

IMPACTO TECNOLÓGICO EN LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE ARMAS PARA LA DEFENSA EN EL SIGLO XXI

La investigación y desarrollo de armas para la defensa se hace sobre la base de definir previamente las amenazas, y utilizando posteriormente la tecnología disponible, o, en su caso, desarrollando la necesaria. Con el fin de obviar una descripción de las posibles amenazas que la humanidad, o algunas comunidades en concreto, pueden sufrir en el siglo XXI, nos vamos a valer de un planteamiento genérico de los actos de la defensa moderna frente a una amenaza bélica.

En una confrontación en el mundo actual, ante la amenaza de una agresión bélica, la defensa militar ha de tender a utilizar las armas necesarias para exterminarla, sin más consecuencias secundarias que las deseadas. Las experiencias de Hiroshima y Nagasaki fueron difícilmente aceptables en su día y resultarían difíciles de concebir en la actualidad, conociendo cuáles iban a ser los efectos secundarios.

A los únicos efectos de definir los campos tecnológicos que inciden en una defensa de este tipo, simplificamos diciendo que para poder exterminar el agente amenazante es necesario:

1. Localizarlo e identificarlo en el espacio y en el tiempo.
2. Dirigir con precisión un arma defensora hacia el objetivo definido.
3. Hacer incidir sobre él, antes de que pueda actuar, la energía necesaria para anularlo, bien por su destrucción total o por provocarle suficiente deterioro para impedir su acción.

Óptica, electrónica, informática, ciencia de materiales, química y física nuclear son las ciencias que predominantemente inciden en las tecnologías necesarias para localizar un blanco, guiar un proyectil hasta el objetivo y actuar sobre él con una energía eficaz. En principio el seguimiento de los avances de estas ciencias, o la consulta a los investigadores que las cultivan, resulta imprescindible para el responsable del diseño y desarrollo de armas.

Exponer aquí todos los conceptos de las mencionadas ciencias, que son o pueden ser útiles en la investigación y desarrollo de las armas del siglo XXI, sería una tarea excesivamente prolija, y posiblemente terminaría en un análisis exhaustivo de dichas ciencias y de sus tendencias. Por este motivo vamos a ordenar la exposición de este tema sobre la base de seleccionar algunas de las armas de especial relieve, tales como las químicas, nucleares, láser, armas con guías de precisión, etc., analizando los posibles impactos tecnológicos y haciendo una cierta valoración subjetiva de su utilidad. En un último apartado haremos una incursión al campo de los llamados nuevos materiales, señalando algunos de sus impactos tecnológicos en las armas del futuro.

Armas químicas

La vanguardia de las armas químicas actualmente desarrolladas, aunque nunca empleadas en el combate, la constituyen los proyectiles binarios que contienen dos precursores de los llamados "gases nerviosos", alojados en cápsulas independientes. Estas cápsulas estallan al disparar el proyectil y ambos gases precursores reaccionan generando el gas nervioso mientras el proyectil continúa su trayectoria hacia el objetivo prefijado. El diseño binario de estos proyectiles constituye un dispositivo de seguridad destinado a proporcionar una mayor flexibilidad operativa en las fases de almacenamiento, transporte y despliegue del arma.

Los gases nerviosos son compuestos organofosforados relacionados con cierto tipo de pesticidas pero de toxicidad mucho más elevada. Actúan de forma letal, por inhalación o por absorción a través de la piel, al bloquear la acción del enzima acetilcolinesterasa. Este enzima es el responsable de la descomposición en fracciones de segundo de la acetilcolina, sustancia transmisora sináptica que en ausencia de acetilcolinesterasa aumenta su concentración en los ganglios, uniones neuromusculares del esqueleto y en la sinapsis del sistema nervioso, produciendo muy variados síntomas que, en cuestión de minutos, concluyen con la muerte por asfixia. De los cientos de antiacetilcolinesterasas organofosforadas que han sido estudiadas unas pocas ocupan posiciones destacadas: el agente GB o sarin (Orto-isopropilmetilfosfonofluorhidrato), el agente GD o soman (Orto-1,2,2-trimetilpropilmetilfosfonofluorhidrato), el agente VX (Orto-etil-S-2-diisopropilaminoetilmetilfosfonotiolato), el tabun o GA (Ortoetil-N,N-dimetilfosforoamidocianuro) y el VR-55, que es un polímetro derivado del soman.

La elección o selección de un gas de guerra pasa por una serie de exigencias como su estabilidad (todos los mencionados son muy estables y, por tanto, perdura su acción en el campo de acción previsto), su gran toxicidad y rapidez de acción (1 mg en el sarin y 0,4 mg en el VX son letales en unos minutos), su eficacia tanto por vía respiratoria como a través de la piel y su volatilidad mayor o menor según se desee usar como agente aéreo o de contacto. La volatilidad puede ser modificada por la adición de polímeros sintéticos que persiguen un aumento de la densidad y, por tanto, de la persistencia en su acción.

Los compuestos organofosforados antes citados cumplen todas estas exigencias y además su coste es más bien bajo. No hay constancia de que hayan sido utilizados, pero sí de la fabricación masiva de algunos de ellos, y en número alto constituyen reservas existentes tanto en Estados Unidos como en la URSS en forma de proyectiles de artillería, bombas de aviación, minas terrestres y tanques de *spray* de uso aéreo.

Los gases tóxicos históricamente utilizados, como cianhídrico, iperita, fosgeno, cloro, etc., así como los estornudógenos y los lacrimógenos, han quedado descartados por no reunir algunas de las condiciones o exigencias antes mencionadas. Tampoco han tenido interés los gases paralizantes como la droga psicotrópica anticolinérgica conocida como agente BZ (3-quinaclidinil benzilato), seguramente porque sus secuelas aconsejaron desecharlas desde el punto de vista militar. En la actualidad las únicas armas químicas no letales son las basadas o relacionadas con la sal CS (Ortoclorobenzolmalonitrilo, preparada por primera vez por Carson y Stroughton) que han venido a sustituir a los llamados gases lacrimógenos como agente antidisturbios, aunque también fueron utilizados en las guerras de Corea y del Vietnam, junto con su variante el CN (N-cloroacetofenona).

Los requisitos que han de cumplir estos agentes antidisturbios dependen del objetivo que se persiga, pero, en general, deben ser de manejo fácil, rápido y seguro para la persona que los utiliza y no debe producir daños secundarios a los agitadores o personas contra las

que se emplea. En sus debidas dosis el CS y, con más limitaciones, el CN, cumplen estos requisitos.

