaraciones del responsable del Mando de Adiestramiento y Doctrina (TRADOC) del Ejército de Tierra americano en las que apuntaba a que, entre los planes a largo plazo (2030-2040), están estudiando reducir en un 25 por ciento el número de soldados de las brigadas y sustituirlos por robots.

Un aspecto de estudio candente es el grado de autonomía que deben tener los robots, en particular si se les dota de capacidades letales. Uno de los organismos que más recientemente está abanderando este análisis es Naciones Unidas, quienes en el año 2013 publicó un documento⁸ que alertaba de los riesgos de utilizar robots autónomos letales (*LAR, Lethal Autonomous Robotics*), sistemas de armas robóticas que, una vez activados, pueden seleccionar y atacar objetivos sin la participación o incluso sin la validación de un operador humano. Es un tema abierto que está siendo analizado por los estados de cara a establecer un marco regulatorio adecuado que permita aprovechar las ventajas de los sistemas robóticos en las operaciones pero que eviten los posibles efectos colaterales de su empleo, respetando el derecho internacional humanitario.

La discusión sobre sistemas de armas autónomos,⁹ se lleva a cabo al amparo de la *Convención sobre prohibiciones del empleo de ciertas armas convencionales (CCW, 1980, enmendada en diciembre de 2001)*, que puedan considerarse excesivamente nocivas o de efectos indiscriminados. El principal escollo reside en la fusión de los conceptos de letalidad y autonomía, en la capacidad de tomar decisiones basadas en algoritmos, cu-



Figura 7. Campaña en Londres de concienciación frente a los LARs. (Fuente: radioaustralia).

⁸ HEYNS, C. (2013). Informe del Relator Especial sobre las ejecuciones extrajudiciales, sumarias o arbitrarias. A/HRC/23/47. Asamblea General de la ONU. http://www.ohchr.org/Documents/HRBodies/HRCouncil/RegularSession/Session23/A-HRC-23-47_sp.pdf. Recuperado el 2 de junio de 2014.

⁹ STOKER, L. (2013). Changing LAWS of warfare - US laser weapon downs drones. <http://www.army-technology.com/features/featurelaws-of-warfare-us-laser-weapon-drones-video/>. Recuperado el 2 de junio de 2014.

yas consecuencias puedan infligir pérdida de vidas humanas lo que plantea controversias desde puntos de vista éticos, legales y políticos. Existe una postura general de que estos sistemas incorporen la validación de un operador humano, previo al uso de la fuerza, y ningún estado se ha mostrado a favor de los sistemas plenamente autónomos, de modo que existe un consenso generalizado de que el uso de sistemas letales fuera de la intervención y control humanos no son ni éticamente, ni legalmente aceptables. El reto es definir la frontera del control humano mínimo requerido para habilitar el uso de estos sistemas en un contexto razonable.

Dentro del concepto de *LAR* se ubican los sistemas autónomos de auto-protección de buques y aeronaves, así como el sistema activo "*hard-kill*" en vehículos contra misiles anti-carro. Algunos de los sistemas desarrollados son el sistema naval de defensa de punto, *Phalanx*, de los EEUU, incorporado en los cruceros de la clase *AEGIS*, que detecta, rastrea y responde automáticamente a ataques desde el aire, o el sistema también norteamericano, *C-RAM*, para interceptar cohetes y proyectiles de artillería y mortero, para bases o campamentos. Ambos sistemas de respuesta automática al ser objeto de un ataque y la automatización permiten tiempos de respuesta muy reducidos. Existen también desarrollos de robots terrestres como el *Techwin* de *Samsung*, que se trata de un robot de vigilancia y seguridad que se emplea en el espacio desmilitarizado entre las dos Coreas que dispone de un modo automático que no se encuentra activo por defecto, siendo controlado por operadores humanos. Existe otro ejemplo de activación automática, se trata del sistema *Harpy* de Israel, que está orientado a la destrucción de emisores de radar, activándose

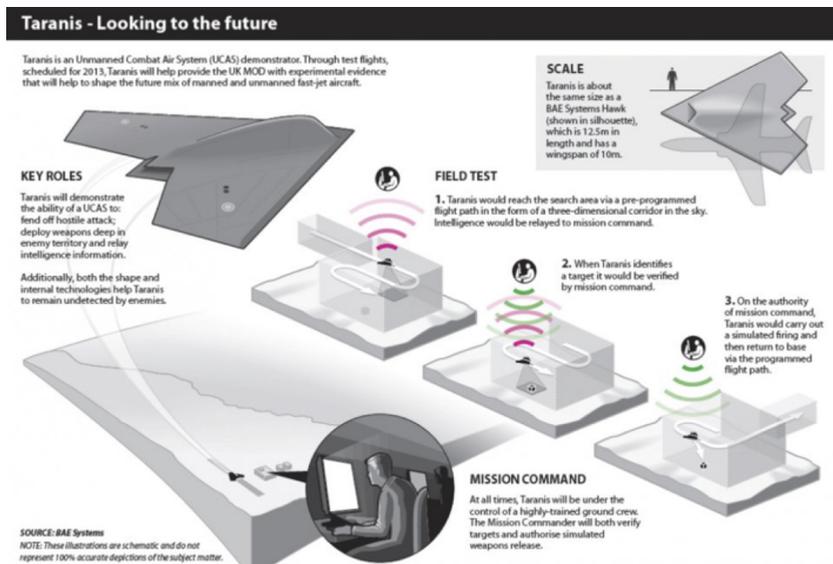


Figura 8. Infografía del sistema UCAV Taranis (Fuente: BAE Systems).

ante su detección para neutralizarlos y volviendo al modo de espera. Otro ejemplo es el UCAV del Reino Unido *Taranis*, un UAV dotado de armamento pero inhabilitado a su empleo sin autorización de un operador, pero que puede defenderse de otras aeronaves ante un ataque. Un último ejemplo de caza no tripulado *X-47 UCAS-D*, prototipo der la Marina americana, que incorpora capacidad de aterrizaje y despegue desde un portaaviones.

En la actualidad, el proyecto europeo *nEUROn* pretende aunar los desarrollo británico *Taranis UCAV*, el ruso *MiG SKAT* el *X-45 Phantom Ray* de *Boeing* y el *X-47 UCAS-D* de la Armada norteamericana.

Existe un gran número de tecnologías que pueden ser utilizadas para lograr mayores capacidades autónomas (tecnologías de sensores, navegación, procesamiento de datos, técnicas de inteligencia artificial para la toma de decisiones, etc.). No obstante, se trata de tecnologías genéricas que deben ser combinadas y adaptadas aprovechando las características específicas de cada problema particular, ya que la tecnología actual no permite que los sistemas realicen razonamientos avanzados que sí pueden realizar las personas (abstracción, comprensión del contexto, respuesta ante situaciones nuevas, sentido común, etc.).

Tecnologías de la información y las comunicaciones

El conjunto de los sistemas de información y comunicaciones se caracteriza por evolucionar muy rápidamente y por expandir su uso en escala mundial. La rapidez con la que se han desarrollado estos sistemas en el ámbito civil ha servido de dinamizador del ámbito militar y ahora sus tecnologías se pueden considerar duales, aunque siempre se pueden encontrar excepciones donde el mundo militar demanda ciertas modificaciones para que la tecnología se ajuste a sus propios requisitos. El origen de esta expansión se puede encontrar en varias causas, una de ellas es el crecimiento de las redes de comunicaciones, el abaratamiento de su acceso y de la electrónica de consumo (memorias, microprocesadores, etc.), integración de microcomponentes en un solo chip, mejoras en los consumos de potencia, automatización de la fabricación, mayores velocidades de transferencia de datos, mejoras de las tecnologías inalámbricas, etc.

