



ACADEMIA DE LAS CIENCIAS  
Y LAS ARTES MILITARES

Comunicaciones académicas

## El papel de las tecnologías duales en la defensa y seguridad europea

*Gonzalo León Serrano*

Academia de las Ciencias y las Artes Militares  
Sección de Prospectiva de la Tecnología Militar

### Relevancia creciente de la tecnología en la sociedad

Seamos conscientes o no, el funcionamiento de una sociedad avanzada descansa en el despliegue, operación y uso de sistemas tecnológicos muy complejos de los que dependen servicios básicos. Para el ciudadano medio, el funcionamiento de los procesos y sistemas tecnológicos asociados a servicios críticos para la sociedad se dan por hecho... como si estuvieran asegurados para siempre. Esto ocurre en el caso de la electricidad, de las telecomunicaciones, de los suministros de agua y energía, y de un largo etcétera.

Sin embargo, esa situación puede no estar garantizada; detrás de estos servicios es necesario asegurar el funcionamiento de múltiples sistemas cuya resiliencia no siempre es posible conseguir y que, su protección constituye una preocupación de todos los gobiernos. En el caso del suministro eléctrico, del que dependen muchos otros servicios básicos, no hay que pensar únicamente en situaciones de conflicto militar abierto como sucede con el bombardeo sistemático por Rusia de las infraestructuras eléctricas en Ucrania en los últimos tres años. El pasado 25 de febrero de 2025, un apagón masivo dejó sin electricidad al 90% de Chile, lo que ha paralizado el transporte, cortando también las comunicaciones móviles y deteniendo la vida cotidiana en gran parte del país. El corte de energía llevó al Gobierno a declarar el estado de emergencia y un toque de queda nocturno obligatorio.

Por otro lado, la evolución de la tecnología es muy rápida y se acelera su penetración en la sociedad; se ha pasado de necesitar años para que alcancen el 50% de los usuarios potenciales como ha ocurrido con la telefonía móvil, a sólo meses en la actualidad como ha ocurrido con aplicaciones de inteligencia artificial generativa.

Para que las entidades públicas y privadas puedan mantener la competitividad a nivel global de sus productos y servicios tecnológicos es necesario realizar frecuentes y complejos procesos de adquisición y sustitución de tecnologías para los que no siempre se está preparado. Es un proceso que se repite periódicamente, y con frecuencias más elevadas. La facilidad o no para realizar estos procesos a tiempo con los cambios de conocimientos requeridos, organizativos y culturales que implica, conduce a la existencia de ganadores y perdedores.

Todas estas consideraciones justifican el reconocimiento del valor estratégico que ha adquirido la tecnología en la sociedad y la creciente atención geopolítica que se le presta en un proceso de búsqueda de la supremacía comercial y militar entre países avanzados. En estos momentos, puede decirse que la tecnología forma parte de la batalla entre grandes potencias en las que, como se indica en la figura 1, tanto el acceso al conocimiento tecnológico como asegurar el flujo de componentes y sistemas en cadenas globales de suministro, o el acceso a los datos o su veracidad se han convertido en «armas» de la confrontación geopolítica.