Antes de emitir una opinión sobre el futuro de las armas químicas procede hacer un comentario sobre el desarrollo de la defensa química. Los equipos personales, del tipo del *Mark 3* y similares, protegen bien de la acción de los agentes químicos previsiblemente utilizados. Se ha resuelto bastante bien el problema de su peso y son soportables hasta temperatura ambiente del tipo de las máximas de Centro Europa. Habría que pensar en protecciones para posible uso en otros escenarios más calurosos. Las protecciones colectivas en los vehículos acorazados e instalaciones fijas específicas como puestos de mando, o hasta incluso asistencia sanitaria o de descanso, también están resueltas desde el punto de vista tecnológico. También se dispone de sistemas de alarma específica fundamentalmente para los organofosforados y en caso de sorpresa poner en marcha inmediatamente la autoadministración de antidotos (caso de que el equipo protector no se haya acoplado con suficiente antelación) y los equipos de descontaminación tanto cutánea como del área afectada.

La defensa química exige multitud de acciones que han de ser realizadas de forma individual y colectiva. Estas acciones coinciden en muchos aspectos con las correspondientes a la defensa biológica y radiactiva, por lo que suelen organizarse conjuntamente bajo la instrucción ABQ. Extender y generalizar una buena defensa química es, por supuesto, difícil; sin embargo, los métodos actuales son potencialmente suficientes para hacer poco rentable el uso de armas químicas, en comparación con la rentabilidad de otros tipos de armas. Cabe valorar, no obstante, que posiblemente un soldado dotado de equipos de protección química sea más vulnerable a un ataque convencional.

El valor disuasorio de las armas químicas actuales y su capacidad potencial para detener la escalada han sido puestas en duda tanto en términos de escalada militar inmediata, como en el terreno más amplio de consideraciones estratégicas. La amenaza química es real, pero su capacidad de disuasión no parece ser la de otras armas avanzadas. A todo ello hay que añadir las diversas intenciones de prohibición o limitación de armas químicas y la repulsa de los pueblos a aceptar grandes almacenamientos de agentes agresivos, aunque sea con la precaución que implica su característica de pretóxicas al disponer de las armas químicas binarias.

Partiendo del análisis somero del interés actual de las armas químicas, cabe pensar que no son precisamente las armas del siglo XXI. Su preparación y el estudio de su eficacia militar son aspectos complejos (actividad biológica, secuelas no deseadas, contaminaciones residuales, etc.). Su utilidad como armas disuasorias o de represalia es muy discutible y dudosa. Por contra, una buena defensa química posee una gran capacidad disuasoria para quien pretende utilizar armas tóxicas.

La defensa química constituirá un arma disuasoria importante en el siglo XXI, en íntima relación con las defensas radiológica y biológica, con las que guarda aspectos comunes. Evidentemente, el desarrollo de la defensa química implicará el estudio de productos tóxicos no para su uso como armas, sino para encontrar métodos rápidos y muy sensibles de detección y descontaminación y para desarrollar todo tipo de medios de protección individual y colectiva, a los que, por otro lado, contribuirán los nuevos materiales polímeros ultraligeros actualmente en desarrollo.

Es posible que se alcancen acuerdos de limitación o prohibición del uso de armas químicas, pero estos acuerdos no serán globales y se hará necesaria la puesta a punto de métodos de verificación y de detección o control a distancia de la producción de productos tóxicos en cantidades importantes. En este sentido, las técnicas analíticas fundamentalmente

espectroscópicas permiten, y van a permitir aún más, la detección a distancia de magnitudes inferiores a partes por billón de estos productos en la atmósfera, de forma que sea difícil la sorpresa.

Armas nucleares

El principio básico de las armas nucleares es la conversión de masa en energía. La que ha dado en llamarse primera generación tuvo su presentación en Hiroshima y Nagasaki, y fue objeto de mejoras cualitativas importantes en los primeros años de la década de los cincuenta. La generación de las ingentes cantidades de energía tenía lugar por reacciones de fisión (rotura de un núcleo por medio de un neutrón) que afectaban a una cantidad suficiente de material fisionable (Uranio 235 o Plutonio 239) concentrado durante una millonésima de segundo en un volumen reducido, en el que se generan rápidamente los neutrones que inducen el proceso. La convergencia del material fisionable en la zona de fisión durante el microsegundo se consigue confinando en un pequeño volumen la energía procedente de la detonación de cargas de explosivo químico. El resultado final del proceso era la disipación por el entorno de enormes cantidades de energía de manera uniforme, con la disposición esférica característica, y la diseminación de notables cantidades de isótopos radiactivos resultado de la rotura del núcleo fisionable.

La segunda generación de armas nucleares inicia su desarrollo también en la década de los cincuenta, tiene como base las reacciones de fusión, y condujo a la bomba de hidrógeno y sus diversas familias. La fusión (unión de dos núcleos ligeros para formar otro más pesado), requiere para su iniciación temperaturas muy altas que no se han podido generar más que por un explosivo de fisión. Las reacciones de fusión liberan más energía por unidad de peso que las de fisión y además producen más neutrones de gran energía que sobrealimentan el arma de fisión y aumentan su rendimiento. Por tanto, la introducción de pequeñas cantidades de combustible termonuclear (tritio o deuterio) en un arma de fisión incrementa la relación rendimiento-peso del arma. Los estudios dedicados a ajustar las magnitudes relativas de fusión y de fisión que resultan más eficaces en un arma nuclear fueron de gran interés hasta alcanzar una relación global rendimiento-peso de la cabeza nuclear alguna decena de kilotones por kilogramo, distintos de los rendimientos teóricos máximos, pero muy cercanos a los límites prácticos. Si mediante la energía liberada en una pequeña explosión de fisión se comprime y calienta una cantidad considerable de deuterio de litio, la energía liberada de forma explosiva procederá predominantemente de la reacción de fusión ($D + \text{neutrones} \rightarrow \text{Tritio}$). Un arma termonuclear de este tipo se dice que es limpia, pues no produce isótopos radiactivos en gran cantidad. Ese era uno de los objetivos de la bomba de hidrógeno.

La mayoría de las armas nucleares estratégicas son dispositivos fisión-fusión en los que una serie de cargas explosivas químicas constituyen el detonante que provoca las reacciones de fisión que, a su vez, son el detonante para las reacciones de fusión que tienen lugar en una capa envolvente. Este dispositivo fisión-fusión está recubierto por una capa adicional de U-238, que es un isótopo no fisionable, que aumenta considerablemente la potencia explosiva, al capturar la energía de los neutrones rápidos emitidos en la fusión. Los núcleos de U-238 se fisionaron posteriormente para dar gran cantidad de neutrones térmicos. Si se suprime la capa adicional de U-238 el dispositivo nuclear libera una mayor proporción de neutrones rápidos al producirse la explosión. Estos neutrones rápidos tienen un mayor poder de penetración en la atmósfera que los neutrones lentos, que son capturados rápidamente por los núcleos de los átomos que la constituyen. Este dispositivo es la base de la bomba de radiación intensiva (llamada bomba de neutrones), desarrollada, por ejemplo, para el misil *Lance* y para el proyectil

de artillería de ocho pulgadas. La proporción fisión-fusión varía de unas cabezas nucleares a otras desde, aproximadamente, 40-60 en el *Lance* a 25-75 en el proyectil citado. Así, la energía liberada en forma de radiación térmica y onda de choque es menor que en la forma de radiación dominante neutrónica, de forma que su explosión a unos centenares de metros de altura determinaría efectos de choque y térmicos ligeros, mientras el efecto de los neutrones sería importante. Sobre esta base, que tiene grandes limitaciones, se han desarrollado armas nucleares tácticas.

