

# Tecnologías duales y economías de desbordamiento en defensa. Un análisis crítico

Por Carlos Martí. Consultor de Isdefe

## Resumen

Una de las características positivas habitualmente citadas en la industria de defensa son los efectos derivados (*spin-off*) o de desbordamiento (*spill over*) que puede generar en otros sectores de la economía, en términos de nuevos y mejores productos, tecnologías y procesos, lo que supone un beneficio adicional para la sociedad. Esta capacidad, sin embargo, es cuestionada por algunos académicos que consideran que en la práctica estos efectos ni son tan grandes ni tan relevantes. Este trabajo analiza críticamente esta cuestión examinando las diferentes economías que estos efectos generan, las circunstancias en las que surgen, los beneficios que aportan, así como el coste que conllevan. El documento evalúa su impacto real examinando algunos casos históricos ilustrativos, y analiza la diferente capacidad de EE.UU. y de Europa de generar estos efectos. Además, se examinan medidas de política industrial que pueden potenciar estos efectos. El estudio muestra que, aunque existen economías de desbordamiento relevantes, sus efectos no son decisivos sobre el crecimiento económico.

## Introducción

La industria de defensa es un sector importante para apoyar el crecimiento de la economía nacional en la medida que contribuye a proporcionar productos y servicios para las Fuerzas Armadas que son necesarios para garantizar la seguridad nacional. Esta percepción de seguridad es esencial para crear un contexto en el que este crecimiento sea posible. Pero al margen de esta contribución, otro aspecto positivo de esta industria, comúnmente citado, es su capacidad de generar, de forma no intencionada, productos, procesos y tecnologías aplicables en otros sectores no relacionados directamente con la defensa. Esto quiere decir que la actividad industrial de defensa genera unos efectos beneficiosos que desbordan el propio marco de la defensa para propagarse al resto de la economía. El hecho de que la superioridad militar implica en Occidente una superioridad tecnológica (Parker, 1988) hace que esta industria esté muy orientada a la obtención productos y servicios con unas prestaciones y una calidad superior<sup>1</sup>, lo que se traduce en un importante esfuerzo en las actividades de investigación, desarrollo e innovación. El resultado es un entorno rico en nuevos productos, procesos y tecnologías que pueden ser aplicables en áreas situadas más allá de la defensa. La difusión del conocimiento generado en las inversiones en defensa puede traer consigo una reducción de los costes de investigación, desarrollo y producción de la industria en otros sectores de la economía, lo que puede estimular que las empresas inviertan sus propios recursos I+D y contribuir así a un aumento del capital en I+D de la industria (Nadiri, 1993). Este conocimiento puede facilitar una mayor producción y favorecer de esta forma una caída del precio del producto (Nadiri, 1993).

---

<sup>1</sup> Los ejércitos de Occidente se caracterizan por ser intensivos en bienes de capital, lo que está no solo motivado por alcanzar una mayor eficiencia en el campo de operaciones, sino por reducir un factor especialmente costoso como es el capital humano.

Esta virtuosa característica sería un argumento más para potenciar esta industria ya que sus beneficios van más allá de defender los intereses nacionales de seguridad al generar economías que benefician a la sociedad en su conjunto. Sin embargo, un análisis inicial de la literatura sobre este tema muestra una falta de unanimidad sobre la generalidad de estos potenciales beneficios. Así, por ejemplo, autores como DeGrasse (1983), Melman (1985) y Markusen & Yudken (1992) consideran que el desplazamiento del gasto civil en recursos tecnológicos e industriales por el gasto militar está en el origen de la pérdida de competitividad mundial de la industria manufacturera norteamericana, causada por el espectacular crecimiento de Alemania y Japón, economías caracterizadas por un bajo gasto militar y unas actividades de investigación, desarrollo e innovación orientadas mayoritariamente hacia actividades civiles. Esta pérdida de posición se haría evidente en determinados sectores productivos como la electrónica de consumo o las máquinas herramienta (DeGrasse, 1983).

Por lo tanto, parece necesario un análisis más matizado de esta cuestión para examinar cuándo y en qué circunstancias se generan estas economías y en qué medida estos beneficios superan los costes y esfuerzos que exige su materialización. El análisis se ha organizado de la siguiente forma. En primer lugar examinamos el carácter dual de las tecnologías militares. En segundo lugar estudiamos los diversos mecanismos por los que estas tecnologías se pueden difundir en otros sectores de la economía. En tercer lugar, evaluamos los costes asociados a estas tecnologías. En cuarto lugar, examinamos algunos casos históricos relevantes. En quinto lugar, exploramos las diferencias existentes entre EE.UU. y la UE. Posteriormente evaluaremos algunas políticas que pueden favorecer estas economías y, por último, extraemos unas conclusiones finales. Como anexo se examina la industria española, identificando aquellos casos en los que hay constancia de la materialización estas economías.

### **Productos duales**

Una cuestión clave de este análisis es evaluar hasta qué punto los productos, las tecnologías o los procesos desarrollados o usados por la industria de defensa exhiben características y propiedades que los hacen atractivos para su uso en el resto de la economía, característica que en el lenguaje común recibe el nombre de “dualidad”. Productos, tecnologías o procesos duales serían aquellos que exhiben, además de utilidad militar, utilidad en otras actividades no relacionadas con la defensa. Éste sería el caso, por ejemplo, de una cámara térmica que, además de permitir observar al adversario en la noche, sirve para detectar un posible incendio en el bosque; o el de un receptor GPS que puede guiar a una unidad militar en el desierto, pero que también puede orientar al conductor que desea ir a una determinada dirección en la ciudad.

Aunque en principio muchas tecnologías de defensa muestran un carácter dual, la naturaleza finalista (orientada a misión) de las actividades de investigación, desarrollo e innovación por la que los productos y servicios tienen que satisfacer unas prestaciones y características específicas hace que su dualidad sea en la práctica menor, al imponer, estas prestaciones, restricciones que disminuyen el atractivo que pueden tener en otras áreas cuyas necesidades divergen de manera substancial. Garantizar la dualidad supone, por lo tanto, en muchos casos, un coste o un esfuerzo adicional en el diseño, desarrollo y producción en la medida que los

requisitos sobre el producto o servicio difieren y deben de satisfacerse simultáneamente. Y cuando las necesidades civiles y militares divergen profundamente se hace materialmente imposible alcanzar esta dualidad. Casos en los que las necesidades han convergido son, por ejemplo, algunos aviones de transporte que han sido concebidos desde el inicio tanto para actividades civiles como militares, o ciertos procesos de producción de componentes del motor de un vehículo. Cuando el producto, proceso o tecnología guarda características comunes, todavía es preciso realizar un conjunto de adaptaciones para que el producto sea verdaderamente útil al otro cliente, lo que puede incluir añadir nuevas prestaciones, modificar otras, o suprimir aquellas que son irrelevantes y reducen el coste de manera importante. Estas adaptaciones se pueden dar dentro de una firma, entre sus diferentes divisiones, o se pueden dar entre firmas. Pero, en cualquier caso, deben ir acompañadas de un proceso de transferencia de tecnología no exento de dificultades, riesgos y costes (Molas, 1997), pues hay que verificar que la tecnología funciona en el nuevo contexto y, en caso contrario, hacer los cambios que se requieran. Esto precisa de una organización o una red social capaz de transferir con éxito la tecnología entre ambos sectores (Cowan y Foray, 1995), cuestión sobre la que volveremos más adelante.

Las diferentes características de los mercados civiles y militares también tienden a limitar esta dualidad. En primer lugar, los procedimientos, los reglamentos y la cultura son distintos. Así, por ejemplo, las normas sobre contabilidad de costes son muy estrictas en el ámbito de defensa para evitar abusos y fraudes en un mercado de marcado carácter monopolista. En segundo lugar, las especificaciones y estándares militares, como hemos comentado, hacen menos atractivo el producto, en particular cuando su cumplimiento supone un encarecimiento importante del precio. No es infrecuente que, a pesar de que un producto es funcionalmente equivalente a uno civil, se exijan requisitos adicionales motivados por el ámbito de las operaciones militares como la operación bajo condiciones meteorológicas extremas o requisitos estrictos de portabilidad y transportabilidad. En tercer lugar, los productos y las tecnologías militares son únicos al estar orientados a atender necesidades específicas de la función de defensa que son poco comunes en el campo civil, como por ejemplo los bombarderos estratégicos, los aviones de combate, los submarinos, los carros de combate, los misiles tácticos, los equipos de guerra electrónica, o las tecnologías relacionadas con la furtividad. En estos casos, la dualidad sólo es posible en las tecnologías relacionadas con subsistemas y componentes, al tener éstos un carácter más genérico y ser potencialmente aplicables para resolver otras necesidades. En cuarto lugar, el volumen de compras de defensa puede no ser atractivo a las empresas civiles, lo que limita los efectos de desbordamiento del campo civil al militar. En quinto lugar, hay que observar que las prestaciones en el ámbito militar suelen tener prioridad sobre el coste del producto (Rosenberg, 1982; Alic et al., 1992). Esto hace que muchos productos, procesos y tecnologías militares resulten poco atractivos en el campo civil, pues la capacidad de compra de estos clientes es comparativamente menor por lo que son más sensibles al precio. Es decir, están dispuestos a tener un producto que, aunque no esté en la frontera del estado del arte y de la tecnología, tenga un precio menor. En sexto lugar, los productos militares están enfocados al largo plazo, con el objeto de asegurar el liderazgo en capacidades militares, mientras que los productos civiles tienden a buscar el beneficio más en el corto plazo. Esto hace que las actividades de I+D+i tiendan a ser muy distintas, largos ciclos e innovaciones más radicales; en el primer caso, mientras que en el