El mundo del software, como subconjunto de estos sistemas, ha experimentado una expansión similar. Hace no muchos años el software se "producía" de forma artesanal. Ahora se pueden encontrar verdaderas factorías. Países emergentes como India poseen una fuerte industria en este mercado gracias al abaratamiento de la mano de obra. En sus inicios se limitaban al mantenimiento de grandes sistemas, pero cada vez más se van haciendo un hueco en todas las fases de la producción. Además la evolución de los lenguajes de programación hacia paradig-

mas multiplataforma, con autogestión de memoria, con estructuras más simplificadas, aparición de lenguajes multipropósito y superespecializados, etc., hacen que “escribir código” esté al alcance de muchas más personas.

Un aspecto de esta explosión, que no proviene del ámbito empresarial/económico sino del académico/profesional, consiste en las “tecnologías libres” que propugna un cambio de modelo de negocio que pasa por proveer el producto con toda la información necesaria para poder modificarlo/evolucionarlo libremente, siempre que después también se licencie con las mismas condiciones, de ahí los términos *Free Software* y *Free Hardware*. El mayor beneficio de este modelo no se centra en la venta del producto o una licencia de uso, sino que se centra en el servicio de mantenimiento e incidencias, modificación personalizada, cursos de usuario y de administración... Esto permite que haya muchos sistemas baratos y accesibles a muchos usuarios de economías muy diferentes. Véase el gran paradigma de los sistemas operativos libres *GNU/Linux* o, en hardware de nivel académico, las plataformas *Arduino* y similares (tarjetas micro controladoras). Todas estas razones han hecho que en el mercado se haya aumentado la demanda, y con ello la competencia y, en un proceso de realimentación positiva, mayor inversión que revierte en mejoras tecnológicas y económicas (mejoras competitivas) cerrando ese círculo de realimentación.

Aunque el dinamizador del mercado haya sido puramente civil, el mercado de Defensa se ha visto beneficiado por este proceso. Las mismas mejoras tecnológicas y económicas de los sistemas de información y comunicaciones han sido aplicadas en sistemas de información de uso militar, desde sistemas de Mando y Control (en los niveles estratégicos, operacional y táctico) hasta sistemas de misión, sistemas de control de plataformas, sistemas de inteligencia... También en sistemas de comunicaciones militares, tácticas, desplegadas, inalámbricas y creación de redes ad-hoc. La diferenciación entre redes de datos y redes de voz ha quedado casi obsoleta, y en este mundo militar también ha ocurrido, aunque todavía se puedan encontrar sistemas separados. Las tecnologías civiles llevan introduciéndose desde hace años y ya se están realizando estudios orientados para buscar cómo modificar la tecnología *4G* que cumpla con los requisitos militares.

Se han empleado también a sistemas de simulación para el adiestramiento. Hace tiempo, el mercado lúdico de juegos se vio favorecido por desarrollos militares, pero actualmente la tendencia es la inversa, son los juegos de consola los que aportan tecnologías que se usan en simuladores de adiestramiento, bien sean de aviones, carros de combate, buques o incluso en juegos de “primera persona”. El desarrollo de hardware de gran procesamiento gráfico y las librerías de software 3D proceden del mundo civil.

Las TICs tienen mucho impacto en el campo de la ciberdefensa. Internet ha evolucionado del mismo modo que el resto de las tecnologías anteriores, y desde el comienzo de su creación, de origen militar, hasta su gran evolución, se ha visto afectada por temas de seguridad. Los “hackers” prehistóricos eran individuos que no pertenecían a ninguna organización, pero sus técnicas y habilidades han sido aprovechadas y aumentadas por el crimen organizado o por ejércitos ciber-atacantes que varias naciones empezaron a desarrollar. Hoy día se hace imprescindible en el mundo militar un ciber-mando dentro de las FAS que asegure el buen funcionamiento de sus sistemas militares.

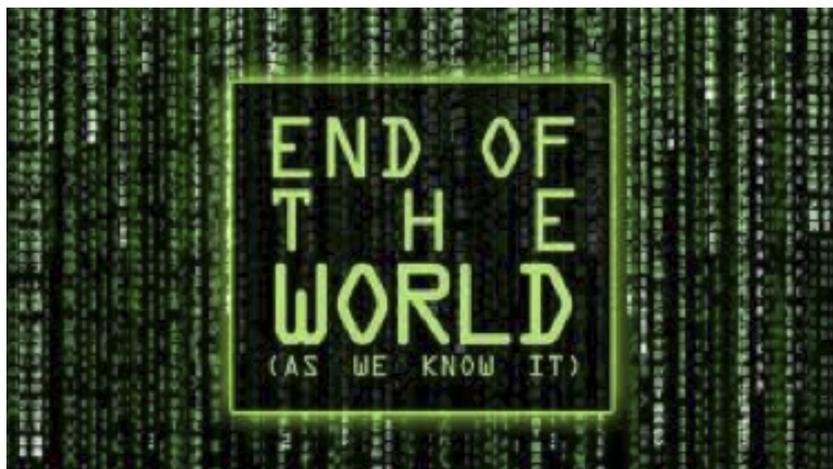


Figura 9. El paradigma del mundo cibernético. (Fuente: bloguerosrevolucion).

Se pueden apreciar ciertas tendencias en el mundo de las tecnologías civiles, que van a tener un aprovechamiento en el ámbito militar. El procesamiento masivo (*Big data*)¹⁰, de un gran auge hoy día, donde los sistemas de procesamiento, ordenadores, están intercomunicados en internet de forma natural, y su agrupamiento de forma distribuida o en grandes centros de computación permiten aplicar su gran potencia de cálculo a problemas complejos. Su aplicación en el mundo civil nace a la sombra de las grandes redes sociales, donde el interés económico se centra en obtener información sobre los clientes para identificar determinados usuarios para determinados productos. Su aplicación en el mundo militar pasa por labores de vigilancia de las redes para prevención de ataques terroristas o adquisición de información de inteligencia.

¹⁰ CARRILLO, J.A.; MARCO DE LUCAS, J.E.; DUEÑAS, J.C.; CASES, F.; GONZÁLEZ, G.; y PEREDA, L. (2013). Big Data en los entornos de defensa y seguridad. Instituto Español de Estudios Estratégicos (CESEDEN). http://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_investig/DIEEEINV_03_2013_Big_Data_Entornos_DefensaSeguridad_CarrilloRuiz.pdf. Recuperado el 2 de junio de 2014.