Los efectos de una explosión nuclear proceden de manera simplificada de la onda de choque, la radiación térmica, la radiación instantánea y la radiación residual. La brutal liberación de energía transforma en vapor e ioniza los propios materiales formando un plasma de iones positivos y electrones, que a la temperatura subsiguiente a la explosión radia rayos X. La fracción de la energía explosiva total emitida como rayos X crece con la relación rendimiento-peso; por tanto, de ella depende la temperatura global del plasma. Así, cuanto mayor sea la cantidad de energía disipada en forma de rayos X (caso del arma termonuclear con relación rendimiento-peso grande) menor será la energía cinética del plasma. Además, es posible ejercer un importante control sobre la cantidad de energía de la radiación X, cambiando, por ejemplo, el peso molecular medio de los materiales del arma, el área de la superficie exterior, y la forma en que la energía se distribuye.

Los subproductos de las reacciones de fisión y de fusión que originan la explosión emiten cantidades importantes de rayos gamma y de neutrones. La radiación gamma y la energía cinética de los neutrones puede ser absorbida y disminuida, respectivamente, por los materiales del arma. Pero, asimismo, si el arma se cubre con un isótopo que al ser bombardeado con neutrones emite rayos gamma se podría producir una emisión de éstos al exterior.

Las observaciones anteriores van dirigidas a concluir que, en cierta medida, una fracción sustancial de la energía de una explosión nuclear puede ser convertida en una energía determinada. Así, los efectos que pueden no ser deseados, como los producidos por la energía cinética del plasma y la radiación inicial de rayos X duros, que son en realidad los en principio utilizados por el arma nuclear, pueden ser sustituidos por los que produce una radiación determinada que tenga características como mayor alcance, no asolar ni contaminar el entorno, y fundamentalmente que pueda ser dirigida en la dirección en la que se encuentra el objetivo.

La radiación electromagnética con las longitudes de onda de los rayos gamma, rayos X blandos, luz visible y microondas puede focalizarse por procedimientos análogos a como se focalizan los láseres. Evidentemente la emisión de estas radiaciones requiere determinados tipos de antenas, y el artefacto no debe desintegrarse, al menos, hasta unos microsegundos después de que el flujo torrencial de energías de la reacción nuclear se dirija hacia el dispositivo de conversión y direccionamiento.

Los efectos de un arma de un kilotón que convirtiera el 10 por 100 de su energía en microondas y radiaciones de longitud de onda mayor serían letales para los dispositivos electrónicos no protegidos situados en el espacio a 100 kilómetros, y con una conversión del 20 por 100 en rayos gamma y neutrones de alta energía se producirán efectos letales para los humanos situados a más de 20 kilómetros. Si éstas armas, además de la conversión, son dirigidas, los efectos pueden ser notablemente selectivos. Este es el camino iniciado por las armas nucleares de la tercera generación.

El campo de investigación y desarrollo de las armas nucleares de la tercera generación está abierto y quizá es el motivo fundamental de la no suspensión de los ensayos subterráneos. Los desafíos son notables, empezando porque no se sabe bien la acción de algunas radiaciones sobre determinados materiales y sobre los propios seres vivos, pero fundamentalmente se

trata de domar la gigantesca liberación de energía que se produce en la fisión-fusión y utilizar los efectos secundarios de la misma que tengan interés militar y no generen problemas no deseados.

Un desarrollo inmediato del siglo XXI puede ser la utilización de la energía cinética de explosiones subterráneas de escasa potencia para proyectiles capaces de entrar en la atmósfera a velocidades próximas a la de escape de la tierra, o aprovechar dicha energía para propulsar fragmentos sólidos de la propia arma. Pero el objetivo creo será fundamentalmente convertir gran parte de la energía cinética en radiaciones dirigidas capaces de dañar a grandes distancias sistemas de detonación, transistores, semiconductores, relés, antenas y sistemas ópticos y electrónicos en general.

Las armas nucleares de ondas dirigidas pueden ser la revelación del siglo XXI. Estas radiaciones en las longitudes de onda entre los centímetros y el metro son las más adecuadas para la emisión dirigida y dada la permeabilidad de la atmósfera a dichas ondas son eficaces actuando de la tierra al espacio, al revés, o en el propio espacio. Este posible desarrollo obliga ya desde ahora a idear sistemas de protección de los dispositivos electrónicos tácticos y estratégicos. Podrían dejar *paralizado* al enemigo, o a la propia humanidad, sin destrucciones, pérdidas humanas, ni otros efectos que los resultantes de la *oscuridad*.

Armas láser

La radiación láser provocada cuando un determinado gas, líquido o sólido vuelve a su estado normal, tras suministrarle suficiente energía para producir una importante inversión de la población electrónica, es un haz de ondas electromagnéticas, dotadas todas ellas de idéntica frecuencia, fase y dirección de propagación: tales ondas, se dice, que son coherentes. La frecuencia de la radiación viene determinada por la diferencia de energía entre el estado excitado y el normal. Cuando el material del láser se encierra en una cavidad óptica con superficies especulares, el fotón emitido por una molécula al pasar de su estado excitado al normal estimula la emisión de otro fotón de otra molécula excitada, y así sucesivamente, de forma que el número de fotones idénticos en movimiento crece exponencialmente. De esta forma aunque la energía correspondiente a un fotón es menor de 10^{-19} J, la emisión de energía de un láser puede alcanzar muchos miles de J, emitidos a veces en sólo una millonésima de segundo.

El láser ha revolucionado campos de la investigación fundamental y aplicada, de la técnica y de la medicina. Era fácil imaginar que en el láser podía estar el fundamento de un arma *ideal*, y así fue plasmado inmediatamente en el mundo de la ciencia-ficción y con muchas más dificultades y limitaciones en el mundo real. Un arma láser, basada en un láser potente, transportaría la energía destructora hasta el objetivo en forma de ondas electromagnéticas, en vez de hacerlo a través de una carga explosiva a bordo de un misil o proyectil. Avanzaría a la velocidad de la luz (trescientos millones de metros por segundo) en lugar de a 1.000 ó 2.000 metros por segundo a que lo hace un misil supersónico. A diferencia del explosivo que llega con que explote cerca del objetivo, el láser tendría que incidir directamente en el blanco, pero de ser así, si su potencia es suficiente, su efecto sería muy específico, destruyendo la amenaza y no produciendo efecto secundario alguno.