segundo, ciclos más cortos e innovaciones más incrementales orientadas fundamentalmente a mejorar la productividad y aumentar la calidad. Por último, el grado de confidencialidad de la información para que no caiga en manos de potenciales adversarios es otro importante factor de limitación, ya que limita su difusión en el resto de la economía, como por ejemplo limitaciones en el uso civil o limitaciones a la exportación como fue el caso de las tecnologías VHSIC (Stowsky, 1991).

Todos estos factores tienden a separar las industrias civiles y militares, e incluso dentro de las empresas que operan en ambos sectores, a que sus divisiones se segreguen y se aislen de forma natural, lo que tiende a reducir el intercambio de información y la generación de subculturas que frenan la creación de estos efectos. En resumen, los retornos sociales de la actividad de I+D (con frecuencia apoyada por los gobiernos) que provocan efectos de desbordamiento pueden estar limitados por la propia naturaleza de la actividad civil y militar.

### **¿Cómo se generan las economías de desbordamiento?**

Las economías de desbordamiento aparecen de forma natural cuando un sector industrial es más avanzado que otros en determinadas áreas tecnológicas y es capaz de generar productos sofisticados con prestaciones superiores, gracias a que ha acumulado un conocimiento superior. Este marco se dio con claridad durante la Guerra Fría, debido al elevado gasto que las prioridades de la defensa nacional marcaban sobre el conjunto de economía. Esta abundancia de medios facilitaría una importante autonomía de las actividades de I+D de tipo militar con respecto a las civiles. Estos efectos de desbordamiento se materializarían en el Reino Unido, en Estados Unidos y en la Unión Soviética, sobre todo en el último periodo de la II Guerra Mundial y en las dos primeras décadas de la Guerra Fría (Perani, 1997). Sin embargo, como veremos, esta situación no se daría tanto en el siglo XIX, o tras el final de la Guerra Fría, cuando lo que se observa es una industria de defensa que, al no liderar determinadas áreas tecnológicas, tiende a aprovechar los avances alcanzados de otros sectores de la economía.

Las formas más habituales de producir estos efectos de desbordamiento son: (1) Transferencia directa a aplicaciones comerciales de un equipo o componente específico en el mercado civil que, a su vez, puede alcanzar efectos de segundo orden cuando el producto civil transferido se sigue propagando en el resto de la economía. Un ejemplo de transferencia directa serían los motores y estructuras de los reactores, los semiconductores y los ordenadores. Estas tecnologías eran aplicables casi directamente al sector civil. (2) Efectos informativos de la investigación básica y aplicada, es decir, resultados importantes que sirven para desarrollar nuevos productos o procesos civiles a partir de la investigación realizada en defensa. Estos efectos son más importantes cuando más se invierte en investigación básica, por lo que, dado el carácter fundamentalmente de desarrollo orientado a sistemas específicos de armas, estos efectos no suelen ser comparativamente tan altos (Mowery, 2010:1231). Es decir, el efecto más importante es aumentar la infraestructura de conocimiento. (3) Efectos organizativos que incrementan la eficiencia de los procesos de diseño y producción de equipos como por ejemplo una mejor gestión de la calidad. Respecto a este punto muchos economistas argumentan que existe una especie de efecto negativo, por el cual los científicos e ingenieros aprenden hábitos inapropiados para el mercado civil, que está caracterizado por la competencia, al trabajar en proyectos militares, y es un argumento más por el que las

empresas suelen separar sus unidades que trabajan en mercados tan distintos (Cowan y Foray, 1995).

La investigación militar, sin embargo, puede desempeñar un gran valor en la fase de gestación de un nuevo producto o tecnología, según Cowan y Foray (1995). Esto es así porque su gestación se produce en dos fases. En la primera, se prueba y se experimenta con muchas variantes, mientras que, en una segunda, sólo una o quizás un pequeño número de variedades es seleccionado convirtiéndose en un diseño dominante o un estándar en el mercado. Esta selección puede realizarse a través del mecanismo de mercado, o bien mediante un agente poderoso que es el que decide que una determinada variante deba ser el estándar. Se trata pues de un aprendizaje extensivo, o aprendizaje de la diversidad, que requiere la experimentación con una gran variedad de opciones y que, a través de los resultados, conduce a la eliminación de ciertas líneas de desarrollo.

En la fase inicial del ciclo tecnológico, la ignorancia puede ser extrema, y ambos usuarios, civiles y militares, ignoran las mismas cosas. Con el objeto de que la tecnología sea útil en cada sector, ambas partes tienen interés en adquirir información sobre la tecnología. Si hay muchos elementos de la tecnología que son de interés para ambos sectores, mucho de lo que se aprende en cada sector es directamente aplicable al otro. Por la misma razón, generalmente el aprendizaje más importante se produce sobre principios básicos, o lo que podría ser considerado información genérica sobre la tecnología. Por lo tanto, muchas cosas específicamente aprendidas por la I+D militar son de valor directo en el sector civil. Esta I+D tiene valor al proporcionar información clave sobre los principios básicos de la tecnología. Conforme se desarrolla la tecnología, sin embargo, los intereses civiles y militares suelen divergir conforme los usos en cada dominio se hacen más y más especializados. En estos casos las características comunes se desplazan desde el nivel de sistema al nivel de componente. En la segunda fase de estandarización, al focalizar el campo civil y militar en cuestiones diferentes, la I+D militar contribuye poco a esta infraestructura de información (Cowan y Foray, 1995).

La I+D militar tiene, pues, el potencial de desempeñar un importante papel en alentar la experimentación y la diversidad en la acumulación de conocimiento sobre una tecnología emergente. Para que la diversidad de aproximaciones en los estadios iniciales de una tecnología tenga valor en futuros desarrollos, la información y el conocimiento generados por los diferentes experimentos deben ser relativamente públicos. Pero si la información es pública hay un incentivo para no invertir en la adquisición de este conocimiento, al no poderse apropiar el investigador de todos los potenciales beneficios. Por lo tanto, el valor social de la experimentación es mayor que el valor privado, y los mercados proporcionarán una menor cantidad de la deseable socialmente (Tirole, 1988). En este sentido, las necesidades militares tienen la ventaja de que pueden presionar para investigar, creando de esta forma diversidad. La publicación de los resultados obtenidos, en el ámbito militar, puede ser una forma de apoyar la investigación en otros sectores de la economía (Cowan y Foray, 1995).

Una diferencia importante que hay que resaltar es que en el campo civil la variedad que proporciona el mayor beneficio neto esperado es la que se suele seleccionar. Esto difiere en el campo militar, en el que las variedades analizadas primero son las que parecen técnicamente

superiores al resto. Por lo tanto, los campos civiles y militares exploran áreas diferentes en el espacio tecnológico. Un ejemplo sería el programa espacial, en el que los materiales compuestos tenían importantes restricciones sobre el peso y resistencia al calor. Los costes de producción de los productos de esta investigación eran muy altos, por lo que sus aplicaciones civiles eran pocas. Conforme el nivel de producción aumentó, los costes cayeron, gracias a las economías de uso y aprendizaje, por lo que emergió la utilización civil de estos materiales gracias a que eran más baratos.

Los efectos de la investigación militar sobre la comunidad investigadora pueden ser importantes en la medida en que la investigación militar crea un entorno positivo para la investigación y la innovación en un área determinada, al hacerse cargo de las relevantes inversiones en capital físico y humano que son necesarias para su desarrollo. Las razones intelectuales (un nuevo campo de investigación) y prosaicas (dinero para equipar laboratorios) han demostrado ser un importante incentivo. Su resultado puede ser la formación de un núcleo de científicos, ingenieros, que acumulan una masa crítica de habilidades (principios generales, herramientas y técnicas de investigación) y medios para lograr el desarrollo de una tecnología (Cowan y Foray, 1995).