Dominar todos los elementos de una tecnología es un objetivo que ha adquirido

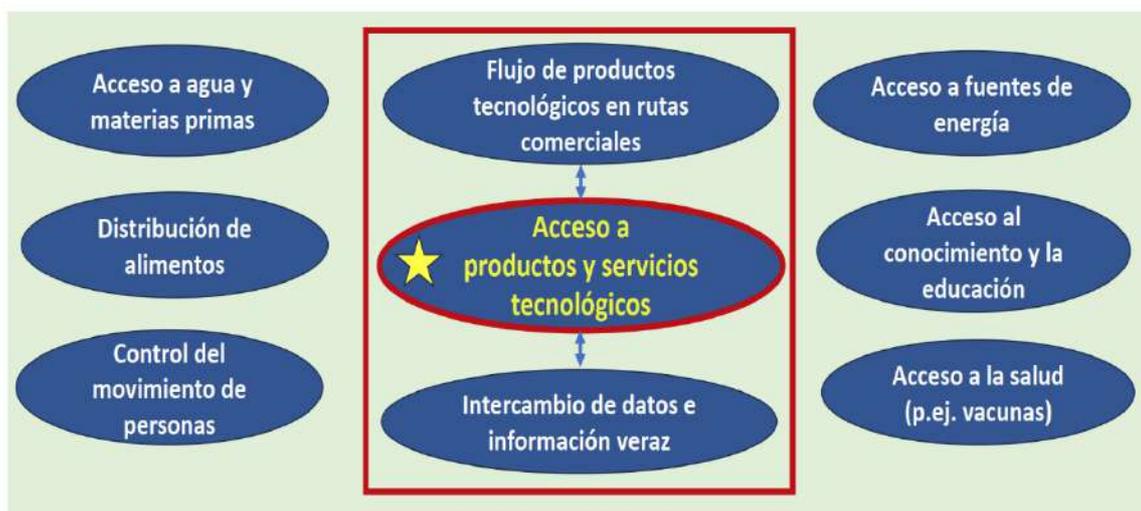


Figura 1. La tecnología convertida en un arma en los conflictos geopolíticos. Fuente: elaboración propia

relevancia como parte del concepto de «soberanía tecnológica». Es un objetivo que, sin embargo, no siempre se puede conseguir en un momento y organización o país, dado que requiere disponer simultáneamente de varios elementos clave entre los que se encuentran:

- Acceder al conocimiento tecnológico necesario.
- Disponer de los materiales y componentes requeridos para el desarrollo de productos y servicios tecnológicos.
- Distribuir y desplegar productos y servicios a usuarios en todo el mundo mediante redes de distribución físicas y de datos fiables y eficientes.
- Facilitar las transiciones tecnológicas equilibradas entre países que protejan la propiedad del conocimiento y su uso posterior.
- Disponer de un marco legislativo y regulatorio inteligente para la gobernanza de la tecnología que reduzca los riesgos para el ciudadano.
- Disponer de recursos humanos con conocimientos cualificados.

Los productos tecnológicos avanzados son multitecnológicos; es decir, su desarrollo requiere no solo el dominio de una determinada tecnología, sino de varias, y también de la capacidad de integrarlas con un conocimiento elevado del sector en el que se empleará.