Un arma láser podría teóricamente tener una serie de misiones. Instalada en un satélite podría atacar a los misiles intercontinentales en su fase de lanzamiento, o podría atacar a satélites militares enemigos. Desde tierra podría abatir satélites y aviones enemigos. En un barco podría defenderlo de los misiles agresores y en un avión podría acabar con los misiles y aviones enemigos. Todas estas misiones teóricas y otras que se pueden inventar implican

unas exigencias tecnológicas en el láser y tienen una serie de limitaciones que en ocasiones pueden ser superadas con más y nuevas tecnologías. El arma láser para cumplir su misión, a grandes rasgos, tiene que:

1. Detectar el blanco y distinguirlo de señales y objetos del entorno.
2. Apuntar al objetivo, seguir sus movimientos y disparar a través del medio que los rodea.
3. Determinar si ha hecho o no blanco y, en caso de fallo, corregir la dirección y disparar de nuevo hasta comprobar que ha destruido el objetivo.

Para que un arma láser funcione tiene que disponer, en grandes líneas, de:

1. Un sistema de producción de energía para bombear los electrones y producir estados excitados, de forma que la emisión se produzca en una frecuencia propagable y con la energía deseada.

2. Un sistema de refrigeración para eliminar la parte (es muy grande) de energía del sistema de producción que no se utiliza en el bombeo de electrones.

3. Una cavidad óptica que confine la radiación hasta producir el haz con la potencia deseada.

4. Todo un sistema complementario, desde espejos gobernados por un sistema de mando sumamente preciso para apuntar al objetivo, hasta un conjunto de sensores capaces de detectar, identificar y determinar el objetivo con precisión y de transmitir sus indicaciones al espejo de puntería, sin olvidar aparatos ópticos para evaluar el daño y, por supuesto, para disparar en el momento oportuno.

El sistema de producción de energía tiene que ser lo suficientemente potente para producir láseres de alta energía. Puede ser una cámara de combustión o una descarga electrónica (láser dinámico de gas, por ejemplo, CO_2 , una cámara de reacción química (láser químico, por ejemplo, hidrógeno y flúor), un haz electrónico dirigido (LEL), una bomba nuclear (láser de rayos X) o cualquier otro sistema suministrador de energía suficiente. En los dos primeros hay que considerar grandes depósitos de combustibles (un láser de flúor-hidrógeno puede llegar a consumir más de 600 kilogramos de combustible por cada misil destruido). El sistema para lanzar haces electrónicos dirigidos es evidentemente voluminoso y pesado. Las limitaciones empiezan a ser evidentes para la instalación en el espacio exterior de armas láser. Sólo parecen viables láseres químicos y láseres de rayos X, éstos con los problemas derivados de una explosión nuclear en el espacio.

El sistema de refrigeración ha de evacuar una cantidad importante de energía. El rendimiento energético de los láseres actuales es muy bajo y el máximo al que se podrá llegar es a un 30 por 100. Liberar cantidades de calor en el espacio a velocidades supersónicas es un serio problema, pero en cualquier caso hay que apartarla del láser, so pena de su mal funcionamiento.

La cavidad óptica para confinar el láser debe mantener una estructura ultrarrígida y no modificable por las posibles vibraciones del soporte en que esté instalado. Además ha de aguantar la potencia generada. Estos problemas pueden ser resueltos con las tecnologías actuales y las inmediatas.

La radiación de los láseres ópticos se atenúa débilmente en la atmósfera, aunque puede ser perturbada por los efectos climatológicos, fundamentalmente la niebla, aunque otra serie de factores climatológicos contribuyen también a su divergencia. Aún así son los láseres utilizables en la atmósfera. Mientras tanto la radiación láser ultravioleta y de rayos X es fuertemente atenuada en la atmósfera como corresponde a su longitud de onda. Estos láseres son idóneos para instalarlos en satélites y actuar en general fuera de la atmósfera.

Por otro lado, la posibilidad de interacción de un láser con los materiales de un objeto a destruir es inversamente proporcional al cuadrado de la longitud de onda de la radiación. Así, un láser de infrarrojos es menos eficaz, a estos fines, que un láser de radiación visible y éste más débil que uno en el ultravioleta y que un láser de rayos X, que es el de mayor poder de destrucción.

Los láseres ópticos instalables en el suelo no tienen energía suficiente para destruir vehículos blindados. Pueden, eso sí, dañar sus sensores, antenas y partes sensibles que posiblemente son vitales. Tampoco es un instrumento fácilmente instalable en un vehículo móvil y en medio de polvo, aunque la tecnología puede superar estos problemas. Los láseres ópticos parecen más idóneos en el suelo para la defensa de puntos estratégicos. La instalación de láseres ópticos en barcos y aviones tiene los problemas derivados de la movilidad y vibración del soporte, pero también la tecnología puede superarlos. Su capacidad para cegar los dispositivos ópticos de guía de misiles es evidente.

La tecnología del láser de potencia tiene todavía un amplio campo de desarrollo. Los láseres químicos y el de rayos X parecen ser hasta ahora los más adecuados para su utilización como armas. Entre los primeros habrá que seguir el desarrollo de nuevos sistemas, como el del láser de excímero de puesta a punto reciente, aunque su potencia no es elevada. En el proyecto ALPHA, dedicado a situar un láser químico en el espacio en 1990, se espera dañar la electrónica de un misil, pero no tendrá potencia para más. El láser de rayos X tiene todos los problemas derivados de una explosión nuclear y además sirve para una sola descarga.

La investigación intensa en el tema de los láseres de gran energía está asegurada por su interés para usos industriales. Por eso, es difícil predecir que no se producirán notables descubrimientos. Es un campo a seguir detenidamente, contemplando por otro lado su utilidad militar de nuevas aportaciones y los elevadísimos costes de su construcción. Su valor militar actual, teniendo en cuenta su focalización, alto coste, uso limitado cuando no reducido a una sola operación (omitiendo los múltiples problemas tecnológicos todavía por resolver), hace pensar en su posible despliegue sólo como arma estratégica de gran especificidad y singularidad. Opinar de otra forma, hoy en día, es seguir cultivando la ciencia-ficción periodística que calificó al láser en su nacimiento como el rayo de la muerte, y por ahora sirve para la vida. Otra cosa es el láser como guía de armas, del que nos ocupamos en otro apartado.