Otro aspecto en el que la investigación en defensa puede ser positiva es en el mantenimiento de la variedad tecnológica. Es bien sabido que cuando los usuarios tienen que elegir entre tecnologías en un entorno de incertidumbre el mercado suministrará por debajo de lo deseable. En estos casos, cuando existe una competición tecnológica importante, una política apropiada de los gobiernos es retrasar la estandarización e impedir que el mercado se cierre demasiado pronto sobre una tecnología. Los programas militares pueden mitigar este efecto de dos formas. Primero: al hacer muchos experimentos a la vez, los militares pueden adelantar la normalización en términos de calendario, pero retardarla en términos del número de experimentos realizados. En segundo lugar: continuando con la experimentación después de la estandarización pueden proporcionar una salida a una situación de bloqueo sobre una tecnología inferior.

Por último, la investigación y el desarrollo en defensa pueden ser un eficaz subsidio a los usos civiles de la tecnología, al impulsar las tecnologías rápidamente a lo largo de sus curvas de aprendizaje, reduciendo el coste más tarde de su uso civil. Esto es debido a que los militares tienden a ser menos propensos a bloquearse en una tecnología por razones financieras. De esta forma existe más margen para elegir las tecnologías que más se ajustan a las necesidades del mercado, en vez de aquellas que son más rápidas de obtener y explotar.

### **La promoción de las economías de desbordamiento**

La búsqueda de aplicaciones civiles a las innovaciones de defensa es consustancial a su propia actividad por dos razones. Bien por el interés de los gobiernos, habitualmente pagadores de la I+D militar, deseosos de maximizar el rendimiento de sus inversiones; bien por el interés de las empresas interesadas en acceder a nuevos mercados y aumentar sus beneficios.

Aunque este debate aparecería de forma recurrente durante toda la Guerra Fría (como por ejemplo el uso pacífico de la energía nuclear) sería tras su final cuando surgiría de nuevo con fuerza, principalmente en EE.UU. En 1993, Jacques Gansler propondría la idea de una

Integración Civil y Militar de la industria civil. Clinton plantearía una estrategia de conversión en su informe *Technology for America's Economic Growth*, cuyo eje principal sería una industria más dual para afrontar la reconversión de un sector cuyo tamaño resultaba excesivo. En 1994 se publicarían nuevos documentos sobre la cuestión como *A new direction to build Economic Strength*; *Science in the National Interest*; *Dual Use Technology: A defence Strategy for Affordable, Leading Edge Technology*, y *Second to None: Preserving America's Military Advantage through Dual Use Technology*. Estas iniciativas se trasladarían a diversos programas como el *U.S. Cooperative Research and Development Agreements (CRADA)*, mediante los que los laboratorios gubernamentales pueden llegar a acuerdos con la industria para explotar algunas de las tecnologías desarrolladas en los mismos; el *Technology Reinvestment Project (TRP)*, un programa orientado a fomentar las actividades de I+D en tecnologías duales; el *Small Business Innovation Development Act (SBIR)*, o el *Small Business Technology Transfer Program Act (STTR)*.

Sin embargo, el nuevo enfoque tendría un éxito limitado, pues el Congreso de EE.UU. retiraría su apoyo al programa TRP a comienzos de 1996. No sería ajena a este hecho la presión de las propias Fuerzas Armadas al considerar que la potenciación de estas tecnologías suponía una limitación para alcanzar los objetivos de seguridad<sup>2</sup>. El resultado sería una reenfoque de la industria hacia objetivos puramente militares (Perani, 1997). Ruttan (2006:173) estima que en retrospectiva parece evidente que estas iniciativas fueron pobremente financiadas. La propia OTAN, en su informe elaborado en 1994, hacía hincapié en que los beneficios serían menores de lo inicialmente previsto y tardarían más años en materializarse.

Los ingleses mostrarían también interés en potenciar estas economías y en 1984 crearían *Defence Technologies Enterprise* para transferir tecnologías generadas en los organismos de investigación del Ministerio de Defensa (Molas, 1997). El éxito de esta empresa fue limitado y la empresa acabaría cerrando en 1990. En 1995 se lanzaría una nueva iniciativa (los *Dual Use Technology Centres*, o DUTC) con el mismo fin. Se crearon centros en las áreas de Supercomputación o Ingeniería de Software (Perani, 1997). La falta de informes sobre sus resultados hace pensar que no han sido especialmente elevados. En el resto de la Unión Europea no se darían, sin embargo, iniciativas en esta materia. Según Perani (1997), la DGA francesa no ha mostrado especial interés al considerar que la industria no tiene que desempeñar ningún papel específico en aumentar la competitividad tecnológica nacional. En cualquier caso, el apoyo de EE.UU. y Reino Unido surge más como una forma de reforzar la base tecnológica militar que para proporcionar un entorno aplicable al desarrollo de productos, tanto civiles como militares (Perani, 1997).

El fin de la Guerra Fría y la caída de los presupuestos de defensa traerían como consecuencia la pérdida del liderazgo del sector de la defensa en ciertas áreas tecnológicas e industriales, cuyo paradigma más importante sería el campo de la microelectrónica. Esto haría resurgir el fenómeno inverso conocido como *spin-on*<sup>3</sup>. La industria de defensa se haría más dependiente

---

<sup>2</sup> La estrategia dual tampoco sería muy popular entre la propia industria de defensa que temía el enfrentamiento con nuevos competidores (Flamm, 2005).

<sup>3</sup> Las economías de desbordamiento del sector civil al militar son superiores dado en general la amplitud del mercado civil respecto al militar. Un ejemplo sería el desarrollo de productos como la nitroglicerina o la dinamita desarrollados fundamentalmente para trabajos de minería.

de las tecnologías (y de las empresas) desarrolladas en el sector civil para obtener los productos y servicios que precisan las Fuerzas Armadas. Este cambio sería fruto de la demanda masiva de ciertos bienes, lo que ha permitido un amplio margen para realizar actividades de investigación, desarrollo e innovación tanto de productos como en procesos. Esto, en cualquier caso, ha favorecido a la industria de defensa al hacer posible obtener productos avanzados evitando una escalada en el precio final del producto.

### **Algunos ejemplos y casos de éxito**

Un breve análisis de las economías de desbordamiento en determinadas áreas tecnológicas resulta bastante ilustrativo y ayuda a comprender mejor las circunstancias en las que aparecen estas economías. Usaremos como referencia básica el trabajo de Ruttan (2006), que analiza seis cambios tecnológicos radicales con un importante impacto social.

Evidentemente, los casos en los que se han producido más economías son en aquellas tecnologías especialmente críticas en el sector de defensa como la física (incluida la nuclear), la ciencia de materiales, las telecomunicaciones, el campo aeroespacial, o las ciencias de la información. Otras áreas en las que las compras y la investigación militar han sido claves incluyen el láser, las radiocomunicaciones, el procesado de alimentos, las máquinas herramientas, la medicina y la industria química (*Ibid.*, 2006:7). Algunos hallazgos impulsados desde el campo militar incluyen los motores a reacción, el transistor, el radar, los materiales compuestos, el polietileno, los antibióticos, los ordenadores, la red internet o la telefonía móvil. La criptografía que durante años sólo tuvo aplicación militar, hoy en día, sin embargo, se ha convertido en una tecnología vital en el sistema financiero. La simulación inicialmente usada para entrenar pilotos tiene hoy en día amplio uso en la industria del entretenimiento. Ejemplos de innovaciones de proceso de origen militar sería los métodos de gestión de programas militares como la técnica PERT para reducir los plazos de desarrollo y ejecución de un programa identificando el camino crítico, o el desarrollo de procesos de control y mantenimiento, así como las técnicas de ensayo no destructivo fruto de la investigación en nuevos materiales (Cowan y Foray, 1995). El desarrollo de las tecnologías de fabricación flexible sería financiado también por la Fuerza Aérea Norteamericana para reducir los costes de la fabricación de su estructura (Stowsky, 1991; Cowan y Foray, 1995:864).

Existen múltiples ejemplos de economías de desbordamiento a lo largo de la historia. Por ejemplo, los cilindros de la máquina de vapor de Watt serían fabricados por el torno de John Wilkinson, un especialista en fabricar con precisión cañones mediante el barrenado de un bloque de hierro fundido. Otro ejemplo sería el desarrollo de nuevas aleaciones de acero como consecuencia de la carrera de armamentos entre Alemania y Reino Unido a principios del siglo XX (Freeman y Louça, 2002:236). La investigación, el desarrollo y las adquisiciones relacionadas con la defensa han sido una importante fuente de desarrollo tecnológico en un amplio conjunto de industrias que actualmente ocupan un destacado lugar en la producción nacional. La producción masiva que requirieron las dos Guerras Mundiales estimularía las innovaciones de proceso para reducir los factores de producción necesarios para obtener material militar (aviones, barcos, vehículos), en particular de la mano de obra y su sustitución por maquinaria, explotando los métodos inicialmente desarrollados en la industria de la automoción.