También se prevé una importante evolución de los sistemas cognitivos. La inteligencia artificial viene evolucionando desde hace muchos años, y con ella muchas tecnologías que buscan el mismo objetivo, hacer que los sistemas sean más inteligentes. De hecho, ya existen grupos universitarios con prototipos de cerebros artificiales, que cada vez en mayor medida van evolucionando hacia sistemas con más capacidad cognitiva. Además, otra tendencia civil es que todo dispositivo electrónico esté conectado a la red o *Internet Of the Things (IOT)*. Juntando ambas tendencias (más inteligencia + dispositivos en red), no es difícil prever sistemas de plataformas no tripuladas (*Unmanned Vehicles, UXV*) que posean capacidad autónoma basándose en el conocimiento del entorno, obtenido gracias a los sensores que lleven embarcados y a todos aquellos sensores externos o sistemas de información a los que esté conectado, redes sensores desatendidos que ofrezcan información de cualquier actividad humana. Y más allá, los concursos universitarios de equipos de fútbol robótico donde se trata de desarrollar algoritmos de cooperación entre robots para la consecución de un objetivo (el gol) no distan mucho de su aplicación en sistemas de enjambres de *UXV* que cooperen basándose en información del entorno para obtener un objetivo (defender un área, vigilar la costa, etc.).

Otro término de gran impacto por su evolución es el *Cloud*, que conceptualmente resume un cambio de modelo de negocio que no sólo está ocurriendo en el ámbito de las TICs, sino en otros muchos ámbitos. No se venden productos, se vende el acceso a un servicio. Un ejemplo ilustrativo es el leasing de automóviles donde el usuario no posee el automóvil sino que compra el derecho de uso del coche, pero el verdadero dueño se encarga del mantenimiento, las revisiones, los seguros, etc. La analogía en TICs se encuentra en que las infraestructuras TIC consistentes en ordenadores, redes, rúters, aplicaciones, sistemas operativos, etc., son propiedad de una empresa, y los usuarios sólo hacen uso de esa infraestructura, dejando al dueño su mantenimiento, la gestión de disponibilidad, los back ups, actualización, etc. En Defensa existen problemas derivados de la seguridad de la información, pero ya se están haciendo estudios de cómo poder hacer uso de este modelo para reducir costes de mantenimiento y renovación de los sistemas.

Energía

Los sistemas de energía eléctrica civiles y militares tomaron caminos distintos durante el siglo XX. La tendencia en el ámbito civil ha sido la del crecimiento de los sistemas al primar la optimización del coste. El tamaño de las centrales fue creciendo, al pasar de las primeras centrales hidroeléctricas que aprovechaban saltos naturales y las pequeñas centrales térmicas cercanas a los núcleos de población hasta las grandes

centrales que junto con las grandes presas hidroeléctricas han sido la base del sistema eléctrico durante décadas. En el ámbito del transporte y distribución de energía, el crecimiento fue paralelo hasta que las redes sobrepasaron el ámbito nacional en gran parte de Europa.

La prioridad de los sistemas eléctricos militares en operaciones han sido siempre la flexibilidad y la fiabilidad, siendo el coste una variable secundaria. Pensando en operaciones de paz, el suministro en campamentos ha estado basado en el uso de generadores diesel, que permitían su adaptación al tamaño de la base de forma modular, una rápida puesta en uso y una elevada fiabilidad, reforzada con la disponibilidad de generadores redundantes para evitar pérdidas de corriente en caso de avería.

Los cambios, tanto tecnológicos como de uso de la energía han permitido que los dos ámbitos estén más próximos y produzcan sinergias duales. Los nuevos sistemas basados en energías renovables o con menor impacto medioambiental en el ámbito civil, como la energía fotovoltaica y las pilas de combustible, permiten acercar la producción de energía eléctrica al usuario final de una forma modular y más sostenible desde el punto de vista ambiental. Reforzando esta línea, existen importantes avances en la gestión inteligente de micro redes que combinen distintas fuentes de energía eléctrica para suministrar energía a un bloque de viviendas, en una escala de potencia similar a la de un campamento o base militar.

El uso de energía en bases y campamentos ha cambiado por varios factores. Para empezar, la importancia de las misiones internacionales en las que han participado las Fuerzas Armadas durante más de veinte años han marcado la necesidad de planificar las bases para misiones de larga duración, que se extienden durante meses o años, por lo que la reducción del consumo de combustible para la generación de energía ha cobrado importancia tanto a nivel económico como operativo, especialmente en zonas de operación con rutas no seguras. El incremento del uso de ordenadores y equipos electrónicos requiere además una mayor calidad en el suministro de energía. Debido a ambos factores, las tecnologías desarrolladas en el ámbito civil han comenzado a ser de interés para su uso militar, ya que el mayor coste inicial podría ser compensado por el coste asociado al suministro de combustible. Además, los sistemas de redes inteligentes optimizan el uso de la energía con sistemas automáticos de gestión que mejoran la calidad de suministro mediante sistemas de almacenamiento capaces de operar en rangos de milisegundos.

El desarrollo de la energía fotovoltaica se ha logrado mediante una estandarización del producto final basado en la tecnología de silicio cristalino, lo que ha reducido su precio haciendo que el módulo fotovoltaico sea considerado prácticamente una *commodity*. Sin embargo, tanto la adaptación de esta tecnología al uso militar, como otros sistemas equivalentes

basados en otras tecnologías fotovoltaicas tienen aún un coste elevado. Las previsiones de investigación del sector indican que en los próximos años se potenciará la adaptación a nuevos nichos de mercado, entre los que es previsible que se encuentren ámbitos de mayor exigencia como el militar. En cuanto a los sistemas de redes inteligentes, la principal exigencia es que aseguren el suministro ante posibles problemas como falta de disponibilidad de recursos renovables, averías en los equipos de generación e incluso vulnerabilidad frente a ciberataques. Existen varios proyectos que alinean intereses en el ámbito civil y militar, como el proyecto *SPIDERS* (*Smart Power Infrastructure Demonstration for Energy Reliability and Security*) de los Departamentos de Defensa y Energía norteamericana, en cooperación con la agencia *Sandia National Labs* que han aplicado el concepto de micro redes seguras (*Energy Surety Microgrid*) a la protección de infraestructuras, particularizado para bases militares.

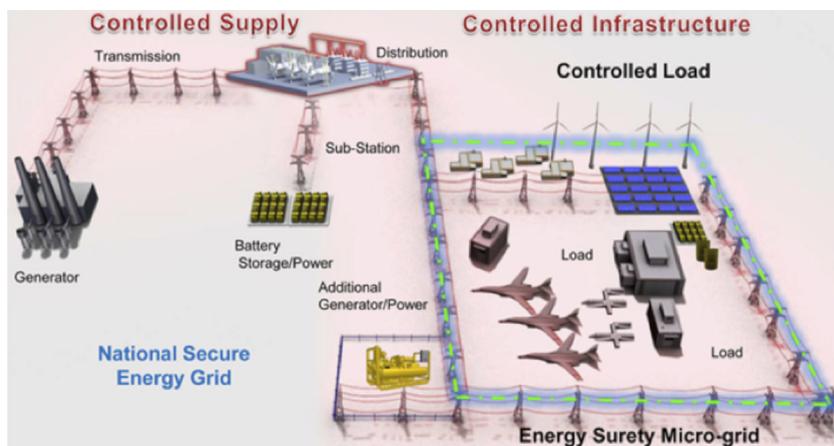


Figura 10. Sistema Energy Surety Microgrid para bases. (Fuente: Lisa Sena-Henderson).