Armas con guía de precisión y sistemas expertos

La radiación electromagnética, desde el visible a las ondas de radio, han encontrado aplicación primero para la detección de objetivos, después para *verlos*, diferenciándoles de otros que no lo son y, por último, para conducir hasta el objetivo, con una enorme precisión, armas destructoras nucleares o convencionales.

Obtener información del objetivo a atacar es una exigencia primordial a la que el radar hizo una primera aportación al advertir de la presencia de un objeto en lugares donde su presencia resultaba sospechosa. La irrupción de las técnicas de IR, además de detectar el objeto, permiten obtener información acerca de su naturaleza, incluso dentro de la más absoluta ausencia de luz. En general, cuando la visibilidad es limitada es preciso recurrir a técnicas que permitan resolver las limitaciones de la visión humana, siendo uno de los métodos la utilización de intensificadores de imagen, como los usados por los sistemas de televisión de bajo nivel de luz (LLLTV, Low Level Light TV). Todas estas técnicas, junto con el láser y las ondas de radio, han constituido además la base para, una vez identificado un objetivo, dirigir hacia él una bomba, un misil o el arma destructora que proceda.

Cada una de estas técnicas tiene sus limitaciones, determinadas por la propia naturaleza de la radiación y por el medio en que utilizan. Unas tienen que actuar de forma activa, es decir, incidiendo sobre el blanco con un haz para detectarlo; otras pueden actuar de forma pasiva captando la radiación que emite el objetivo a detectar. En general, estas técnicas son complementarias, por lo que, con frecuencia, en la guía de un arma se utiliza más de una, dando lugar en ocasiones a técnicas mixtas como el LADAR, simbiosis del radar y del láser, de gran interés actual en la navegación, maniobras de satélites artificiales y la propia guía de proyectiles.

Las tecnologías implicadas en los sistemas de guía de armas van desde las referidas a los sistemas generadores de las radiaciones en longitudes de onda determinadas, hasta la de los detectores o sensores utilizados para captar la radiación reflejada. A ello hay que añadir todos los sistemas ópticos implicados y los sistemas informáticos necesarios para el tratamiento de los datos obtenidos y la toma de las decisiones o correcciones pertinentes. Todas estas tecnologías requieren constantes mejoras con el fin no sólo de conseguir una mayor precisión, sino de diferenciar perfectamente el objetivo de los posibles señuelos, eludir la interferencia de ondas utilizadas para perturbar los sistemas de guiado y, en general, las contramedidas utilizadas en lo que ha dado en llamarse guerra electrónica. Podemos decir que en el terreno práctico, y en ausencia de dificultades provocadas, la tecnología de los sistemas de emisión y detección de radiaciones permite guiar un arma con gran precisión, utilizando, eso sí, la radiación o técnica idónea para las condiciones atmosféricas y del medio en general. La electroóptica resuelve, hoy en día, parte de los problemas de divergencia de las ondas y la tecnología de los nuevos materiales permite disponer de materiales capaces de detectar y transmitir señales significativas a los sistemas de tratamiento informático de datos. Podría decirse que sin una defensa adecuada todos los objetivos inmóviles o de movimientos lentos, los carros de combate y los grandes buques de superficie, entre otros, verían seriamente cuestionada su supervivencia.

El conjunto de medidas que han dado en llamarse guerra electrónica van desde las encaminadas a usar eficazmente las radiaciones electromagnéticas propias hasta las que tienen por objeto impedir que el enemigo pueda usar eficazmente las suyas. En general, se distinguen las medidas electrónicas de apoyo (*ESM, Electronic Support Measures*) y las contramedidas electrónicas (*ECM, Electronic Counter Measures*), que a su vez determinan el desarrollo de contra-contramedidas electrónicas (*ECCM, Electronic Counter-Counter Measures*).

Los condicionantes tecnológicos de las medidas electrónicas de apoyo vienen determinados porque éstas deben ser pasivas, sin implicar la producción de emisiones propias. Su desarrollo es notable en el campo de las ondas de radio y de las microondas radar (*Radar Warning Receiver, RWR, por ejemplo*). Las ESM son, pues, inadvertidas por el adversario y asimismo no permiten detectar las medidas pasivas de éste, ni las emisiones que se produzcan en frecuencias a las que la tecnología de las ESM no es sensible. En este último punto se originan una guerra de frecuencias que aconseja tener la capacidad de emitir cuando es necesario en frecuencias diversas. Por otro lado, se plantea el problema del tiempo que media entre la puesta en marcha de los sistemas de detección y diferenciación del objetivo, la orden de disparo y el instante del impacto. Este factor tiempo se ve afectado también por otras medidas, por lo que su corrección, o disminución en concreto, serán mencionadas más adelante.

Las contramedidas de la guerra electrónica también pueden ser activas o pasivas y asimismo pueden tener por objeto perturbar la radiación o falsear las informaciones que ésta pueda transmitir. Desde los métodos elementales de producir ruidos emborronando parcial o totalmente

las pantallas del adversario, hasta la emisión de radiaciones engañosas, la dispersión mecánica de falsos objetivos (*chaff o windows*) o la dispersión de humos y productos químicos capaces de absorber en cierto grado las ondas electromagnéticas, son dispositivos defensivos frente a los sistemas de guía electromagnética de armas. Asimismo, la producción de focos *calientes* artificiales son engaños utilizados contra la detección y guía por IR, y una serie de cambios en el medio que perturban la propagación del láser o producen su divergencia con contramedidas importantes para los sistemas de guía de armas que utilizan estas radiaciones. En este campo de las contramedidas electrónicas cabe dar muchos pasos y, en general, conociendo la radiación guía en todos sus detalles y los sistemas de detección no es fácil generar en cada caso contramedidas eficaces.

Frente a las contramedidas, los sistemas de guía de precisión de armas reaccionan complicando el sistema a través de la utilización de radiaciones diversas o de varias radiaciones simultáneamente. Esta diversidad o simultaneidad lleva a implicar al mismo tiempo radar y láser o radar o IR, etc., y asimismo, dentro de cada tipo de radiación, frecuencias diversas. Con ello se logra identificar mejor el objetivo y obligar a la diversificación infinita de las contramedidas. La complicación del sistema constituye un problema para los dispositivos de tratamiento de datos y de nuevo el factor tiempo pasa a cobrar importancia.

Por supuesto, a las medidas y contramedidas electrónicas hay que añadir otros desarrollos que pueden permitir que las armas con guía de precisión mantengan la favorable relación coste-eficacia que puso de manifiesto, por ejemplo, el *Exocet* en la guerra de las Malvinas. Así, los sistemas de lanza proyectiles múltiples capaces de generar pequeños subproyectiles guiados y las armas de gran poder destructor, como los proyectiles de carga hueca y perforadores, son elementos fundamentales en las armas con guías de precisión cada vez más complejas.