### *Piezas intercambiables y producción masiva*



Uno de los avances más importantes en la producción en el siglo XIX sería el montaje de productos complejos a partir de piezas individuales, uniformes e intercambiables. Este método se desarrollaría para fabricar armas en las armerías nacionales de Springfield, en Massachussets, y Harpers Ferry, en Virginia, y acabaría difundiéndose en toda la economía. Este sistema sería el precursor de los métodos de producción masiva que Ford desarrollaría entre los años 1908 y 1913<sup>4</sup>. La principal ventaja de este método es que la intercambiabilidad requería un operario menos hábil y, por lo tanto, simplificaba enormemente la producción, la reparación y el mantenimiento de las armas. También significaba que un ejército en el campo de operaciones no necesitaba estar acompañado de armeros para reparar o ajustar una nueva pieza. Esta tecnología se desarrollaría en la primera mitad del siglo XIX, y se difundiría posteriormente para fabricar cerrojos, relojes, máquinas de coser y otros productos de carpintería y de metal. El elevado coste de la mano de obra especializada, junto con una demanda estable y elevada, sería un aspecto esencial para promover su difusión.

### *Aviones militares y comerciales*

La demanda militar de la I Guerra Mundial potenciaría el crecimiento de la industria aeronáutica, pero, salvo el desarrollo del avión hecho completamente del metal (el Junkers J-1), cuyo diseño se difundiría en la mitad de la década de los 20 con el Ford Trimotor, la guerra no produciría desarrollos tecnológicos revolucionarios en la aviación. El avión DC-3, originalmente concebido para transporte comercial, supondría un cambio revolucionario y sería fabricado de forma masiva para atender las necesidades militares. Así, de las 10.926 unidades producidas, 10.123 tendrían destino militar y sólo 803 estarían destinadas a uso comercial al final de la II Guerra Mundial. Su desarrollo sería financiado por Douglas, aunque incorporaría tecnologías usadas en el campo militar, siendo lo realmente novedoso en ese avión el reunir por primera vez en su diseño un conjunto de tecnologías probadas separadamente como la cobertura NACA del motor, alerones situados en las alas, o el tren retráctil.

El apoyo militar al desarrollo del motor a reacción sería también esencial. Su uso en los bombarderos estratégicos (B-47) sería el paso previo al diseño del B-707, un avión originalmente concebido para reabastecer en vuelo al B-52, que, como avión de transporte comercial, tendría un gran éxito al poder volar a gran altura y una mayor velocidad, reduciendo así de forma significativa el coste por pasajero y milla. El B-707 se convertiría en el diseño estándar de avión comercial y garantizaría una posición dominante de Boeing en el mercado mundial hasta bien entrada la década de los 80. El éxito del B-747 surgiría también de la reutilización de los diseños para el concurso sobre un avión militar de transporte de gran dimensión que finalmente ganaría Lockheed con el modelo C-5A<sup>5</sup>. Las tecnologías relacionadas con la aviónica, como el control de combustible, la gestión de vuelo o las tecnologías de navegación, se han beneficiado de los efectos de desbordamiento de la I+D militar (Mowery, 2010). Hoy en día, sin embargo, la contribución de los aviones militares es menor, al haberse concentrado en tecnologías críticas de menor interés comercial como son la furtividad y la maniobrabilidad. En resumen, el desarrollo de la aviación hubiera sido más lento en ausencia

---

<sup>4</sup> El antecedente sería la producción de material ferroviario en la segunda mitad del siglo XIX.

<sup>5</sup> Este favor se lo devolvería la industria aeronáutica civil cuando el modelo DC-10 se transformaría en el avión nodriza KC-10. Airbus también desarrollaría el A-330 MRTT a partir de un modelo civil.

de los desarrollos tecnológicos para defensa y las compras de aviones militares<sup>6</sup>. El tamaño similar de los mercados aeronáuticos civiles y militares (Flamm, 2005) hace que este sector dependa para mantener su liderazgo de las compras militares.

### *Energía nuclear*

El proyecto Manhattan para fabricar la bomba atómica marcaría un hito en la movilización de recursos científicos para afrontar la investigación y el desarrollo orientados a una misión específica. Su objetivo no sería sólo encontrar un diseño de bomba realizable, sino crear además una infraestructura científica, técnica e industrial para su producción y prueba. Una idea de la magnitud del proyecto nos la da el hecho de que el complejo de fabricación creado para el mismo tuviera la misma dimensión que la industria del automóvil en aquella época, y que su coste, inicialmente estimado en 100 millones de dólares, se multiplicaría por 20. El nuevo campo que abrió el arma nuclear hizo pensar en el uso pacífico de esta energía, y el presidente Eisenhower, en su discurso “Átomos para la Paz” en 1953, comprometía a EE.UU. a desarrollar un programa civil de energía nuclear. Las expectativas de esta energía eran tan altas que algunos entusiastas llegaron a pensar que su coste sería tan bajo que no sería necesario tener contadores. La tecnología que estaba más fácilmente disponible era la de agua ligera presurizada, inicialmente desarrollada para la propulsión de submarinos y portaaviones (una elección que el tiempo demostraría ser excesivamente prematura al primar los aspectos de compacidad y ligereza sobre otros criterios más importantes como la eficiencia). Estos programas de investigación públicos fueron complementados por substanciales investigaciones privadas llevadas a cabo por firmas como Westinghouse, General Electric, Babcock and Wilcox, Siemens, AEG y Mitsubishi. Las mejoras en el diseño del reactor y la experiencia de construcción<sup>7</sup> atarían la industria a los reactores de agua ligera e uranio enriquecido, aunque algunos estudios de ingeniería sugieren que existen soluciones superiores. Hay que decir, en cualquier caso, que sin las instalaciones de enriquecimiento de uranio usadas para armas nucleares, los reactores comerciales no hubieran sido viables comercialmente hasta mediados de los años 70.

La energía nuclear, no obstante, ha tenido menos éxito del esperado. Uno de los principales problemas es que las economías de escala anticipadas y las reducciones de coste por economías de aprendizaje y uso no se han hecho realidad. Éstas han sido más que desplazadas por aumentos en la complejidad de los reactores, debido en parte a errores iniciales de diseño pero en gran medida a las crecientes medidas de seguridad. En muchos casos, los costes finales han excedido las estimaciones finales en un 100%; mientras que el rendimiento ha sido en el mejor de los casos tan bueno como el de una planta de combustible fósil (Mowery, 2010:1252). A mediados de los 70 parecía claro que el simple y relativamente barato reactor de agua ligera de finales de los 60 no era viable comercialmente, en parte debido a cuestiones de ingeniería y, en parte, a cuestiones de seguridad.

---

<sup>6</sup> Otros importantes apoyos del gobierno norteamericano para el desarrollo de la aviación comercial: sería los subsidios al correo aéreo, y el apoyo a la investigación y desarrollo a través de la creación de NACA.

<sup>7</sup> Y los subsidios federales a la industria eléctrica según Mowery (2010)-

La energía nuclear es quizá el caso más claro de una tecnología de propósito general que en ausencia del cliente militar habría tardado un largo tiempo en desarrollarse. Debido a su elevado coste, la investigación y desarrollo de reactores atómicos hubieran avanzado a un ritmo modesto. Y probablemente la industria sólo hubiera desarrollado algunos isótopos para uso médico e industrial basado en los trabajos exploratorios militares en estos campos.

#### *La industria de los ordenadores*

El desarrollo del ordenador estaría impulsado en las dos primeras décadas por laboratorios del gobierno o industrias privadas involucradas en la investigación militar y de defensa. Los primeros ordenadores se usarían para calcular tablas de tiro de artillería y para el descifrado de mensajes en clave. La capacidad de fabricar IBM un ordenador totalmente transistorizado estaría influida por la Guerra Fría y el desarrollo del sistema de defensa aérea, conocido como proyecto SAGE (Semi-Automatic Ground Environment). Este proyecto sería una de las más importantes experiencias de aprendizaje en la historia del ordenador. La industria de los computadores sería dependiente casi completamente de las industrias y agencias de defensa, energía, y espacio, hasta bien entrada la década de los 60. El primer ordenador basado en circuitos integrados, el PDP-8, aparecería en el mercado en 1965<sup>8</sup>. Estos desarrollos estarían ligados al desarrollo de la física de estado sólido y del transistor, en la que desempeñaría un papel fundamental las técnicas para obtener cristales de germanio y silicio de gran pureza<sup>9</sup>.