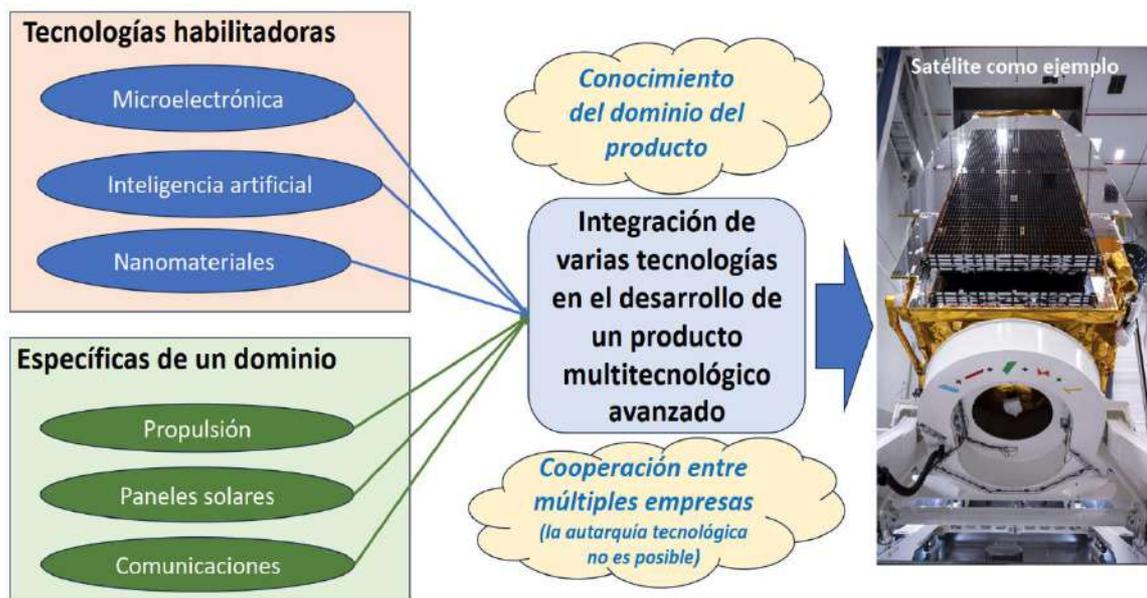


Figura 2. Productos multitecnológicos. Fuente: elaboración propia

En la figura 2 se representa cómo el diseño de un satélite (la foto de la derecha se corresponde con el satélite militar español *SpainSAT NG 1* lanzado el 30 de enero de 2025), requiere el empleo de varias tecnologías habilitadoras como son la microelectrónica, la inteligencia artificial o la nanotecnología, comunes para múltiples productos avanzados, y otras que, sin embargo, son específicas de un dominio concreto.

En el caso del sector espacial, pueden mencionarse como tecnologías específicas las de propulsión espacial, los paneles solares y baterías de almacenamiento para proporcionar energía al satélite, elemento clave para su autonomía, o las de comunicaciones espaciales de banda ancha necesarias para poder recibir y enviar información a estaciones de control situadas en la Tierra.

Es muy difícil que una única empresa pueda disponer de todos los conocimientos necesarios para desarrollar por sí sola un producto complejo, y hacerlo a tiempo y de forma competitiva. Generalmente, esa situación obliga a cooperar con otras empresas o centros públicos, ya sean del mismo país o de otros, para poder integrar todas las aportaciones en el producto final.

Una consecuencia de ello es que el nivel de «soberanía tecnológica» alcanzada que no dependa de terceros no suele superar un cierto porcentaje. En el caso del satélite español *SpainSat NG 1* mencionado se ha llegado a un muy estimable 40% de tecnologías aportadas por empresas españolas, lo que da idea del nivel alcanzado por la industria espacial española, pero también de la necesidad de cooperar con otros actores para hacer realidad sistemas complejos.

## Tecnologías duales

No todas las tecnologías pueden emplearse en cualquier dominio tecnológico y, especialmente, para su uso simultáneo en aplicaciones civiles y militares. Este caso se corresponde con las denominadas *tecnologías duales*. En la figura 3 puede verse la caracterización de las tecnologías desde la perspectiva de su dualidad en varios tipos.

En la elipse interior se representa un subconjunto de tecnologías empleadas en el ámbito militar para el desarrollo de armas. Suelen ser tecnologías difíciles de emplear en otros ámbitos; imaginemos el caso de un misil o de una bomba nuclear para los que no existen mercados civiles. Pero no todos los productos tecnológicos militares son armas. En el subconjunto denominado «equipamiento militar» pueden encontrarse otros muchos productos necesarios para las operaciones militares como radares, sistemas de comunicaciones tácticas, drones de vigilancia, etc.

El tercer subconjunto amplía más el panorama para incluir un amplio conjunto de tecnologías que se denominan «duales». Con ello quiere decirse que su empleo puede abarcar el desarrollo de sistemas tanto militares como civiles. Eso no quiere decir que las especificaciones sean similares; no lo serán. En muchos casos, estos