Otro de los ejemplos paradigmáticos de tecnología dual son los sistemas de almacenamiento de energía. El desarrollo de baterías electroquímicas permitió sustituir los sistemas de comunicación tácticos típicos de la *I Guerra Mundial* basados en teléfonos interconectados por hilos por radios tácticos sin hilos en la *II Guerra Mundial*, permitiendo una mayor movilidad de las tropas. El desarrollo de la electrónica de consumo en el mundo civil, ha marcado la enorme inversión en I+D en este ámbito desde los años 80. El traslado de estos sistemas electrónicos al ámbito militar ha incrementado las necesidades de suministro energético del combatiente para alimentar los sistemas electrónicos. Actualmente, se estima que la carga de baterías que el combatiente debe llevar para alimentar su equipamiento electrónico es de 20 kg, lo que implica una importante barrera en cuanto a movilidad y autonomía. Además, se espera que esta demanda energética siga aumentando dadas las tendencias en los programas de desarrollo tecnológico de sistemas de combatiente en todos los países de

nuestro entorno. Por ello, el desarrollo de sistemas portátiles de almacenamiento de energía que incrementen el ratio energía/peso es un área clave para el I+D de Defensa en los próximos años.

Respecto a los distintos tipos de sistemas de almacenamiento de energía, las baterías primarias, no recargables, por lo que una vez que su energía es consumida, son desechadas, la tecnología más común en el mercado actualmente es la de la pila alcalina, aunque se está incrementando el uso de pilas de litio no recargables. Las líneas tecnológicas de desarrollo de baterías primarias de interés para defensa son por un lado la conformación de células primarias de litio a nuevas geometrías, de forma que permitan desarrollar pilas con formas adaptables a las necesidades de espacio de los dispositivos del combatiente, y por otro las nuevas tecnologías basadas en zinc, como las de zinc-aire o zinc-hierro que mejoren las prestaciones de las pilas alcalinas actuales.

En cuanto a las baterías secundarias o recargables, existen tres tipos predominantes en el mercado, las baterías de plomo-ácido para vehículos y aplicaciones estáticas, níquel metal hidruro para herramientas portátiles e ion-litio para herramientas portátiles y electrónica de consumo. En este tipo de sistemas de almacenamiento las líneas de desarrollo son las baterías de litio-ion y litio-ion polímero, que se convertirán en la tecnología estándar para la mayoría de aplicaciones. El impulso del mercado civil en cuanto a su desarrollo tecnológico hará que el esfuerzo de I+D militar se centre en la integración y rugerización de dicha tecnología. También las baterías de plomo ácido siguen presentando desarrollos tecnológicos que, considerando su velocidad de carga/descarga pueden ser una alternativa a los sistemas híbridos batería-supercondensador para aplicaciones militares que requieran grandes pulsos de energía. Nuevas tecnologías de baterías avanzadas, como litio-metal o aluminio-metal tienen una gran densidad energética, necesitan avanzar en su desarrollo para poder emplearse en entorno militar de forma segura.

El desarrollo tecnológico en los últimos veinte años de los condensadores electroquímicos de doble capa, conocidos como supercondensadores, ha permitido incrementar su capacidad de carga en miles de veces respecto a los condensadores tradicionales, lo que ha hecho que puedan pasar a aplicaciones de electrónica de potencia cubriendo las necesidades de carga y descarga rápida a las que las baterías no pueden hacer frente. Sus aplicaciones actuales van desde los motores de arranque en plataformas y vehículos de gran tamaño a los sistemas de estabilización de redes eléctricas. Está previsto que el mercado civil continúe avanzando en el desarrollo de supercondensadores, y la aplicación militar de estos sistemas permitirá una mejora cualitativa en los sistemas de propulsión híbrida y eléctrica e incluso como sistemas de potencia para armas de energía dirigida.

A nivel internacional, y en particular Europa y EEUU, se están desarrollando armas de energía dirigida mediante tecnología láser y radiofrecuencia. Algunos de los sistemas se encuentran en un nivel de desarrollo avanzado, y se considera su gran potencial a medio plazo, e incluso de que fueran de uso generalizado a largo plazo, principalmente las de láser de alta potencia. Las nuevas tecnologías de Energía Dirigida de Radiofrecuencia (DEW-RF) introducirán importantes cambios en los futuros escenarios operativos. Entre sus ventajas destacan la velocidad (la energía viaja a la velocidad de la luz), la posibilidad de graduar la intensidad de los efectos causados por el arma (desde resultados no letales hasta la destrucción del objetivo) y que hacen innecesario cualquier tipo de munición. Puesto que principales aplicaciones de las *DEW-RF* se producirán previsiblemente en el rango de frecuencias de microondas, estos sistemas también son conocidos con el nombre de *HPM* (*High Power Microwaves*).

Estas armas generarán niveles de potencia de radiofrecuencia elevados para inutilizar o destruir los sistemas electrónicos de las amenazas. Niveles excepcionalmente elevados de energía de RF podrían incluso hacer detonar proyectiles de artillería, bombas y cabezas de guerra de misiles, aunque para poder provocar estos efectos el arma de energía dirigida debería estar muy próxima a estos objetivos. Los componentes electrónicos más vulnerables a las armas de energía dirigida son los dispositivos basados en semiconductores (microchips, transistores, amplificadores de estado sólido, etc.). La utilización cada vez más extendida de estos dispositivos ha ocasionado que los sistemas electrónicos actuales sean muy susceptibles al ataque con energía dirigida. Entre las posibles aplicaciones de este tipo de armas destacan la lucha Contra Artefactos Explosivos Improvisados (*C-IED*), en que podrían generar la suficiente potencia para destruir la electrónica del mecanismo de activación del *IED* o provocar su detonación a distancia. También destaca la detención a distancia de vehículos suicidas, provocando su detención antes de que colisionen contra el objetivo. Otra aplicación es la protección de aeronaves contra misiles, ya que la elevada potencia generada por las *RF-DEW* podría utilizarse para neutralizar o destruir los sistemas electrónicos de guiado de los misiles tierra-aire tipo *MANPAD*. Otro posible uso es la neutralización de redes *C4I*. Los ataques con estas armas podrían también dirigirse hacia los sistemas de mando, control y comunicaciones del enemigo, deteriorando su capacidad de combate.

Las tecnologías clave para el desarrollo de estos sistemas son las relacionadas con los dispositivos electrónicos para la generación de señales de radiofrecuencia de alta potencia (osciladores, amplificadores, moduladores, etc.). Estos dispositivos se pueden agrupar por un lado en fuentes de potencia y semiconductores de estado sólido. Las fuentes de potencia son generalmente tubos/válvulas de vacío, en su futuro estarán basados

en la evolución de los dispositivos de vacío actuales (Klystron, Reltrons, magnetrones, BWO, TWT, etc.) o en nuevos dispositivos como el *VIRCATOR* (*Virtual Cathode Oscillator*) o *MIL0* (*Magnetically Insulated Line Oscillator*). En el campo de los semiconductores de estado sólido, el material con mayor potencial futuro para aplicaciones de alta potencia de RF es el Nitruro de Galio (GaN) que incluso con los mayores niveles de potencia que proporciona sigue siendo inferior a la potencia que se obtiene con la tecnología de tubos de vacío. Otras tecnologías que jugarán un papel determinante son las relacionadas con la generación de los altos niveles de voltaje necesarios (generadores Marx, etc.), así como las relacionadas con la generación y emisión de pulsos de RF de elevado ancho de banda o *UWB* (*Ultra Wide Band*), antenas *IRA* (*Impulse Radiating Antenna*), antenas de tipo bocina *TEM* (*Transverse ElectroMagnetic Mode*), etc.