La supercomputación inicialmente impulsada desde el ámbito militar para el avance de las armas nucleares ha dejado paso a aplicaciones civiles como los ordenadores para el cálculo meteorológico, la geociencia o el estudio del genoma humano. La aportación en el campo del software no sería menor. Todavía a finales de los 80 el Departamento de Defensa seguía siendo el principal cliente en este mercado en los EE.UU, con unas compras superiores al 50% de la demanda (Mowery y Langlois, 1996). Las economías de desbordamiento se producirían fundamentalmente a la inversión en I+D más que a grandes compras. Los militares apoyarían la investigación básica e invertirían en el establecimiento de la nueva ciencia de computación, apoyando la formación en esta área (Mowery y Langlois, 1996). Los programas de I+D de defensa relacionados con el software soportarían importantes avances en el conocimiento fundamental sobre la arquitectura de ordenadores, software, lenguajes y diseño, que encontrarían aplicaciones tanto en el sector civil como militar de una industria emergente. En

---

<sup>8</sup> Este otro desarrollo clave de la microelectrónica estaba compuesto por un paquete formado por transistores, resistencias y condensadores. Su objeto era reducir el número de interconexiones de un circuito electrónico.

<sup>9</sup> Los laboratorios de Bell Telephone desempeñaron un papel esencial en los descubrimientos e invenciones críticas en semiconductores que serían fundamentales para el desarrollo de la electrónica y los ordenadores. Su actuación estuvo motivada fundamentalmente por las necesidades tecnológicas percibidas en los sistemas de telefonía y se realizaría usando fondos propios. Pero, una vez que su potencial fue demostrado, las fuerzas armadas rápidamente reconocieron la relevancia de esta tecnología para sus necesidades. Una parte significativa de la investigación gubernamental se dedicó al apoyo de avances en semiconductores y más importante tanto el DoD como la NASA, se identificaron a sí mismos como grandes compradores de transistores (Nelson y Wright, 1992). Las políticas de defensa de disponer de al menos una segunda fuente de suministro, y de conceder garantías en préstamos de construcción de nuevas plantas redujeron las barreras de entrada y la difusión de la innovación, mientras que las compras con una prima sobre el precio ayudarían a una rápida formación del mercado (Stowsky, 1991).

resumen, se podría decir que sin la financiación y el sentido de urgencia asociado con el esfuerzo en defensa, el desarrollo de los ordenadores en EE.UU. se hubiera retrasado al menos una década.

### *La creación de Internet*

La contribución militar al desarrollo de Internet sería también clave. Esta red se basaría en el desarrollo de la tecnología de intercambio de paquetes. La demostración de este concepto se realizaría en 1972 en la Conferencia Internacional de Comunicaciones entre Ordenadores. Pero todavía llevaría más de un cuarto de siglo resolver los problemas técnicos e institucionales necesarios para desatar todo su potencial. La creación del protocolo TCP/IP en 1974, como lenguaje común de intercambio de información, sería otro hito esencial para el desarrollo de esta red. Su desarrollo no fue patentado, lo que sería crucial para la victoria eventual de estándar abierto y sin propietario (Mowery, 2010). En 1983 se iniciaría la privatización de Internet con la separación de MILNET de ARPANET, proceso que estaría completo a mediados de los 90. Esto permitiría el desarrollo de los proveedores de servicios de Internet, y que sería esencial para el imparable crecimiento de esta red. En 1998 se crearía una agencia para administrar los nombres y direcciones usados en la red. Hay que decir que los requisitos militares de supervivencia (una red en la que el fallo de un nodo no supusiera su colapso), flexibilidad y altas prestaciones, dominaron sobre los objetivos comerciales de bajo coste, simplicidad y la atracción al consumidor en el diseño original de la red. La explosión definitiva de esta red vendría, sin embargo, del campo civil, cuando en 1994 se lanzó el navegador "Netscape" que permitía un fácil uso de la red, basado en trabajos pioneros del CERN.

### *La industria del espacio*

El desarrollo de misiles capaces de ubicar un satélite en el espacio también estaría fuertemente impulsado desde el campo militar a causa de la tensión existente durante la Guerra Fría entre EE.UU. y la Unión Soviética. El uso de misiles estratégicos armados con una cabeza nuclear sería uno de los mecanismos de disuasión más importantes de la Guerra Fría. Así mismo, el uso de satélites para observar desde el espacio a los adversarios potenciales (proyecto CORONA) impulsaría el desarrollo de esta nueva industria. El desarrollo de los proyectos de vigilancia del espacio sería el fundamento para muchos de los sistemas de información geográfica actuales. La disponibilidad de lanzadores espaciales permitió el desarrollo de satélites de comunicaciones, usados hoy en día por los canales internacionales de televisión. Sin embargo, el desarrollo del cable de fibra óptica ha hecho que el previsible boom en la demanda de satélites de comunicación comerciales no se haya materializado. El desarrollo de los satélites de posicionamiento tendría como objetivo mejorar los sistemas de guiado de las armas de precisión y evitar la proliferación de costosos sistemas de navegación. Sin embargo, el desarrollo y la difusión de las tecnologías avanzadas de observación de la tierra han estado constreñidos por las consideraciones de seguridad nacional.

### **El coste de las economías de desbordamiento**

La actividad en defensa, como hemos visto, crea economías de desbordamiento al mejorar la productividad y la competitividad de la industria a través de diversos mecanismos, aunque su difusión está condicionada por el propio contexto de la actividad militar y la forma en la que se

realiza su investigación desarrollo e innovación. Pero alcanzar estas economías tiene un coste de oportunidad relevante que hay que considerar, en particular cuando se podrían obtener beneficios superiores al invertir en otras áreas económicas diferentes a la defensa. Una medida económica de estos costes es difícil, lo que no indica que estos no existan. Una descripción cualitativa puede ayudar a entender su relevancia.

En primer lugar, la actividad militar en I+D puede reducir los recursos y medios que la industria dedica a actividades civiles en I+D (Cowan y Foray, 1995). El razonamiento es el siguiente. En primer lugar, los militares y civiles emplean recursos similares como científicos e ingenieros, o equipos industriales relacionados con el diseño; en segundo lugar, el suministro de personal con esta cualificación al proceso de innovación es relativamente inelástico en el corto plazo<sup>10</sup>, por lo que un aumento de la demanda militar de estos recursos resultará en aumentos de salarios y precios de los insumos para las actividades de investigación, desarrollo e innovación; en tercer lugar, la elasticidad sobre el precio de la demanda de insumos para I+D es negativa, especialmente en el caso de la I+D privada, y como resultado, si el precio del I+D en ejecución crece, se patrocinará menos I+D. Por lo tanto, un incremento de la I+D militar puede afectar negativamente a la I+D civil<sup>11</sup>. Y, como consecuencia, si estos recursos y equipos son muy específicos para defensa y tienen poca dualidad, nos encontraríamos con un elevado coste social de la actividad militar, en particular si la rentabilidad de estos recursos humanos y materiales fuera superior en otros sectores<sup>12</sup>. Es decir, la financiación de la I+D en defensa puede generar una externalidad negativa. Según Dunne & Braddon (2008:43) parece que estos efectos negativos no superan el de los efectos de desbordamiento positivos en Reino Unido.

En segundo lugar, las inversiones en I+D en defensa pueden influir en los incentivos que tienen las empresas para invertir en innovación. Si las empresas son conscientes de que existen fondos para invertir, reducirán sus esfuerzos en investigar, sobre todo en proyectos inciertos con un riesgo alto. E incluso aquellas empresas que no logren recibir ayudas para la investigación se mantendrán a la espera de que el gobierno abra el mercado, al forzar a que se diseminen innovaciones que reducen costes o mejoran la calidad (David *et al.*, 2000).

En tercer lugar, la atracción de los mercados de defensa caracterizados por una escasa o nula competencia sobre aquellas industrias que podrían haber sido activos innovadores en los mercados civiles puede frenar las actividades de investigación y desarrollo en el campo civil (Mowery, 2010). Además, las empresas del sector acaban orientándose a obtener fondos del gobierno en unos mercados en los que la competencia es bastante limitada, lo que facilita que las empresas puedan tener poca consciencia sobre los costes, e incurrir en hábitos inadecuados para competir en otros mercados.

En cuarto lugar, la orientación de las actividades de I+D hacia misiones específicas usando tecnologías sofisticadas, de alto riesgo y, por lo tanto, caras puede resultar en un producto con una aplicación civil relativamente baja, mientras que su contribución al éxito de una operación

---

<sup>10</sup> Esto es especialmente cierto cuando el aumento es inesperado y relevante, y la economía no registra una tasa importante de para en técnicos y científicos.

<sup>11</sup> Los empresarios se han mostrado innovadores cuando han tenido la oportunidad de capturar las rentas económicas generadas por inversión pública complementaria en I+D.