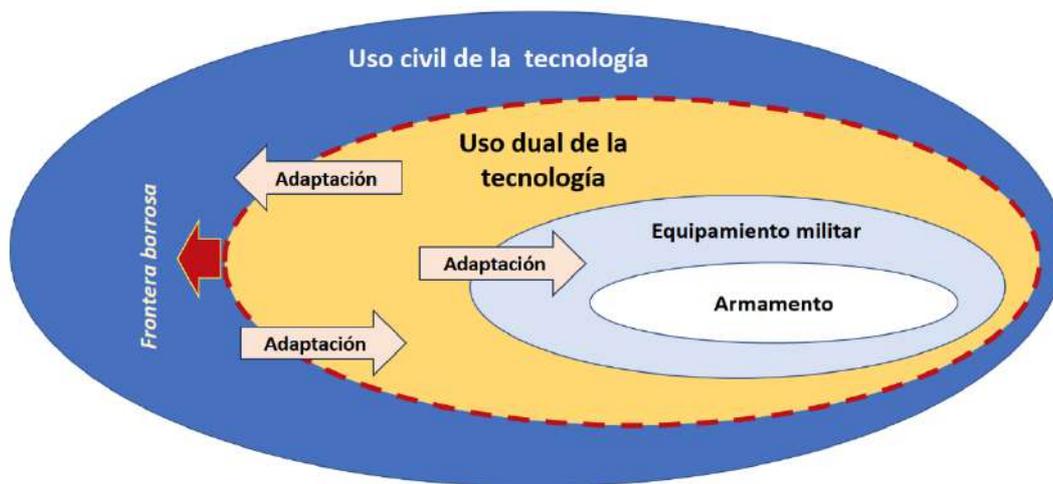


Figura 3. Tipificación de las tecnologías duales. Fuente: elaboración propia

sistemas se han desarrollado para cubrir necesidades militares específicas, aunque, posteriormente, se han empleado en aplicaciones civiles.

El caso del sistema de navegación satelital GPS es uno de estos casos: surge para aplicaciones militares y, posteriormente, se usa en el ámbito civil. En este mismo tipo de tecnología, tenemos el sistema Galileo desarrollado por la Unión Europea, cuya concepción fue predominantemente civil, aunque con una señal gubernamental protegida; puede considerarse, por tanto, dual.

La figura 3 sugiere, asimismo, que sería posible adaptar un producto de carácter dual, diseñado inicialmente por una empresa para el mercado civil con el fin de adaptarlo al mercado militar. Aunque sus tecnologías habilitadoras sean comunes, y las específicas puedan ser también similares, no podrán emplearse directamente.

Los procesos de adaptación del mercado civil al militar no tienen por qué ser sencillos. Como se indica en la figura 4, va a requerir un proceso diferenciado con el fin de amoldarse a requisitos específicos o cumplir con estándares militares más exigentes. También es posible considerar (véase el esquema de la derecha de la figura 4) un modelo de desarrollo integrado, en el que la separación para cubrir diferentes mercados se retrasa en lo posible.

Como ejemplo de esos procesos, un sistema basado en circuitos integrados empleado en el mercado civil puede tener una funcionalidad similar a la requerida en un mercado militar, imagínese un computador, pero algunas de sus especificaciones son diferentes, como las siguientes:

- Deben ser resistentes a la radiación ionizante.

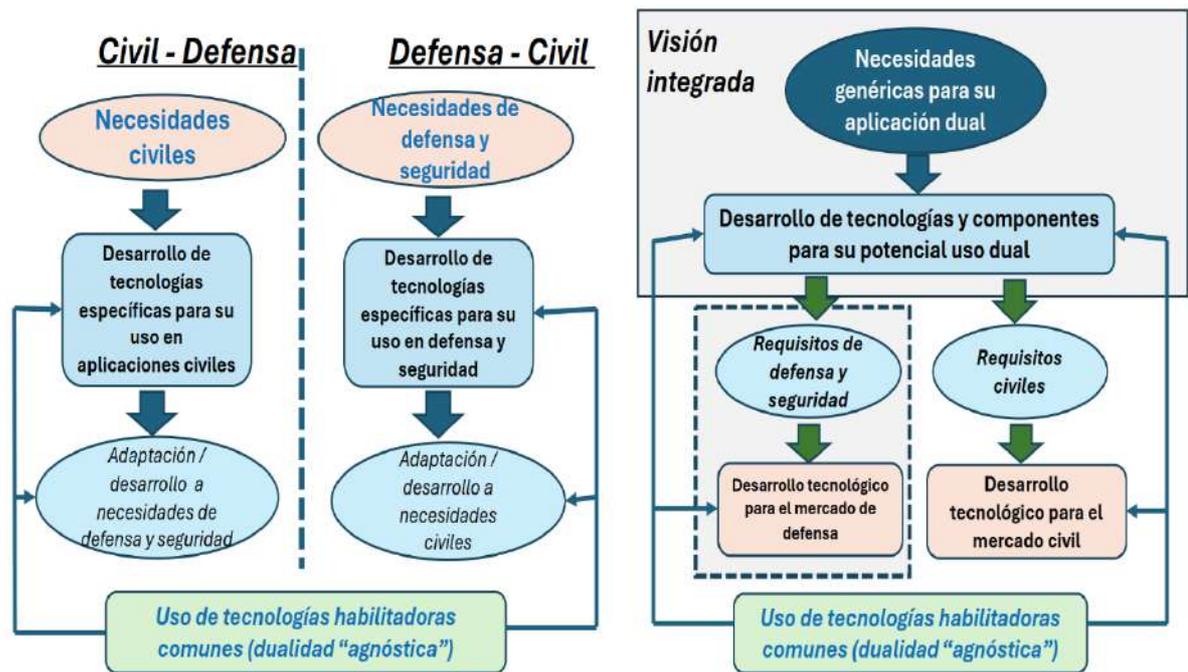


Figura 4. Modelos de adaptación a mercados civiles y militares, Fuente: elaboración propia