La complejidad y número de datos que han de ser procesados en el mínimo tiempo posible lleva al perfeccionamiento de los sistemas informáticos de tratamiento de datos. El aumento de potencia de los ordenadores va siendo posible gracias a la aparición de los nuevos materiales semiconductores y a medida que se llegue a disponer de los llamados sistemas expertos. Con ellos ya no se opera con datos estadísticos, sino que se aplican métodos de deducción contextual que permiten diferenciar el objetivo de forma más precisa y completa. La capacidad de razonamiento de estos sistemas expertos puede llegar a ser suficientemente grande para permitir solucionar problemas muy diversos e, incluso, ayudar en la toma de decisiones.

Un último tema debe ser mencionado aquí, antes de pasar a referirnos al futuro. Hemos dejado claro que la información acerca del armamento adversario es fundamental a la hora de las ECM. Pues bien, en este campo, a utilizar también en tiempos de paz, contribuye de forma decisiva la tecnología implícita en las telecomunicaciones ópticas que hemos tratado al hablar de la guía de armas. Programas como los ya en marcha, como el COMINT (*Communication Intelligence*), dedicado a captar transmisiones de radio, y fundamentalmente el ELINT (*Electronic Intelligence*), que tiene por objeto identificar las radiaciones electromagnéticas distintas de las de radio, que utiliza el adversario potencial, son de enorme interés actual y futuro.

Es difícil enumerar todos los avances tecnológicos previstos para la próxima década con impacto en las armas del siglo XXI. Trataremos algunos que se preveen útiles en los campos de la telecomunicación óptica y de la informática, con el fin de poder dibujar un perfil de las armas de este tipo.

En primer lugar, cabe esperar mucho en el desarrollo de los láseres de gas dinámico y químicos que emiten en determinadas bandas del infrarrojo, en las que la atmósfera terrestre es más transparente. Con ellos, la guía de armas y la comunicación óptica a grandes distancias

pueden ganar en precisión y eficacia. Además, a estas grandes distancias, la propagación del haz electromagnético tiene todavía serios problemas de alineamiento y divergencias a los que cabe esperar contribuyan las aportaciones de los ópticos.

En el campo de los detectores o sensores, la incorporación y desarrollo de los semiconductores III-V y de los II-VI, de los tipos del AsGa y del HgTe/CdTe, por ejemplo, permitirá ampliar la gama de frecuencias e intensidades a detectar y traducir señales a datos de interés. Asimismo, los sistemas criogénicos van a permitir la utilización de las propiedades eléctricas de los nuevos materiales a bajas temperaturas, fundamentalmente los semiconductores y los superconductores. Las señales más débiles y en las más variadas frecuencias podrán ser, sucesivamente, aprovechadas para obtener datos significativos.

Los problemas relativos a la velocidad de conmutación son de gran importancia. Los dispositivos ópticos bistables constituirán un avance en este sentido y en la aproximación hacia la utilización de circuitos ópticos integrados. A la tecnología electro-óptica actual le va a suceder en efecto la tecnología fotónica. En general, la aportación de la nueva generación de semiconductores, superando la era del silicio, y el desarrollo de materiales no lineales, básicos para el procesamiento de la información fotónica al producir un incremento importante en la intensidad de salida ante un pequeño aumento en la incidente, son temas de impacto en el futuro.

El desarrollo de la óptica integrada junto con la microóptica electrónica parte de componentes compactos que permiten tratar los sistemas cuando la señal incidente, la emergente, o ambas son señales luminosas. Esto permite velocidades de respuesta del orden del subpicosegundo. Asimismo, las ópticas ligeras (naves espaciales, misiles, etc.) y la óptica para láser (espejos deflectores y concentradores, etc.) van a encontrar gran apoyo en los componentes basados en sistemas holográficos.

El desarrollo de la informática, los microprocesadores y el avance de la fotónica van a permitir captar información en tiempo real y aplicar las señales para conseguir la conducta automática de sistemas. Los sistemas de visión tridimensional y la velocidad del procesamiento de datos en ordenadores fotónicos van a potenciar notablemente lo que ha dado en llamarse *armas inteligentes*. Los robot-armas pueden suplir al hombre en operaciones peligrosas. Los robots ya notablemente desarrollados en la industria podrán ser adaptados a operar en condiciones bélicas (con vibraciones, choques, polvo y condiciones ambientales contrarias) gracias al desarrollo de los nuevos materiales y de ópticas adecuadas con gran resolución y apertura.

A lo que podríamos llamar *armas inteligentes* se les sumará el vehículo autónomo capaz de operar en un ambiente hostil (incluso radiactivo, químico o biológico), capaz de evaluar las situaciones y de alcanzar los objetivos tácticos de una misión. Piénsese en que la complejidad de esta arma, ya sea terrestre, marina o aerotransportada, es que además de tener una gran visión diferenciadora ha de poder analizar e interpretar el entorno eligiendo caminos aceptables y que permita alcanzar el máximo de objetivos. El procesamiento de los múltiples datos procedentes de muy diversos sensores exige la utilización de sistemas expertos. Asequibles a tiempo más corto son los sistemas expertos que exigen la presencia simultánea del hombre y hacen misiones de copiloto, pero que, además de diagnosticar, aconsejan o desaconsejan, de acuerdo con su aprendizaje previo. Pero a poco más tiempo se habrán desarrollado las aplicaciones hoy limitadas a los robots, destinadas a la detección y retirada de minas y explosivos y las ya iniciadas con el *Strategic Computing Program de la DARPA (Defense Advanced Projects Agency)* hasta conseguir el vehículo autónomo o teledirigido capaz de leer mapas numéricos de la zona vigilada y responder adecuadamente al invasor o agresor.

Seguirán utilizándose en visión nocturna los intensificadores de luz y los equipos de visión térmica pueden ver aumentada su eficacia por el desarrollo de circuitos híbridos de transferencia de carga y de nuevos sensores. El uso simultáneo de radares de microondas y láseres ópticos de longitud de onda conveniente al medio ocuparán, quizá, un papel más relevante en la localización de objetivos y en la guía de armas.

Más adelante es posible que la diferenciación de los señuelos encuentre apoyo en haces de partículas capaces de detectar algo más que la superficie de los objetivos. Entre estas técnicas de discriminación figurarán posiblemente las basadas en la aceleración de átomos de hidrógeno que penetrando en el objetivo, provoquen neutrones y rayos gamma que puedan decir algo del material del objetivo. Evidentemente, estos sistemas serían sólo de uso en el espacio, con todos los problemas que ello implique. Hay un programa en desarrollo sobre estos sistemas, y cabe pensar no será difícil imaginar contramedidas adecuadas.