<sup>12</sup> Según Lichtenberg (1984) el retorno promedio de las inversiones privadas y militares en I+D es 33,9% y 0,7% respectivamente.

militar puede no ser excesiva. Es decir, la utilidad social real puede ser bastante baja, a pesar de que el militar, adverso al riesgo, prefiera disponer de un producto más sofisticado aunque en verdad no sea esencial.

En quinto lugar, las adaptaciones de una tecnología inicialmente desarrollada para el mundo militar para su explotación exitosa en el campo civil tienen un coste importante debido a las adaptaciones que hay que realizar. Véase, por ejemplo, el caso del horno de microondas, cuya comercialización le llevaría casi veinte años a Raytheon (Alic *et al.*, 1992:58). Esta actividad es similar a la I+D y puede tener un coste elevado y un tiempo de maduración alto, hasta conformar la tecnología al nuevo entorno.

Por último, la I+D+i militar, aunque puede generar spin-off, también tiende a impulsar carreras armamentísticas que, en última instancia, reducen la utilidad militar de un desarrollo cuando un adversario potencial desarrolla una contramedida. Por lo tanto, el resultado en términos de bienestar social de las inversiones en defensa puede ser inferior al previsto originalmente.

### **Análisis empírico**

Como hemos podido ver, las inversiones militares en I+D han proporcionado apoyo inicial a nuevos sectores industriales, avanzando la introducción de industrias en años, e incluso en décadas. Algunos casos concretos que hemos analizado son: el transporte aéreo en masa, la electrónica y las comunicaciones, los satélites en el espacio o la energía nuclear. Menos importante ha sido su contribución en otras áreas como la industria naval, la automoción, o la biotecnología.

Algunos autores han intentado evaluar de forma empírica los efectos y el impacto económico de esta actividad. Desafortunadamente existen pocos trabajos en esta materia y los pocos llevados a cabo proporcionan pocas pruebas de un efecto positivo significativo de la investigación militar sobre la economía. Dunne & Braddon (2008), después de analizar diversos estudios empíricos, concluyen que el gasto militar tiene un impacto insignificante o negativo en las economías en desarrollo y un claro efecto negativo en las desarrolladas, donde se puede argumentar que el gasto militar tiende a reducir la inversión más que el consumo. Los autores concluyen, con cierta confianza, que la I+D militar no es un factor especialmente relevante para el crecimiento económico. En el mismo sentido se manifiesta Perani (1997) cuando afirma: *“Difícilmente se puede decir que la investigación militar y los efectos spin-off han desempeñado un papel crucial en el desarrollo económico de los EE.UU. tras la II Guerra Mundial”*.

Una explicación de este menor impacto la podríamos encontrar en que los efectos de desbordamiento son menos de los esperados, a pesar de las enormes inversiones de algunos programas militares, bien porque los resultados de la investigación y el desarrollo no han sido relevantes, bien porque su aplicación civil no ha fructificado. En este sentido se pueden presentar algunos ejemplos ilustrativos, como los aviones supersónicos, claves en el campo militar, pero que no han tenido el correspondiente éxito en el campo civil como demuestra el avión Concorde. El lenguaje Ada ha tenido una difusión civil muy escasa debido a que fue desarrollado para cumplir requisitos militares con escasas contrapartidas civiles (Mowery y

Langlois, 1996)<sup>13</sup>. El programa VHSIC, que no daría grandes frutos en el campo militar, tampoco generaría importantes efectos en un mercado civil de semiconductores dominado por productos y aplicaciones civiles que divergían de las necesidades militares (Stowsky, 1991). Las máquinas de control numérico serían impulsadas por la industria aeronáutica militar. Sin embargo, los requisitos militares sofisticados y su elevado coste alejarían estas máquinas de las necesidades del mercado civil para la producción de bienes de consumo y, en última instancia, serían sobrepasadas por la industria japonesa (*Ibid.*, 1991).

### **Diferencias entre los EE.UU. y la Unión Europea**

Las economías de desbordamiento se han materializado con mayor claridad en EE.UU. que en Europa. Esto hace pensar que posiblemente existan razones para pensar que Europa es menos eficiente en la generación de estas economías. Intentamos en este apartado identificar aquellas diferencias que pueden explicar esta asimetría.

La primera diferencia importante es el elevado gasto en I+D en defensa de EE.UU. con respecto a las naciones de la UE. En 2007, EE.UU. invertía el 80% de la I+D en defensa en el área de la OCDE, lo que venía a suponer seis veces la cantidad que dedican los 27 países de la UE a dicha actividad (Dunne & Braddon, 2008: 12). Esto significa que la probabilidad de generar efectos de desbordamiento de la industria estadounidense en relación con la europea es considerablemente superior y que, dada la escasa inversión de ciertas naciones en esta actividad, la probabilidad de generar un impacto económico positivo significativo es muy baja. Por otra parte, la reducida y fragmentada demanda europea de equipos militares en tiempos de paz hace que las innovaciones de procesos en programas de adquisición sean también bastante improbables.

La segunda diferencia importante es que la demanda militar y el dinero en los años 50 y 60 en las tecnologías de semiconductores y ordenadores estaba yendo hacia un sistema de I+D que estaba bien dotado, con científicos e ingenieros entrenados con una fuerte base universitaria y poblado por compañías técnicamente capaces (Nelson y Wright, 1992:1953). En este contexto, las economías de desbordamiento aparecen con mayor naturalidad que cuando se siembra sobre un sector con un débil tejido industrial.

La tercera diferencia son las cantidades que los estadounidenses dedican a la investigación básica y aplicada, unas inversiones que son prácticamente inexistentes en Europa: 0,3% del gasto de I+D en defensa en Francia, mientras que Reino Unido no admite realizar investigación básica (Mowery, 2010). Aunque la cantidad invertida en investigación básica es relativamente baja (en torno al 2% en 2009, según las *American Association for the Advancement of Sciences*), estas inversiones, con frecuencia materializadas en infraestructuras básicas y en formación, han sido, como hemos visto, esenciales para realizar avances técnicos y científicos tanto en áreas civiles como militares. El carácter de la investigación básica, que suele ser más

---

<sup>13</sup> Este no fue el caso de lenguajes como el COBOL y el FORTRAN en un momento histórico donde el Departamento de Defensa era el principal comprador de software. Este hecho prueba que los efectos de desbordamiento tiende a declinar conforme se expande el mercado civil (Mowery, 2010:1249).

generalista, facilita en gran medida la generación de economías de desbordamiento (Nelson, 1959)<sup>14</sup>.

Un cuarto aspecto en el que pueden existir diferencias con EE.UU. es la escasa integración o interacción entre la industria de defensa y la civil. Esto podría suponer un problema estructural u organizativo importante (Freeman y Louça, 2002). Las redes sociales son esenciales para enlazar los programas de I+D civiles y militares, y generar economías de desbordamiento (Cowan y Foray, 1995). Existen algunas evidencias sobre este tema. En primer lugar, el aislamiento de los mercados nacionales de defensa y la existencia de mercados monopolistas en los que las empresas han vivido fundamentalmente de las rentas que proporciona el Estado y han podido favorecer una industria más aislada del sector. En este contexto, la industria ha dedicado los esfuerzos de I+D a actividades más conservadoras y de menor riesgo, y no han buscado aplicaciones alternativas a sus desarrollos y al conocimiento adquirido. Un ejemplo práctico sería el caso de los ordenadores en Reino Unido, donde la falta intercambio entre los investigadores civiles y militares debilitaría el desarrollo de esta incipiente industria (Mowery y Langlois, 1996). Otra evidencia la proporciona Serfati (2000) cuando comenta la baja difusión intersectoral de las industrias francesas que reciben financiación en I+D para la defensa. En este sentido, Nelson y Wright (1992; 1954) remarcan los informes de la OCDE sobre una industria europea menos capaz de gestionar y organizar, y con menos experiencia. La falta de planes específicos de promoción de la dualidad y del aprovechamiento de los logros en el campo militar en la mayoría de las naciones de la UE hace pensar que esta necesaria coordinación no existe y que el simple mecanismo de mercado es incapaz de crear.

Una última hipótesis a considerar es que la industria europea se orienta a imitar a la estadounidense en el desarrollo de algunos sistemas de armas. Dado que las tecnologías y los diseños tienen un adelanto de varios años respecto a los europeos, las potenciales economías de desbordamiento se han podido materializar previamente apareciendo en Europa como novedades civiles. Esto puede suponer una limitación para los europeos, pues en la identificación de ciertos nichos en el mercado civil pueden encontrar que ya están ocupados por equipos y productos estadounidenses que ya son muy competitivos (y requerirse importantes inversiones para obtener un producto equivalente).