- Deben funcionar de forma fiable en una amplia gama de temperaturas.
- Requieren materiales de alta calidad y estrictos controles de calidad dado que suelen tener una larga vida útil en condiciones exigentes.
- Deben ser inmunes a las interferencias electromagnéticas.
- Deben soportar funciones críticas para la seguridad y estar protegidos contra ciberataques.
- Deben ser resistentes a los golpes para satisfacer las demandas del combate y las condiciones de transporte.

Todo ello, obliga a que el sistema deba satisfacer un conjunto de estándares militares (como son los denominados STANAG en el caso de la OTAN) que no son necesarios para poder comercializar el producto en el mercado civil.

Además, un concepto clave para poder competir como es el coste individual del dispositivo o sistema comercializado, factor crítico para su penetración competitiva en el mercado civil, puede tener menos relevancia en el mercado militar porque las series de producción son cortas y emergen otros factores como la urgencia, las alianzas entre países o la necesidad de asegurar la interoperabilidad.

Un elemento adicional para caracterizar los desarrollos de tecnologías duales en la actualidad es que las tecnologías habilitadoras se están desarrollando,

fundamentalmente, con el impulso de las enormes inversiones, competencia entre empresas, y volumen de los mercados civiles. Es sobre esa base sobre la que se adaptan a los mercados militares en una fase posterior.

Así sucede en el caso de la microelectrónica con el desarrollo de procesadores, chips de memoria o sensores, y, en gran medida, en el de la inteligencia artificial, incluidos los grandes modelos de lenguaje o aplicaciones basadas en ellos como es *ChatGPT*. Este hecho también se encuentra en otras tecnologías de doble uso como la neurotecnología, utilizada ya experimentalmente para mejorar las prestaciones del personal militar, la biología sintética, o las empleadas en sistemas energéticos renovables (baterías, paneles solares, etc.), o en vehículos autónomos integrando robótica inteligente.

### Sinergia civil-militar y madurez tecnológica

El desarrollo de una tecnología puede necesitar años para que un avance científico desemboque en una tecnología desarrollada, y ésta en una innovación en el mercado que, además, tenga éxito y penetre en el conjunto de usuarios potenciales. En muchos casos, la tecnología no alcanza el mercado final puesto que, en el camino de su madurez, se encuentra con dificultades para cumplir las expectativas previstas: problemas técnicos no resueltos, dificultades en su escalado industrial para pasar el laboratorio a la fábrica, ineficiencia económica, obsolescencia prematura por el desarrollo de otra tecnología competidora con mejores prestaciones, etc.

En este contexto pueden establecerse diversos niveles de madurez de la tecnología. Procedente de su empleo en la NASA el siglo pasado y ahora ampliamente utilizada en múltiples contextos como el de la UE, se suele emplear una escala en nueve niveles denominados «Niveles de disponibilidad tecnológica» (*Technology Readiness Level, TRL*), desde la formulación de un nuevo concepto tecnológico hasta llegar a un producto plenamente comercializado en un mercado final concreto. En la figura 5 se representan esquemáticamente estos niveles (eje horizontal) y el nivel posible de sinergia civil-defensa que puede alcanzarse en su maduración (eje vertical).

Como se indica en esta figura, los primeros niveles de madurez pueden ser «neutrales» frente al mercado final en el que se podría emplear la tecnología una vez madura. En la figura se ha considerado que estos tres primeros niveles de madurez tecnológica (TRL 1 a TRL 3) hasta llegar a la «prueba de concepto», en los que la neutralidad tecnológica de uso es muy habitual, suelen estar apoyados por programas de investigación de carácter público. Los últimos dos niveles (TRL 8 y TRL 9) están directamente ligados a los mercados finales, ya sean civiles o militares.