Como ejemplo de su uso dual, se menciona el Sistema *ADS* (*Active Denial System* -Raytheon) la primera arma no letal que se desarrolló basada en Energía Dirigida de RF para la dispersión de multitudes. El *ADS* produce una intensa sensación de calor en la piel del objetivo, provocando su huida. Existe también una versión comercial de menor potencia denominada *Silent Guardian*.



Figura 11. Sistema ADS desarrollado por Raytheon. (Fuente: Raytheon).

En la misma línea, están teniendo un gran desarrollo las armas de energía dirigida mediante láser de alta potencia, que emiten energía electromagnética en diferentes rangos espectrales (principalmente visible e infrarrojo) a un objetivo preciso, y no lanzan ningún tipo de proyectil. Las aplicaciones más relevantes son las contramedidas de misiles o morteros, la destrucción de plataformas aéreas, la autoprotección de buques ante pequeñas embarcaciones y las aplicaciones no letales, como inutilización de plataformas terrestres. Esta tecnología implica grandes ventajas logísticas, ya que se puede considerar que tienen munición “infinita”, sin necesidad de recargas continuas. Por lo tanto, una vez instaladas, sin tener en cuenta los costes de fabricación y desarrollo, su uso es mucho más económico.

En cuanto al estado del arte actual, existen proyectos en curso en Estados Unidos y Europa, que cuentan con prototipos de armas láser en un estado de madurez muy avanzado. La filial alemana de MBDA,¹¹ anunció recientemente que está desarrollando un arma láser de estado sólido. MBDA explica que ha generado esta potencia tan elevada mediante el uso de láseres de fibra combinados con su propia tecnología patentada de acoplamiento de haces para mantener la calidad de los haces de luz, crucial para que el láser sea eficaz en largas distancias. En pruebas de tiro recientes, el láser atravesó placas de acero de 40 mm de espesor “en unos pocos segundos”. Según la propia empresa, los ensayos demostraron la alta calidad de las combinaciones de haces, así como las bajas pérdidas de los láseres individuales, con lo que se garantiza una alta fiabilidad del sistema. La figura siguiente ilustra el demostrador Laser de MBDA utilizado en 2012 en pruebas C-RAM con una potencia de 40 Kw en un rango de 2 km de alcance y de 1 km de altitud.



Figura 12. Demostrador Laser de MBDA utilizado en 2012 en pruebas C-RAM. (Fuente MBDA).

Por otro lado, la *U.S. Navy* tiene prevista¹² la instalación en el verano de 2014 de un arma láser de estado sólido en el *USS Ponce*. También la *U.S.*

¹¹ MBDA SYSTEMS. (2014). MBDA Missiles Systems e-Catalogue. <http://www.mbda-systems.com/e-catalogue/>. Recuperado el 2 de junio de 2014.

¹² Agence France-Presse (2013). U.S. Navy Laser Weapon To Be Deployed Aboard U.S.S. Ponce In 2014.

Army Space and Missile Defense Command (SMDC) y *Boeing* están desarrollando un sistema láser montado sobre un camión para combatir las amenazas de cohetes, artillería, morteros y UAV en el proyecto *High Energy Laser Mobile Demonstrator (HEL MD) fase II*. Este demostrador incorporará un sistema láser de estado sólido de 10 kW, con posibilidad de adoptar sistemas de mayor potencia en el futuro. Las empresas también están desarrollando, conjuntamente con *SAIC*, ópticas adaptativas para este tipo de sistemas. Si se resuelven los retos tecnológicos actuales, podrían pasar a ser complementarias al uso de sistemas convencionales, y con mejores resultados y menor coste en múltiples aplicaciones.

Sistemas e infraestructuras espaciales

Los sistemas espaciales cubren actualmente un amplio espectro de servicios, proporcionando comunicaciones sólidas y estables, observación de la tierra, meteorología y posicionamiento global. Las redes espaciales proporcionan cobertura en zonas remotas de difícil acceso y complementan las redes terrestres en misiones de seguridad nacional y emergencias, ya que las comunicaciones por satélite ofrecen redundancia y mayor resistencia frente a catástrofes que las comunicaciones terrestres y por otro lado, los sistemas espaciales son propicios para monitorizar y proteger la Tierra frente a múltiples amenazas y catástrofes, más críticamente en gestión de emergencias, pero también dan soporte a sistemas de información de sectores como agricultura, construcción, financiero, etc.

En el ámbito militar, los sistemas espaciales se usan para defensa de ataques balísticos, mando y control en zonas de operaciones, pero en cuanto a los servicios de comunicación, posicionamiento y navegación se utilizan de forma extensiva sistemas de ámbito civil. Y se han convertido en una ventaja táctica indiscutible en las operaciones militares, como se ha demostrado en los recientes conflictos armados, donde la capacidad espacial ha aportado a las fuerzas terrestres, navales y aéreas una considerable superioridad tecnológica.

Históricamente los sistemas espaciales de carácter militar han abordado en mayor profundidad los aspectos relativos a la seguridad, a diferencia de los sistemas comerciales. Los gobiernos han estado haciendo uso progresivo de sistemas espaciales comerciales, debido a que los sistemas exclusivamente gubernamentales no siempre permiten satisfacer sus necesidades, y generan costes sensiblemente menores. Las restricciones más significativas provienen del ámbito de la seguridad, ya que en el uso de sistemas comerciales por entidades gubernamentales, generalmente se protege el segmento terreno y usuario, los enlaces y las comunicaciones, pero tanto el segmento espacio, como el segmento terreno de control y enlaces TTC, gestionados por el sector privado, carecen de las medidas de protección propias del entorno gubernamental.

Las actividades gubernamentales en el ámbito espacial abarcan misiones de reconocimiento, vigilancia y alerta temprana, previsión meteorológica, navegación, comunicaciones y análisis científico, pero cada vez más se emplean sistemas comerciales para misiones no críticas como son las comunicaciones. Este uso se hace en mayor grado en caso de conflictos que requieren de un aumento importante de capacidad y no existen infraestructuras disponibles bajo control gubernamental, lo que conlleva el uso de sistemas comerciales, generalmente de terceros países o de ámbito internacional, aunque ello implique un menor control de dichos activos. Este uso de sistemas comerciales para uso militar, ha propiciado progresivamente la tendencia al llamado "uso dual", de modo que los sistemas se conciben y diseñan desde su inicio para su uso compartido con fines civiles y militares o gubernamentales.