### **Medidas de política industrial**

¿Es posible en este contexto llevar a cabo algunas acciones de política industrial que puedan potenciar estas economías de desbordamiento entre el mundo civil y militar? Tres medidas son las propuestas habitualmente: (1) inversiones en tecnologías duales con claro interés tanto civil como militar; (2) integración de producción militar y civil; e (3) inserción de capacidades comerciales en los sistemas militares.

La primera opción supone orientar deliberadamente la inversión en áreas con claro carácter dual, siendo de particular interés las inversiones en aquellas áreas caracterizadas por su extenso uso en un amplio sector de la economía, habitualmente conocidas como tecnologías de propósito general, como es el caso de los semiconductores o del software (Bresnahan y

---

<sup>14</sup> Una descripción completa del apoyo a la investigación científica y técnica básica en los EE.UU. durante la Guerra Fría se puede encontrar en el interesante trabajo de Leslie (1993).



Trajtenberg, 1995)<sup>15</sup>. La cuestión que se plantea en estos casos es si tiene sentido iniciar una única que busque satisfacer las necesidades de ambos sectores, o iniciar líneas de investigación paralelas. En el primer caso, los costes pueden ser altos cuando las potenciales sinergias son muy pocas, al diferir bastante las necesidades. Mientras que el segundo se pueden producir duplicidades innecesarias (y un coste total mayor) si las necesidades civiles y militares tienen rasgos muy similares. Un segundo problema que se plantea es la identificación *a priori* de una tecnología como dual, algo que puede ser no evidente. En este sentido, habría que recordar la frase del director de IBM cuando decía que un ordenador sería suficiente para satisfacer las necesidades de cálculo del mundo (Freeman y Louça, 2002: 311). La implementación de esta medida no puede ser por lo tanto general, y requiere evaluar *ex ante* los potenciales usos de los resultados de la investigación en áreas distintas a la defensa. Además, esta medida debe ir acompañada de cambios legales que limiten los derechos de propiedad intelectual gubernamental en productos con marcado carácter dual.

La segunda opción es también interesante en la medida en que una mayor integración podría crear sinergias y reducir costes, si bien la propia OTA reconoce que siempre ha existido un elevado nivel de integración en la producción militar y civil. La cuestión que se plantea es si es posible aumentar esta integración. Esta opción es factible cuando la tecnología es lo suficientemente genérica para poder atender una producción civil y militar. Una única infraestructura es entonces necesaria para (diseñar y) producir bienes de interés civil o militar. Esta capacidad depende de dos factores. Por un lado, de la idiosincrasia del componente militar a fabricar y, por otra parte, de la flexibilidad de la cadena de montaje y producción para adaptarse a las posibles diferencias que exija la versión civil o militar del producto<sup>16</sup>. Si el producto militar requiere características muy específicas puede hacer inviable su fabricación usando una cadena civil sin modificarla substancialmente para lograr una eficiencia razonable, pues, como ya identificara Adam Smith, la especialización rinde sus frutos. Una solución en este caso sería eliminar o relajar requisitos militares innecesarios, algo difícil de conseguir si hay razones para pensar que, por esta causa, el equipo podría fallar durante una operación militar. En cualquier caso, siempre existen límites, y la maquinaria y las habilidades personales pueden ser demasiado específicas y especializadas para obtener el rendimiento o la calidad deseada en una cadena de producción civil. Esto significa que siempre existirá una cierta separación en la producción de algunos sistemas y componentes, y que esta integración será más factible en la producción de componentes y subcomponentes.

Por último, hay que añadir que la habitual división de las cadenas de fabricación y montaje de los productos civiles y militares sugiere que en la práctica hay limitaciones importantes para su integración. En particular la diferencia de los procedimientos de gestión del diseño y producción en el campo civil y militar puede tener un peso considerable, pues en el segundo se requiere de una mayor visibilidad externa para facilitar los procesos de inspección. Los

---

<sup>15</sup> La productividad del I+D en un sector aguas abajo aumenta como consecuencia de la innovación en una tecnología de propósito general. Por eso estas tecnologías se consideran como un motor de crecimiento. La coordinación de la innovación en estas tecnologías es por lo tanto importante pues los fallos de coordinación pueden tener consecuencias negativas de largo alcance sobre el crecimiento. Esto requiere el alinear los incentivos de los agentes que habitualmente están lejos unos de otros respecto al tiempo o la dimensión tecnológica.

<sup>16</sup> En este sentido las modernas técnicas de CAD, CAM pueden favorecer esta integración.

fracasos de industrias militares cuando han intentado reconvertir sus líneas de fabricación al sector civil confirma esta hipótesis. Este sería el caso de Boeing Vertol, fabricante de helicópteros que fracasó en la producción de tranvías y trenes metropolitanos (Molas, 1997). La dificultad de los contratistas de defensa de adoptar avances civiles tanto en productos como en procesos es también resaltada por Mowery (2010) en su referencia a Samuels (1994).

La tercera opción puede ser importante en la medida en que los costes de adaptación de las tecnologías, y las prestaciones que proporcionan, tienen un menor coste que cuando hay que desarrollarla *ex novo*. Quizá el problema que se plantea en estos casos son los estrictos requisitos militares que hacen que esta inserción sea especialmente lenta, como ha ocurrido con frecuencia en algunos circuitos integrados (Stowski, 1991).

En resumen, a pesar de ser un asunto que surge con frecuencia, la aproximación conceptual a este tema hay que considerarla débil, y no podemos hablar de estrategias específicas en esta materia realmente sólidas y viables que garanticen en última instancia su éxito.

### **Conclusiones**

Una primera conclusión que se puede obtener de todo lo dicho anteriormente es que el hecho de que el apoyo de las Fuerzas Armadas cristalizara en ciertas innovaciones no significa necesariamente que no hubieran ocurrido en cualquier caso. Más cierto es que la combinación de una acuciante necesidad militar y su explotación masiva en el campo militar han acelerado considerablemente algunas innovaciones que, en caso contrario, hubieran tenido un desarrollo más lento. Además, la mención de estas economías como argumento para apoyar a una industria que a veces siente un cierto desamparo de la sociedad no está, hoy por hoy, soportada por una justificación objetiva y cuantificada.

En segundo lugar, hay que decir que no se puede argumentar que las economías de desbordamiento que generan ciertas inversiones en defensa relacionadas con la investigación y la adquisición sean la forma eficiente de avanzar en el desarrollo tecnológico civil. La mayoría de la tecnología relacionada con la defensa ha sido desproporcionadamente cara. Salvo raras excepciones, los cálculos coste-beneficio han brillado por su ausencia. Pero también es cierto que el panorama tecnológico global en el que vivimos hoy en día sería enormemente diferente en ausencia de las contribuciones desde la defensa al desarrollo de ciertas tecnologías civiles. En muchos casos, la demanda militar ha desplazado las curvas de aprendizaje hacia abajo con rapidez en algunas tecnologías emergentes (Ruttan, 2006:162)

En tercer lugar hay que considerar que los potenciales efectos de desbordamiento son específicos del contexto en el que se realiza la inversión militar y dependen, entre otros, del tipo de tecnologías usadas, de su utilidad para otras funciones sociales, y de la facilidad de adaptación (Gold, 2005), así como de redes y organizaciones capaces de trasladar esas economías de desbordamiento. Por lo tanto, sólo caso por caso se puede determinar si se han producido efectos de desbordamiento de relieve. Estos efectos tienden a ser más importantes durante las fases iniciales de una tecnología, mientras que tienden a declinar en su fase de madurez.

En cuarto lugar, el fin de la Guerra Fría, con la desaparición de una amenaza general y de conflictos entre grandes potencias, ha enfocado las necesidades militares al desarrollo de capacidades para responder a misiones tácticas de menor calado. En este contexto, han perdido peso probablemente los incentivos para invertir en grandes retos científicos y tecnológicos de los que pudieran derivarse cambios revolucionarios con importantes efectos de desbordamiento para el resto de la sociedad. Este hecho podría explicar, junto con la globalización de los mercados en los que la innovación desempeña un papel fundamental, el que hoy en día la industria de defensa y aeroespacial no se caracterice por ser la más innovadora (Dunne & Braddon, 2008:48, Oxford Economics, 2009).

Por último, hay que decir que, aunque la narrativa presentada ofrece casos en que estas economías han sido importantes, la falta de información econométrica que sostenga este argumento hace recomendable evaluar las inversiones de defensa con especial cuidado. En primer lugar, examinando su incuestionable utilidad militar en el campo de operaciones y, en su caso, su demostrada dualidad y viabilidad comercial. Este último aspecto, sin embargo, no resulta fácil de determinar, *a priori*, sin una prueba de mercado, por lo que la tentación de que estos beneficios hayan sido incorrectamente calculados al alza puede ser alta (con el objeto de vender mejor el programa). De no existir claras evidencias de lo segundo, parece recomendable invertir en defensa aquellas cantidades estrictamente imprescindibles por razones de seguridad nacional. Dado que la investigación básica y aplicada favorece estas economías, también parece recomendable hacer más énfasis en proyectos con un fuerte componente de este tipo de investigación, en particular en tecnologías que son de propósito general, favoreciendo la creación de conocimiento (tanto implícito como tácito) que puede ser reutilizado en nuevos proyectos. Otro aspecto a cuidar sería la creación de redes de difusión tecnológica que permitan que se pueda acceder fácilmente al conocimiento adquirido. Esto puede implicar, por parte de defensa, el apoyo deliberado a publicaciones científicas y técnicas que pongan de relieve los resultados de su investigación.