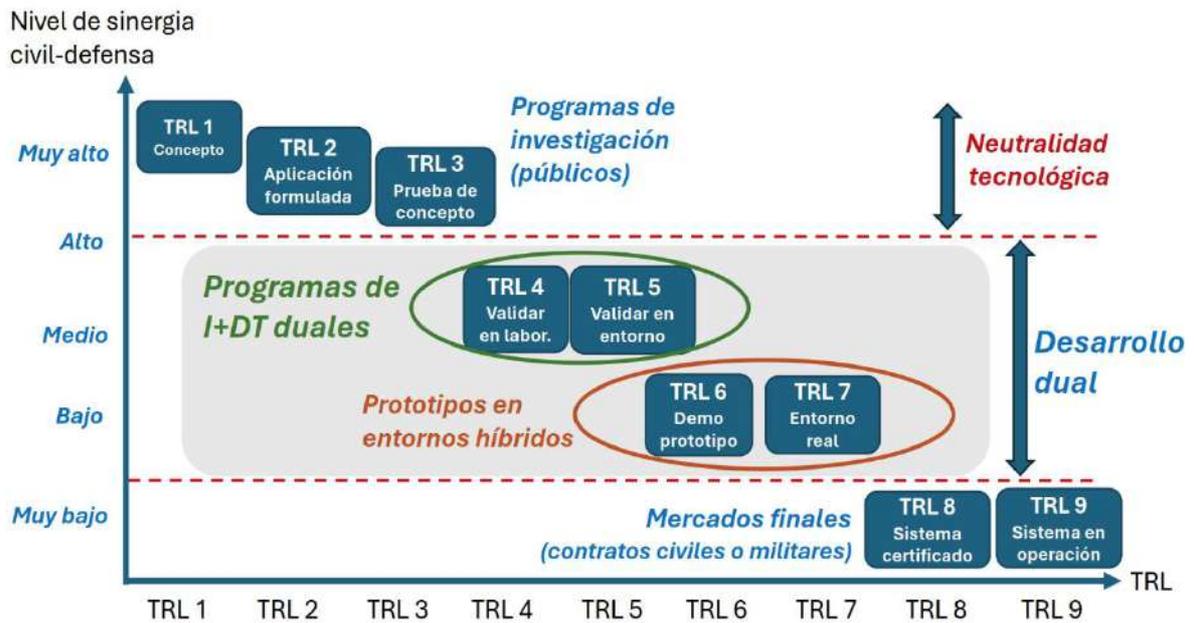


Figura 5. Nivel de sinergia civil-militar en función del TRL. Fuente: elaboración propia

Es en los niveles intermedios (de TRL 4 a TRL 7) en los que cobra todo el sentido el desarrollo dual de una tecnología. En algunos casos, la maduración en estos niveles se apoya mediante programas duales de desarrollo tecnológico orientados a la generación de prototipos validados en entornos controlados (fundamentalmente en niveles TRL 4 y TRL 5) en los que las administraciones públicas también apoyan, y en su demostración en entornos reales (niveles TRL 6 y TRL 7) en los que la dualidad empieza a perderse y toman protagonismo el sector empresarial y los clientes finales, sin olvidar el uso de instrumentos de las administraciones como la compra pública innovadora.

La experiencia acumulada ha demostrado que el tiempo necesario para que una tecnología llegue a los mercados militares es mayor que el necesario para alcanzar los mercados civiles. Es obvio que, en parte, depende de la necesidad de cubrir requisitos más exigentes como los indicados anteriormente; pero es también consecuencia de procedimientos de contratación mucho más dilatados y de un nivel menor de asunción de riesgos.

Son problemas cuya relevancia crece en el caso de conflictos militares de alta intensidad en los que la necesidad obliga a buscar fórmulas mucho más ágiles y asumir riesgos mayores, como se ha demostrado en las dos guerras mundiales del siglo pasado, y se constata de nuevo en los tres años transcurridos de la guerra de Ucrania con el uso (experimental inicialmente) de drones semiautónomos y enjambre de drones.