Un comentario final de este epígrafe creo que es necesario. Cuando se habla de la guerra electrónica y de la evaluación de las medidas, contramedidas, etc., estamos pensando en una amenaza global, en una confrontación entre grandes potencias, y no en confrontaciones u operaciones que quizá tienen mucha más probabilidad de producirse. Pues bien, mi impresión es que para estas otras confrontaciones u operaciones, el futuro inmediato asegura un dominio de las armas con guía de precisión. Unas armas que puedan diferenciar el objetivo tanto por su tamaño como por su composición y guiar hasta él una energía suficiente para anularlo. Y esto en tierra, mar y aire, sin más errores que los que cometa el hombre, a pesar de la ayuda de la informática. Son armas que tienen ya historia, pero creo que tendrán mejor futuro.

Impacto de nuevos materiales en el diseño de armas

Explosivos y materiales relacionados

Nos referimos en este epígrafe al posible impacto tecnológico sobre los propulsores y explosivos de interés militar y, en general, sobre las tecnologías de fabricación de munición y proyectiles.

En primer lugar, cabría pensar en la búsqueda de explosivos rompedores de mayor efecto destructor. Este efecto está relacionado directamente con la sobrepresión de la onda aérea generada, que depende a su vez de la raíz cúbica de la energía liberada en la explosión. Por este motivo, no hay que esperar efectos sensacionales por el uso de explosivos de más potencia. Se está cerca de las 1.600 Kcal/kg, y de ahí no se va a pasar. Otro problema de más interés está en relación con los efectos en contacto, de interés en las cargas huecas, aceleración de proyectiles veloces, comprensión de plasmas y armas nucleares, en donde sí cabe esperar notables avances. Se necesitan explosivos con una mayor densidad y velocidad de detonación, lo cual se ha encontrado ya, de hecho, en explosivos puros y fundamentalmente en mezclas. Asimismo, caben esperar notables avances a través de aditivos adecuados, que permitan mayor estabilidad térmica, mayor volatilidad, mayor facilidad de carga de proyectiles, etc.

El avance que se viene produciendo en la fabricación de nuevos polímeros va a permitir avances notables en las hoy denominadas Compositas Explosivas y Explosivos PBX (*Plastic Bonded Explosives*). Al uso actual de poliuretanos, metacrilatos, polimetacrilatos, etc., unidos a explosivos potentes y aditivos casi siempre metálicos que contribuyen a aumentar la potencia, se vendrán a añadir como polímeros otros, potencialmente interesantes, como los polipirroles, poliacetilenos, etc. Asimismo, el explosivo, hoy fundamentalmente octógeno, hexógeno, u otros de gran potencia, puede ser mejorado en cuanto a velocidad de detonación y a estabilidad frente a todos los agentes, por otros de la familia de los nitro-amino compuestos y derivados del estilbena, entre otros.

Los estudios que se viene haciendo sobre las diferentes variables de interés para las diversas aplicaciones de explosivos se aceleran notablemente gracias al desarrollo de los modelos teóricos. Partiendo de un alto número de parámetros como son la composición química, la temperatura y velocidad de detonación, la temperatura de autoencendido (de interés en las armas de tiro rápido) y, en general todas las propiedades termodinámicas del sistema, se puede evaluar un posible explosivo propulsor o rompedor e, incluso, predecir teóricamente el comportamiento de un sólido ante la explosión en una geometría determinada. Estos modelos teóricos van a producir gran impacto en la búsqueda de nuevos propulsantes y explosivos, y en la acción de una tecnología determinada. Su estudio recibe actualmente un gran impulso en la predicción de los mejores explosivos para su uso en armas nucleares fusión-fisión.

La tecnología de diseño de lentes explosivas, de absoluta necesidad cuando se requiere generar ondas de choque con una determinada geometría, encuentra también íntima relación con los modelos teóricos y en el desarrollo de cargas huecas, proyectiles veloces, etc. En este sentido, cabe añadir que todo el diseño de cargas huecas dirigido a conseguir perforaciones máximas experimenta avances gracias a los modelos teóricos y a la incorporación de nuevos diseños en los nuevos explosivos.

El diseño de lentes explosivas que generen ondas de choque con determinadas geometrías, pienso que puede impactar también el campo de los llamados blindajes reactivos, que hoy actúan sólo por impacto del proyectil enemigo sobre cargas explosivas situadas a cierta distancia del objetivo a defender. La activación de la lente explosiva puede producirse por el proyectil a distancia y su acción puede ser dirigida eficazmente por la lente.

Materiales estructurales

La ciencia de materiales ha experimentado un avance extraordinario en las últimas décadas y en el campo de las propiedades mecánicas promete prácticamente suministrar materiales a medida. Los materiales estructurales necesarios en la fabricación de armas son muy variados y según sus usos requieren un conjunto de propiedades que no solían concurrir simultáneamente en los materiales clásicos. Además, las tecnologías de armas requieren en ocasiones propiedades inusuales o extremas, hasta hace poco impensables y que los nuevos materiales van proporcionando.

Cabe afirmar que todos los avances últimos y futuros en el campo de los materiales estructurales van a tener impacto en las armas del futuro, por lo que una exposición detallada de este campo se sale de nuestros límites. Por eso nos centraremos en algunas de las demandas que están generando las nuevas tecnologías de armas.

Los blindajes requieren actualmente materiales con módulos elásticos altos, límites elásticos grandes para mantener la resistencia a la penetración, tenacidades de fractura elevadas para no permitir la propagación de fisuras y poco peso, por razones obvias. Pues bien, no existe ningún material sencillo que reúna estas propiedades. Los materiales modernos que más se aproximan son los cerámicos, pero en ellos habrá de corregirse su tenacidad. En ello se está en estos años. Los nuevos polímeros siguen estando distantes de momento por ser deformables y poco tenaces. Los materiales que han empezado a revolucionar los blindajes son los llamados materiales híbridos, de los que fueron precursores los realizados ya a finales de la pasada década a base de placas de acero y aluminio, con un entrelazado de material cerámico entre las capas del metal, que permite disipar mejor las energías cinética y térmica. Cabe añadir que posiblemente el énfasis de futuro se pondrá más en la movilidad que en el blindaje. No obstante, los blindajes con materiales híbridos que hoy se pueden utilizar unen resistencia a disminución de peso y, por tanto, movilidad.