Es el caso en nuestro país del satélite de comunicaciones *Spainsat* y el satélite de observación de la Tierra *Paz*, permitiendo la puesta en marcha de programas y sistemas a costes más asequibles, multiplicando las posibilidades de explotación y minimizando el tiempo de retorno de las inversiones. El caso más evidente es el de los sistemas de navegación *GNSS* (*Global Navigation Satellite System*), cuyo origen inicialmente militar, aportó una gran ventaja táctica en las operaciones y se ha extendido con gran impacto en aplicaciones de uso civil desde la apertura del sistemas *GPS* por el gobierno americano, para servicios de ayuda a la navegación, posicionamiento con dispositivos móviles integrados en los sistemas de transporte, sistemas de localización, emergencias, etc. El sistema *GNSS* Galileo que está siendo desplegado en Europa reutiliza infraestructuras, hace posible la coexistencia de un servicio abierto con uno comercial de mayor valor añadido, permitiendo generar una industria de aplicaciones específicas, con uno de uso exclusivo gubernamental *Galileo PRS* (*Public*

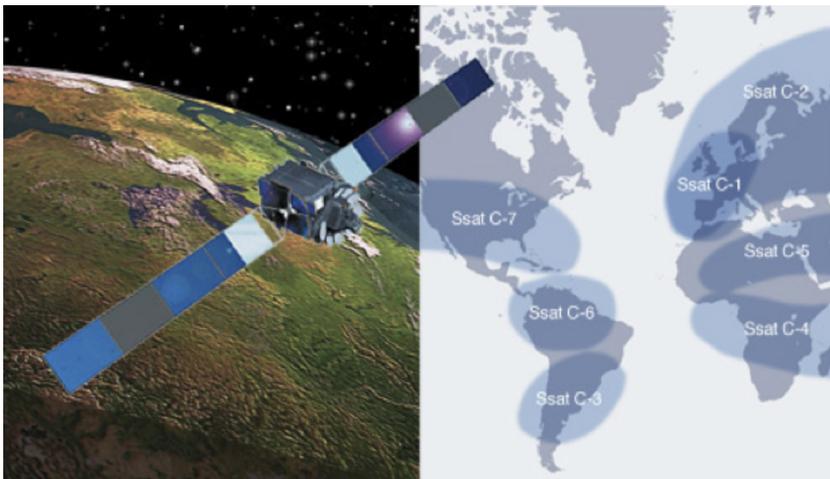


Figura 13. Satélite Spainsat. (Fuente: HISDESAT).

Regulated Service) para servicios críticos de seguridad, emergencias, transporte, energía y telecomunicaciones, y por supuesto en el ámbito de la Defensa.

Materiales

Son muchos los materiales empleados dualmente en el ámbito civil como el militar. A igual que en otros ámbitos, son muchos los ejemplos de materiales y procesos comúnmente utilizados en el sector civil cuyo origen procede del sector de la Defensa, como es el caso del caucho, de las aleaciones ligeras de aluminio, el titanio, los aceros avanzados o muchos de los denominados textiles "inteligentes" empleados originariamente en uniformes de campaña.

Pero también existen, cada vez más, materiales y procesos desarrollados para uso civil, que son aprovechados para su empleo en el ámbito militar, como son los recientes casos del grafeno o de la impresión 3D. El grafeno presenta propiedades como su elevada conductividad eléctrica, conductividad térmica, resistencia mecánica, que son de gran potencial para aplicaciones en el ámbito civil y militar, en sectores como el de la electrónica para la fabricación de dispositivos más pequeños y con mejores prestaciones, el de la energía para la obtención de sistemas de obtención y almacenamiento de energía más potentes, ligeros y de menor tamaño y nuevos materiales compuestos con múltiples funcionalidades, más resistentes y ligeros. La impresión 3D, empleada en un principio en sectores como el aeronáutico y el de la medicina, es también de gran interés para el sector militar por ser un medio de obtención de piezas, recambios, etc. de un modo rápido y relativamente barato.

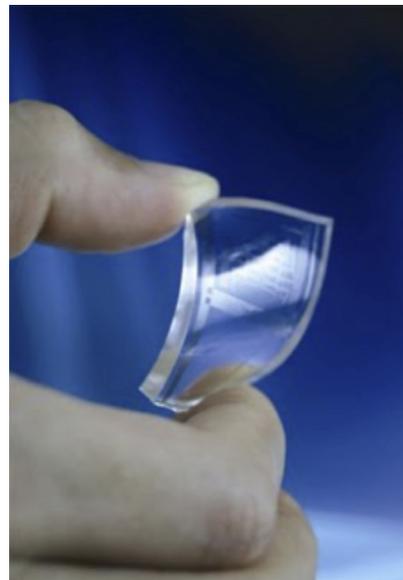


Figura 14. Grafeno. (Fuente: [elmineraldigital](#)).

Una rama de la ingeniería de los materiales que ha sido relevante en las últimas décadas para el sector civil y militar ha sido el estudio de las propiedades de los materiales a escala micro y nano. Esto ha permitido el desarrollo de materiales más ligeros con mejores propiedades mecánicas como son los materiales compuestos nanorreforzados, modificar la superficie de los materiales para hacerlos más resistentes en ambientes

corrosivos y por tanto, más duraderos, y nuevos materiales con mejores propiedades eléctrica, ópticas y magnéticas o explosivos que liberan energía de manera más segura, eficiente y controlada. Sin duda, ha supuesto una revolución en prácticamente todos los sectores industriales conocidos, desde el electrónico, el energético, o el del transporte hasta el químico o el farmacológico.

Óptica y Optoelectrónica

La óptica y la optoelectrónica se han convertido en un pilar fundamental en los avances científicos y tecnológicos de nuestro tiempo y en la actualidad son básicas para el posicionamiento tecnológico de las naciones. A nivel científico, se dice que el siglo XX fue el siglo de electrón, y que el siglo XXI será el siglo del fotón,¹³ y de la misma forma que la electrónica evolucionó rápidamente a partir de la invención del transistor en los años 1940, se espera que la óptica y la optoelectrónica sigan la misma pauta en las próximas décadas, influyendo en múltiples aspectos de nuestras vidas, revolucionando la industria y la sociedad.

Las aplicaciones de la óptica y la optoelectrónica¹⁴ son tan diversas que es difícil acotar, como las aplicaciones láser en la industria, las telecomunicaciones, el diagnóstico no invasivo de enfermedades, la iluminación, la detección remota de gases tóxicos, y un larguísimo etcétera.

En Defensa, la óptica y la optoelectrónica tienen un importante rol que no deja de crecer, y por parte de los países industrializados se considera crítico mantener una superioridad tecnológica. Las redes de sensores se están convirtiendo en el “campo de batalla” para el dominio de la inteligencia, vigilancia y reconocimiento, con una presencia muy significativa de sensores *EO/IR* (electroópticos e infrarrojos) en los sistemas de Defensa.

Los equipos de visión nocturna convencionales han evolucionado enormemente hacia *COTS* comerciales, incluso de bajo coste, y por otro lado se están desarrollando nuevos y sofisticados sistemas de vigilancia. Ya existen sensores pasivos con un campo de visión muy amplio, y es posible la obtención de imágenes de amplias áreas con una alta resolución. Actualmente, se pueden monitorizar áreas enteras de ciudades de una manera continua, y con un procesado automático y en tiempo real de la información obtenida. La evolución del

¹³ Fotónica 21. Plataforma Tecnológica Española de Fotónica, Deloitte. (2013). El Sector de la Fotónica en España, Recomendaciones para el Desarrollo del Sector. Fotónica 21. Plataforma Tecnológica Española de Fotónica.