Esta situación se evidencia en los procesos de digitalización de las Fuerzas Armadas que, en el caso del uso de sistemas en la nube, de redes de internet de las cosas, o del uso de la inteligencia artificial generativa, puede existir un desfase temporal de varios años para alcanzar el mismo nivel de penetración. Contribuye a ello la existencia de procesos de contratación administrativa muy dilatados, con implicación de un número elevado de actores, con requisitos difíciles de conciliar, la adjudicación a grandes empresas del sector industrial de la defensa que, a su vez, tienen que gestionar consorcios complejos, y con retrasos en la implementación y adopción.

Desde las Fuerzas Armadas de todos los países avanzados se han buscado formas de acelerar ese proceso mediante programas e instrumentos que permitan acercar a *startups* de base tecnológica, con productos disruptivos en el ámbito civil pero que podrían tener una utilidad militar, a participar en las licitaciones de contratos militares.

Es un problema general en todos los países avanzados; incluso Estados Unidos, que ya dispone de una agencia de proyectos avanzados en defensa como DARPA, decidió crear una unidad ágil de innovación en defensa (DIU). En el marco de la OTAN también el mismo objetivo se persigue con el lanzamiento de la iniciativa DIANA (*Defence Innovation Accelerator for the North Atlantic*) en la que, expresamente, se pretende abordar el problema del escalado de nuevas empresas en algunas áreas tecnológicas prioritarias ofreciendo el uso de una red de centros de prueba que reduzcan las barreras de experimentación y el concurso de aceleradoras especializadas.

## Tecnologías duales y autonomía estratégica de la UE

En los últimos años la Unión Europea ha adoptado como un objetivo a largo plazo mejorar su autonomía estratégica, entendida, de acuerdo con la definición del Servicio de estudios del Parlamento Europeo, como la «Capacidad de actuar de forma autónoma, de confiar en los propios recursos en ámbitos estratégicos clave y de cooperar con los socios cuando sea necesario».

Desde mi punto de vista, disponer de autonomía estratégica depende de varios factores económicos y políticos; pero, entre ellos, adquiere una relevancia creciente el de lograr un adecuado nivel de soberanía tecnológica que actúa como condición habilitadora, tal y como se indica en la figura 6. Su implementación influye en el diseño de políticas nacionales, fijando prioridades y definiendo las capacidades nacionales necesarias, y en las internacionales, fijando las alianzas más relevantes con otros actores para poder desarrollar sistemas complejos.