#### **ANEXO. El caso de España**

Con el bagaje de conocimiento adquirido vamos a analizar el caso español. Dos factores hay que considerar primero. Por una parte, la industria española ha sufrido tradicionalmente de un retraso importante con respecto a las naciones desarrolladas (Carreras y Tafunell, 2010), mientras que, por otra, las inversiones en I+D en defensa han sido tradicionalmente pequeñas. No obstante, en la década de los 80 y los 90 se lanzaron en España importantes programas de adquisiciones como, por ejemplo, los aviones EF-18, Eurofighter, y A-400; los vehículos Leopard y Pizarro; o las fragatas F-100 y el buque de proyección estratégica L-61. Los programas de *offsets*, de coproducción y de cooperación industrial relacionados con estas adquisiciones han sido importantes para el sector, en la medida en que han introducido técnicas y métodos de fabricación, así como estructuras organizativas más avanzadas. El efecto final ha sido una potenciación importante de la industria de defensa, que, en aquellas empresas que no trabajan en exclusiva para defensa, puede haberse aprovechado este conocimiento para iniciar otras actividades y negocios. Desafortunadamente faltan datos sobre las transferencias de conocimiento que en la práctica se han podido producir. En cualquier caso, sí hay que decir que la fusión entre Astilleros Españoles y la antigua Bazán en la

empresa Izar no estuvo motivada por razones de crear sinergias y economías de desbordamiento.

Las reducidas cantidades invertidas en I+D, en especial si se aplican con rigidez las recomendaciones del manual de Frascati, han propiciado que los efectos de desbordamiento en defensa no hayan sido probablemente excesivos. Así pues, encontrar casos concretos de efectos de desbordamiento no resulta fácil. El caso del avión C-215 podría ser un ejemplo a citar en la medida que el apoyo del Ejército del Aire facilitaría el desarrollo de un avión que ha tenido una comercialización en el sector civil especialmente alta. Otro ejemplo serían las actividades de la empresa Indra en radares y en sistemas de defensa aérea, que han ayudado a su éxito en la venta de sistemas de control de tráfico aéreo en el mundo. La transposición de su conocimiento en simulación al campo civil no parece haber sido tan exitosa. El carácter mixto de estas empresas, civil y militar, puede haber contribuido a la materialización de estas economías.

Aunque, como hemos comentado, los gastos en I+D no han sido excesivos ni se han invertido en investigación básica o tecnologías emergentes, que son las que potencialmente pueden generar mayores efectos de desbordamiento, sí ha habido una parte de los fondos que han sido invertidos por las empresas en contratos con las universidades. De esta manera se han promocionado departamentos universitarios cuyas actividades no han estado restringidas únicamente al campo militar. Es probable también que la movilidad laboral de científicos e ingenieros que han adquirido experiencia en el campo de la defensa haya podido ayudar a mejorar las estructuras organizativas y capacidades tecnológicas de las empresas que les han contratado. Por ejemplo, los masivos proyectos de defensa llevados a cabo por Indra han sido una escuela de negocio para muchos informáticos. De nuevo nos encontramos con la falta de datos que demuestren con solvencia estos hechos. Esto hace más perentoria la necesidad de hacer estudios cuantitativos en esta materia.

Por último, la difusión del conocimiento adquirido en la investigación militar no parece excesivamente fomentada desde defensa, bien porque los resultados no son relevantes, bien porque supone un coste difícil de asumir. Sin embargo, una apertura de los centros de investigación de defensa a publicar sus resultados, o a compartir sus medios e instalaciones con el sector civil, podría ser una forma de aumentar los deseados efectos de desbordamiento.

## **Referencias**

Alic, John A., Branscomb, Lewis M., Brooks, Harvey, Carter Ashton B., and Epstein Gerald L. (1992) *Beyond Spin-off: Military and Commercial Technologies in a Changing World*. Harvard Business School Press. Cambridge (MA).

Bresnahan, Timothy F. and Trajtenberg, M. (1995) General purpose technologies: Engines of growth?. *Journal of Econometrics* 65. pp 83-108.

Carreras, Alberto y Tafunell, Xavier (2010) *Historia económica de la España Contemporánea (1789 - 2009)*.

Cowan, D. and Foray, D. (1995) Quandaries in the economics of dual technologies and spillovers from military to civilian research and development. *Research Policy* 24. pp 851-868.

DeGrasse, Robert W. (1983) *Military Expansion. Economic Decline. The Impact of Military Spending on U.S. Economic Performance.* Council of Economic Priorities. M.E. Sharpe, Inc. Armonk. New York.

Dunne, J.P. and Braddon Derek (2008) *Economic impact of military R&D.* Flemish Peace Institute.

Flamm, Kenneth (2005) *Post Cold War Policy and the U.S. Defense Industrial Base.* *The Bridge*, 35, 5-12.

Freeman, Christopher and Louça Francisco (2002). *As Time Goes By. From Industrial Revolution to the Information Revolution.* Oxford University Press.

Gold, David (2005) *Does Military Spending Stimulate or Retard Economic Performance? Revisiting an Old Debate.* International Affairs Working Paper 2005-01. New York.

Leslie, Stuart W. (1993) *The Cold War and American Science. The Military-Industrial-Academic Complex at MIT and Stanford.* Columbia University Press. New York.

Lichtenberg, F. (1984) *The relationship between federal contract R&D and company R&D,* *American Economic Review* 74(2), pp 73-78.

Martí, Carlos (2010) *La innovación en defensa y seguridad. Documentos sobre oportunidades tecnológicas número 29.* Fundación COTEC para la innovación tecnológica.

Markusen, A. and Yudken J (1992) *Dismantling the Cold War Economy.* Basic Books. New York.

Melman, S. (1985) *The Permanent War Economy. American Capitalism in Decline.* Simon and Schuster. New York.

Molas Gallart, Jordi (1997) *Which way to go? Defence technology and the diversity of "dual use" technology transfer.* *Research Policy* 26 (1997) pp. 367-385.

Mowery, David C. (2010) *Military R&D and innovation.* *Handbook of the Economics of Innovation*, Volume 2. Elsevier.

Mowery, David C. and Langlois Richard N. (1996) *Spinning off and spinning on(?): the federal government role in the development of the US computer software industry.* *Research Policy* 25. pp. 947-966.

Nadiri, M. Ishaq (1993) *Innovations and Technological Spillovers.* C.V. Starr Center for Applied Economics. Faculty of Arts and Sciences. New York University. RR #93-31.

Nelson, Richard (1959) *The simple economics of basic scientific research.* *Journal of Political Economy*, Vol. 67, No. 3 (Jun., 1959), pp. 297-306.

Nelson, Richard R. and Wright Gavin (1992) *The Rise and Fall of American Technological Leadership: The Postwar Era in Historical Perspective.* *Journal of Economic Literature*. Volume 30, Issue 4. pp 1931-1964.

OTA (1994) Assessing the Potential for Civil-Military Integration. Office of Technology Assessment. OTA-ISS-611. Washington D.C.

Oxford Economics (2009). The economic case for investing in the UK defence industry. Final report. Oxford.

Parker, Geoffrey (1988) The Military Revolution: Military Innovation and the Rise of the West, 1500-1800. Cambridge University Press.

Perani, Giulio (1997) Military technologies and commercial applications: Public policies in NATO countries. Centro Studi di Politica Internazionale. Rome (Italy).

Ruttan, Vernon W. (2006) Is War Necessary for Economic Growth? Military Procurement and Technology Development. Oxford University Press.

Samuels, R.J. (1994) Rich Nation, Strong Army: National Security and the Technological Transformations of Japan. Cornell University Press. Ithaca. N.Y.

Serfati, Claude (2000) The Place of the French Arms Industry in its National System of Innovation and in the Governmental Technology Policy in The Place of the Defense Industry in National Systems of Innovation. Judith Reppy, ed. Cornell University Peace Studies Program. Occasional Paper #25.

Stowsky, Jay (1991) From Spin-Off to Spin-On: Redefining the Military Role in Technology Development. Berkeley Roundtable on the International Economy, University of California. Working Paper 50.

Tirole, Jean (1988). The theory of industrial organization. MIT press, Cambridge, MA.