¹⁴ European Technology Platform Photonics21. (2013). Towards 2020 – Photonics Driving Economic Growth in Europe. Multiannual Strategic Roadmap, 2014-2020. Silver Druck oHG, Niestetal: Bruselas.

láser también ha sido relevante, con múltiples aplicaciones en defensa, desde algunas muy consolidadas como designación de objetivos y telémetros, hasta la aparición de nuevos sistemas de armas láser, que ya cuentan con prototipos muy avanzados capaces de destruir pequeñas aeronaves o misiles balísticos. Otro campo que ha evolucionado de manera significativa son las comunicaciones ópticas, y se espera su uso generalizado en los futuros sistemas de defensa, en particular por la seguridad de la información.

Biotecnología

Los avances y la velocidad de desarrollo de la biotecnología en las últimas décadas plantean grandes retos con respecto al control de las armas biológicas. Esta explosión de la biotecnología¹⁵ está siendo impulsada por la investigación académica, tanto pública como privada, y sus campos de aplicación son tan numerosos y variados que su globalización es imparable, lo que plantea la posibilidad de su mal uso por parte de pequeños grupos o individuos con la competencia técnica necesaria.

A pesar del interés que se presta al bioterrorismo, ha habido muy pocos ataques biológicos reales. La adquisición de los conocimientos y recursos necesarios para la ejecución exitosa de un ataque de estas características es mucho más compleja de lo que inicialmente se creía. La rareza de este tipo de ataques¹⁶ ¹⁷ hace hincapié en la importancia de comprender por qué ha habido tan pocos, el grado en que esto se ha debido a las capacidades y motivaciones, y cómo se podría trabajar en preservar los factores que han impedido hasta el momento un mayor uso de este tipo de armas. Las previsiones para el futuro sugieren que la revolución biotecnológica tendrá el potencial de generar enormes beneficios para la sociedad, siendo la “biología sintética” y la “nanobiotecnología” los principales campos de progreso y avances en multitud de áreas de aplicación. Por “biología sintética” nos referimos al campo científico que tiene como objetivo el desarrollo específico de moléculas, células, y organismos mediante la aplicación de principios de ingeniería con el fin de crear sistemas biológicos completos que exhiben nuevas propiedades. La biología sintética promete hacer la búsqueda de la bio-

¹⁵ WRIGHT, O.; STAN, G-B y ELLIS, T. (2013). “Building-in biosafety for synthetic biology. *Microbiology*”. 159, 1221-1235.

¹⁶ ARMSTRONG, R.; DRAPEAU, M.; LOEB, C.; y VALDES, J. (2010). *Bio-inspired innovation and national security. Part 1 Perspectives on Biological Warfare*. Center for Technology and National Security Policy by National Defense University Press. http://www.huffingtonpost.com/2013/04/09/us-navy-laser-weapon-deployed-uss-ponce-2014_n_3043244.html. Recuperado el 2 de junio de 2014.

¹⁷ KOBLENTZ, G. (2009). *Living weapons. Biological Warfare and International Security*. Cornell University Press.

tecnología más fácil, más rápida, más barata y más accesible a los “no expertos”. Los beneficios de su uso son evidentes en muchas áreas de aplicación, como en medicina para el tratamiento de enfermedades, aumentando considerablemente la fiabilidad de las tecnologías, e incluso reduciendo significativamente el tiempo necesario para convertir los descubrimientos científicos en aplicaciones prácticas. Se espera que la nanobiotecnología, convergencia de la biotecnología con la nanotecnología, aplique los principios y técnicas para transformar biosistemas y crear nuevos dispositivos a escala nanométrica, proporcionando nuevos sistemas mejorados para diagnóstico médico, terapias, medicamentos mejorados o dispositivos liberadores de fármacos, como el ejemplo que ilustra la siguiente figura, donde partículas adheridas a células cancerígenas contienen un fármaco anticáncer que liberan gradualmente mientras se descomponen. En particular, se espera una mejora de las terapias que faciliten la liberación controlada de fármacos o genes en la célula afectada de manera más precisa y eficaz, sin dañar las células y tejidos adyacentes.

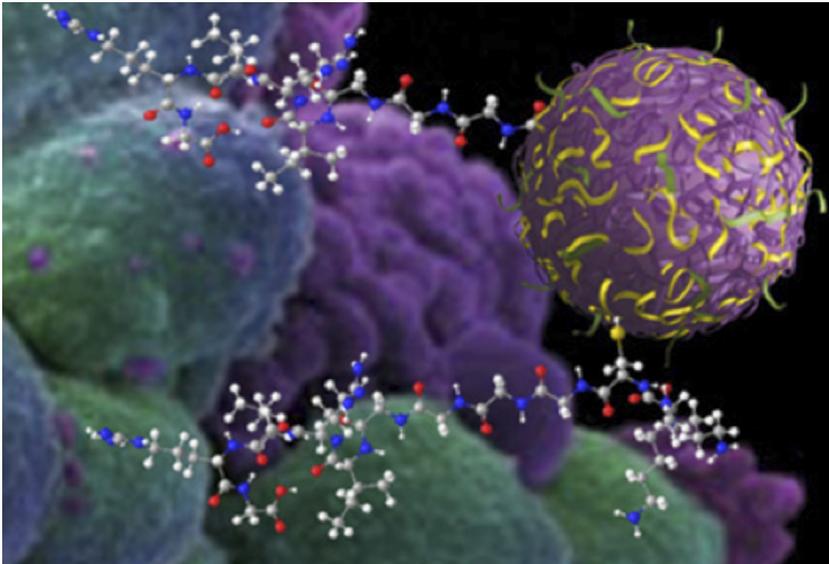


Figura 15. Partículas de nanoesponja adheridas a células cancerígenas. (Fuente Harth Laboratory).

Además de las aplicaciones descritas, hay que destacar su potencial papel en otras áreas como en la producción de biocombustibles, en la producción de determinados medicamentos resultantes del metabolismo de determinadas bacterias, o en control de la contaminación a través de bacterias modificadas genéticamente que permitan indicar la presencia de ciertas sustancias como explosivos o material radiactivo, lo que haría más fácil implementar determinadas medidas de protección.

Sin embargo, el progreso en la biotecnología no sólo aporta beneficios sino también riesgos^{18 19}. El principal reto de la biotecnología en términos de la política de seguridad implica el problema del uso dual. La mayoría de los enfoques biotecnológicos pueden ser utilizados no sólo para beneficio, prácticamente todos los desarrollos relevantes de la biotecnología se pueden derivar de los esfuerzos de investigación completamente legítimos y su adaptación para fines maliciosos a menudo no implica cambios significativos. Un ejemplo de esto sería la producción y uso intencionado de armas biológicas especialmente dañinas, mediante la modificación a largo plazo de las propiedades de los agentes patógenos, haciéndolos más atractivos para fines terroristas o militares. Estas modificaciones confieren propiedades tales como resistencia al tratamiento médico, mayor virulencia y capacidad de infección, estabilidad del medio ambiente, etc. Por otro lado, el desarrollo de rutas metabólicas bacterianas podría permitir en el futuro la producción no sólo de sustancias beneficiosas, sino también de toxinas, drogas, o sustancias precursoras para armas químicas.