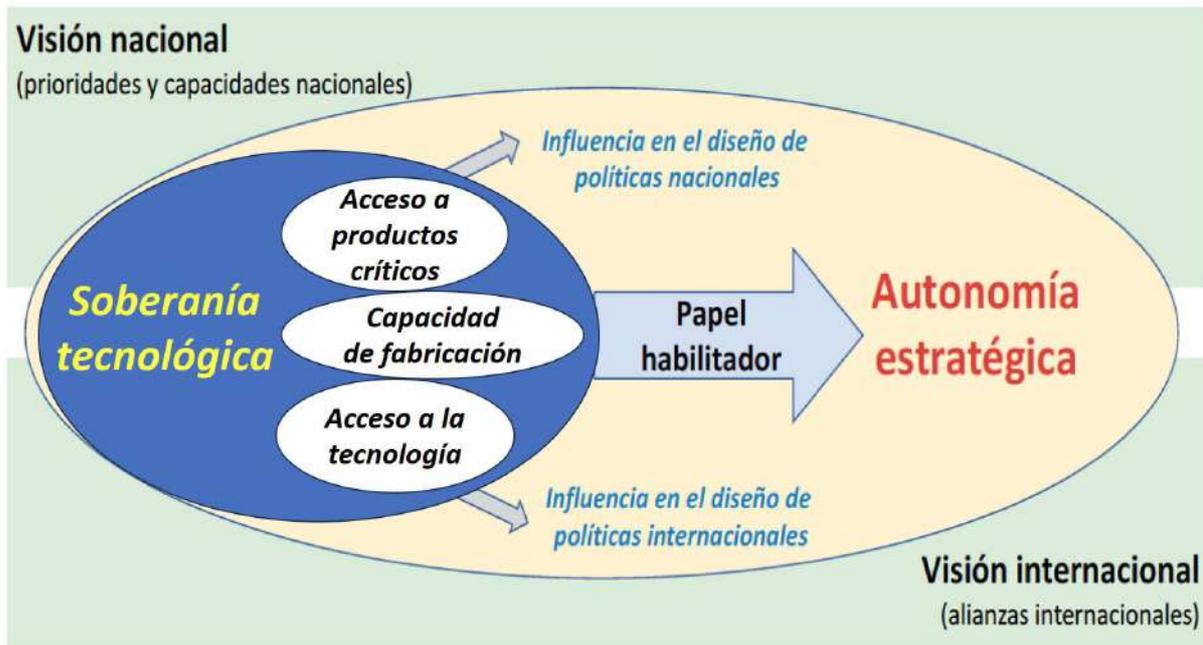


Figura 6. Relación entre autonomía estratégica y soberanía tecnológica. Fuente: elaboración propia

Lograr un nivel adecuado de soberanía tecnológica requiere también disponer de sistemas de fabricación avanzada competitivos, de poder acceder al conocimiento tecnológico con recursos humanos cualificados, y de asegurar el acceso a productos críticos en cadenas de suministros globales. No se trata únicamente de disponer de recursos económicos suficientes porque ese factor, sí bien permite adquirir productos y servicios tecnológicos, no asegura ningún control sobre los mismos, y conlleva a dependencias tecnológicas mayores en los procesos de operación y mantenimiento.

En el caso de las tecnologías para sistemas de defensa, esta necesidad es aún mayor puesto que la dependencia de proveedores externos en un mundo tan cambiante como el actual puede limitar aún más la procedencia de proveedores poco fiables que, en los mercados civiles habituales, no generarían problemas relevantes.

Cuando se consideran tecnologías duales, el planteamiento de la soberanía tecnológica es mixto porque también aquí afectan decisiones derivadas de consideraciones geopolíticas como demuestran las restricciones y sanciones cruzadas establecidas entre potencias en áreas como las importaciones y exportaciones de dispositivos semiconductores, de acceso a supercomputadores, inteligencia artificial o comunicaciones 5G por citar algunas de ellas e, incluso, de los materiales necesarios para su fabricación como ya ocurre con las tierras raras, el germanio, el galio y otros elementos sometidos a restricciones comerciales.

## Conclusiones

El panorama descrito en las secciones anteriores refleja un interés creciente en incrementar el uso de tecnologías duales en un contexto de incremento de los conflictos geopolíticos en los que todos los países asumen la necesidad de mejorar su seguridad colectiva. Y son conscientes de la relevancia que tiene la tecnología para ello.

Será necesario, asimismo, prestar atención al contexto ético y regulatorio en el que se desarrollen y utilicen tecnologías duales. No será sencillo porque llegar a amplios consensos a nivel internacional supone disponer de marcos comunes regulatorios que no existen. El enfoque ligado al principio de precaución de las administraciones es también necesario, sobre todo, en el caso de la convergencia entre tecnologías (por ejemplo, la biología sintética con la IA o ésta con las tecnologías cuánticas) cuya madurez es todavía reducida.

Centrando el análisis en Europa la evolución de los programas marco de investigación e innovación (las ideas iniciales del 10º Programa Marco comenzarán a discutirse en el segundo semestre de 2025), van a prestar una atención creciente al desarrollo de tecnologías duales y a los procesos de adaptación civil-militar y militar-civil de productos y servicios. Esa actividad se complementará con muy probables incrementos de los recursos del Fondo Europeo de Defensa, de la posibilidad de abordar actividades de defensa en la Agencia Europea del Espacio, y en facilitar el uso del Banco Europeo de Inversiones para estas actividades. A ello se une la necesidad de incrementar los recursos de capital riesgo en tecnologías duales que permitan acelerar el crecimiento de nuevas empresas.

El presente año permitirá conocer mejor cómo evolucionan estos programas y como la UE es capaz de mejorar su soberanía tecnológica en un momento en el que la aceleración del desarrollo tecnológico dual es mucho mayor que en el pasado. ■

**Nota:** Las ideas y opiniones contenidas en este documento son de responsabilidad del autor, sin que reflejen, necesariamente, el pensamiento de la Academia de las Ciencias y las Artes Militares.

© Academia de las Ciencias y las Artes Militares - 2025