En el corto y medio plazo, la amenaza de la biotecnología para fines perniciosos es pequeña, y se limita en gran medida a los estados que pueden invertir los recursos necesarios con este objetivo. Sin embargo, el riesgo de un mal uso por parte de otros estados y, especialmente, de actores no estatales se puede esperar que crezca considerablemente a largo plazo. En la actualidad, los mecanismos tradicionales de control de armas como los tratados internacionales o de los regímenes nacionales de control de las exportaciones en el ámbito de las armas biológicas tienen una eficacia limitada. El problema del uso dual, hace casi imposible identificar, y mucho menos controlar las actividades relacionadas con las armas biológicas. Esta es una de las razones por las que la comunidad internacional ha sido hasta ahora incapaz de ponerse de acuerdo sobre un mecanismo de verificación en el marco de la *Convención sobre Armas Biológicas (CAB)*, como los que existen para las armas químicas y nucleares. La investigación relacionada con las armas biológicas puede ser fácilmente ocultada bajo el disfraz de actividades legítimas y llevada a cabo en pequeños laboratorios civiles.

Las limitaciones de los mecanismos de control de armas biológicas son más evidentes con la amenaza creciente del empleo de este tipo de armas por parte de actores no estatales. Tal situación parece verosímil, ya que la proliferación de las capacidades biotecnológicas en toda la sociedad es inexorable. Por otro lado, imponer límites a los avances de la

¹⁸ CHYBA, C. (2006). Biotechnology and the challenge to arms control. Arms Control Association. http://www.armscontrol.org/act/2006_10/BioTechFeature. Recuperado el 2 de junio de 2014.

¹⁹ WRIGHT, O.; Stan, G-B y ELLIS, T. (2013). "Building-in biosafety for synthetic biology. *Microbiology*". 159, 1221-1235.

biotecnología difícilmente parecería apropiado en vista de las enormes ventajas potenciales de esta disciplina, y tampoco sería factible en la práctica. La experiencia, el material y los equipos se utilizan en muchas disciplinas de las ciencias de la vida y están ampliamente disponibles en todo el mundo. En este sentido, la proliferación de los conocimientos y el material biotecnológico, aunque no está relacionada con las armas en concreto, ya está en marcha. En este contexto, se hace evidente que los desafíos de política de seguridad en cuanto a aplicaciones biotecnológicas debe abordarse con una respuesta integral y enfoques innovadores, donde se involucren a los grupos y actores sociales más relevantes, de forma que se pueda identificar el uso indebido de la Biotecnología. El objetivo debe ser maximizar el desarrollo sin trabas de las aplicaciones beneficiosas de la tecnología, al mismo tiempo que se reduce al mínimo el peligro de desarrollos dañinos.

Conclusión

Desde un punto de vista tecnológico, los futuros sistemas de armas se harán empleando planteamientos flexibles y dinámicos, aprovechando los posibles factores multiplicadores y la innovación constante en un entorno cooperativo en los ámbitos civil y militar.

La fragmentación en la investigación y desarrollo de ambos ámbitos, aún imperante en ciertos campos de actuación lastran la competitividad y reducen la eficacia en las inversiones en I+D+i. En la actualidad estamos siendo testigos de este cambio de paradigma tecnológico, y como ejemplo de ello es la incorporación de los ámbitos de seguridad y defensa al programa marco de investigación europeo H2020, y es que en definitiva debemos preguntarnos, ¿existe alguna tecnología que no sea dual?

Bibliografía

- Agence France Presse. (2013). U.S. Navy Laser Weapon To Be Deployed Aboard U.S.S. Ponce In 2014.
- ARMSTRONG, R., DRAPEAU, M., LOEB, C. y VALDES, J. (2010). Bio-inspired innovation and national security. Part 1 Perspectives on Biological Warfare. Center for Technology and National Security Policy by National Defense University Press. http://www.huffingtonpost.com/2013/04/09/us-navy-laser-weapon-deployed-uss-ponce-2014_n_3043244.html. Recuperado el 2 de junio de 2014.
- CALVO C. Aeronaves no tripuladas. <http://www.infodefensa.com/es/2014/05/05/noticia-aeronaves-tripuladas-parte-historia-aplicaciones.html>. Recuperado el 2 de junio de 2014.
- CARRILLO, J.A., MARCO DE LUCAS, J.E., DUEÑAS, J.C., CASES, F., GONZÁLEZ, G. y PEREDA, L. (2013). Big Data en los entornos de defensa y seguridad. Instituto Español de Estudios Estratégicos (CESED-EN). http://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_investig/DIEEEINV_03_2013_Big_Data_Entornos_DefensaSeguridad_Carrillo_Ruiz.pdf. Recuperado el 2 de junio de 2014.
- CHYBA, C. (2006). Biotechnology and the challenge to arms control. Arms Control Association. http://www.armscontrol.org/act/2006_10/Bio-TechFeature. Recuperado el 2 de junio de 2014.
- Departamento de Defensa EEUU. (2013). Unmanned Systems Integrated Roadmap.
- Departamento de Defensa EEUU. (2012). The Role of Autonomy in DoD Systems.
- EUROCONTROL. Integrating RPAS in the European aviation network: our role. <https://www.eurocontrol.int/articles/integrating-rpas-european-aviation-network-our-role>. Recuperado el 2 de junio de 2014.
- European Technology Platform Photonics21. (2013). Towards 2020 – Photonics Driving Economic Growth in Europe. Multiannual Strategic Roadmap, 2014-2020. Silver Druck oHG, Niestetal: Bruselas.
- Fotónica 21. Plataforma Tecnológica Española de Fotónica, Deloitte. (2013). El Sector de la Fotónica en España, Recomendaciones para el Desarrollo del Sector. Fotónica 21. Plataforma Tecnológica Española de Fotónica.
- HEYNS, C. (2013). Informe del Relator Especial sobre las ejecuciones extrajudiciales, sumarias o arbitrarias. A/HRC/23/47. Asamblea General de la ONU. http://www.ohchr.org/Documents/HRBodies/HRCouncil/RegularSession/Session23/A-HRC-23-47_sp.pdf. Recuperado el 2 de junio de 2014.

- ICAO. (2011). Civil/Military Cooperation in Air Traffic Management. <http://www.skybrary.aero/bookshelf/books/2605.pdf>. Recuperado el 2 de junio de 2014.
- KOBLENTZ, G. (2009). Living weapons. Biological Warfare and International Security. Cornell University Press.
- MBDA SYSTEMS. (2014). MBDA Missiles Systems e-Catalogue. <http://www.mbda-systems.com/e-catalogue/>. Recuperado el 2 de junio de 2014.
- STOKER, L. (2013). Changing LAWS of warfare - US laser weapon downs drones. <http://www.army-technology.com/features/feature-laws-of-warfare-us-laser-weapon-drones-video/>. Recuperado el 2 de junio de 2014.
- UK MoD. (2010). Strategic Trends Programme. Global Strategic Trends 2014. https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/33717/GST4_v9_Feb10.pdf. Recuperado el 2 de junio de 2014.
- WRIGHT, O., STAN, G-B y ELLIS, T. (2013). "Building-in biosafety for synthetic biology. Microbiology". 159, 1221-1235.
- WHEELIS, M. y DANDO, M. (2002). On the brink: Biodefence, Biotechnology and the future of Weapons Control. <http://www.sussex.ac.uk/Units/spru/hsp/documents/cbwcb58%20Dando%20and%20Wheelis.pdf>. Recuperado el 2 de junio de 2014.