De la misma forma que en los últimos años fibras sintéticas como el Kevlar (un polímero de la 1,4-fenileno-teroftalamida) desplazaron a otros materiales en la fabricación de cascos, y en la protección de aviones y barcos, frente a la pequeña metralla, otros polímeros reforzados con fibras de boro se vislumbran con más resistencia al choque y protectores más eficaces contra los efectos de pequeños proyectiles. Téngase en cuenta, además, que las propiedades de estos materiales híbridos depende no sólo de sus fibras reforzantes, sino de la matriz y de la geometría del esfuerzo. Aquí hay abiertos campos que pueden ser estudiados por simulación en algunos casos, como el de materiales híbridos con capas unidireccionales, con tejidos planos y con entramados tridimensionales, con el fin de predecir las propiedades termoelásticas del material. Asimismo, métodos teóricos aproximativos ayudan a predecir propiedades en materiales híbridos con geometrías internas menos definidas, como ocurre en los que contienen fibras cortas. Los estudios que se vienen haciendo abren enormes posibilidades a los materiales híbridos en las tecnologías de blindajes y protecciones.

El desarrollo de materiales estructurales adecuados, junto con avances en la tecnología de fabricación de cada pieza, va a desempeñar un papel clave en los sistemas aéreos y espaciales del futuro. Las necesidades de disminución de peso con el fin de aumentar el radio de acción y la velocidad, y disminuir el consumo, están ya al alcance de la mano al disponer de cerámicas y materiales híbridos, como los de fibra de vidrio utilizados en los sistemas de propulsión, o los de fibra de carbono en matriz de carbono, útiles en zonas que han de soportar altas temperaturas. Queda mucho por hacer para encontrar materiales más duros y más fáciles de procesar, y, por supuesto, en el propio diseño estructural. Pero ya es evidente que se va a facilitar la capacidad de la aviación militar para misiones a grandes distancias.

La relación empuje-peso con que se podrán equipar los aviones militares de la próxima generación superan la relación 10 : 1 y en unas décadas se aproximará a 15 : 1, gracias también a que el empuje de un gran motor de reacción se está multiplicando notablemente por disponer de materiales resistentes a muy altas temperaturas.

Las nuevas armas se van a beneficiar de proyectos actualmente en marcha como el de la futura nave transatmosférica del *Orient Express*, anunciada por el presidente Reagan en 1986, y por supuesto de los referentes a los vuelos espaciales. Este efecto se va a notar también en los satélites y misiles que reclaman materiales rígidos, de baja densidad, resistentes al calor y a la dilatación a altas temperaturas y que, además, han de ser buenos conductores del calor y de la electricidad. Los materiales híbridos tienen ya interés actual en los misiles estratégicos, pero si se consigue sustituir los actuales por otros más livianos, pero con resistencia térmica como el grafito, su alcance se verá notablemente mejorado.

La irrupción de materiales cerámicos, como el nitruro de silicio y sialones, que pueden ser sintetizados para obtener piezas complicadas muy resistentes al razonamiento, corrosión y temperatura, y además tenaces, ha tenido ya impacto en los motores a reacción, pero, además, puede hacer factible la utilización de turbinas de gas en los carros de combate. Cabe también que los materiales cerámicos citados mejoren el rendimiento de los motores diesel que hoy utilizan los carros, que a su vez se verían beneficiados en cuanto a menor peso y volumen.

Por añadir algún ejemplo más al impacto de los nuevos materiales estructurales citemos las nuevas aleaciones, como las de aluminio-litio (por su poco peso), las aleaciones de cobalto (resistentes hasta 1.000 °C), o las de titanio (también ligeras), etc., todas ellas de interés en determinadas partes de las aeronaves y, fundamentalmente, cara al futuro hay que esperar nuevas aportaciones de las técnicas de procesado de metales que pueden permitir obtener

el máximo provecho de los nuevos conocimientos microestructurales. Es el caso de la solidificación direccional, el hechurado superplástico y la solidificación rápida, por ejemplo.

Por último, una mención, no por breve menos importante, a las tecnologías encaminadas a modificar las propiedades de superficie de los materiales, y que cubren campos tan diversos como la modificación estructural de la superficie por las más diversas técnicas y la reparación de los daños más o menos superficiales con adhesivos de nuevos materiales como los plásticos embebidos con fibras de boro o de carbono, por ejemplo. Las aplicaciones de estas técnicas en las armas resulta evidente.

El sistema de armas que constituye un avión de combate no se modifica rápidamente, sino que los avances científicos y en la tecnología de base tienen impacto sólo tras quince o veinte años de su desarrollo. Pero muchas de las observaciones que aquí hacemos ya están siendo incorporadas en los diseños actuales, por lo que si otros factores políticos y económicos no lo perturban serán realidades en los comienzos del siglo XXI.

Materiales electrónicos, magnéticos y fotónicos

Son los materiales determinantes de las nuevas tecnologías y aunque podría hacerse una exposición más detallada en los fines de defensa, nos limitaremos a lo que se prevé en dos grandes temas: los circuitos integrados y los fotodetectores o sensores.

El componente fundamental de los dispositivos electrónicos es el transistor que, descubierto en 1948, ha sido objeto de una tendencia acusada hacia la miniaturización. La disminución del tamaño de los transistores reviste especial importancia en los satélites, aeronaves, misiles, etc., y, en general, en todos los sistemas en que los requisitos de tamaño, peso y consumo están muy restringidos.

El ritmo de la miniaturización ha sido notable. Desde anchuras de línea, que son las dimensiones mínimas características de un circuito, de 30 micrómetros en 1960 se ha llegado a anchuras del orden del medio micrómetro, fundamental para el desarrollo de chips con más de 100.000 transistores, útiles en operaciones lógicas de alta velocidad, y de pastillas capaces de almacenar más de 16 millones de bit de información.

Ir más allá en busca de mayores velocidades y capacidades es algo previsible en la próxima década, pero llegar a sobrepasar los 0,1 micrómetros requiere nuevos diseños de transistores, nuevos materiales y nuevas técnicas. Se comienza a prever incluso el paso a los biochips, para el desarrollo de los sistemas expertos, y en el problema de la grabación de estructuras cada vez menores se preveen aportes de la sustitución de la luz por electrones de alta energía, los rayos X y el grabado por plasma. Además, una mayor rapidez exige también aumentar las velocidades de conmutación, y esto lleva a superar la tecnología del silicio con la irrupción, por ejemplo, de los semiconductores con base en el arseniuro de galio, entre otros.

Por resumir de forma drástica, diremos que los trabajos actuales con transistores de semi y superconductores a bajas temperaturas y el posible desarrollo de futuro de las pastillas con moléculas orgánicas o biológicas, puede llevar a sentar las bases para ordenadores muy pequeños, ultrarrápidos y de gran capacidad.

En otro orden de cosas, el desarrollo de los láseres ha hecho posible pensar en que algún día sea la luz y no las señales eléctricas el medio ordinario para los intercambios de información. Y esto lleva al desarrollo de otra tecnología, la fotónica, que actualmente está centrada más bien en la conexión con la electrónica, pero que posiblemente lleve algún día a un superordenador totalmente fotónico. Los materiales con que se cuenta para dar estos pasos son, aparte del vidrio, los nuevos semiconductores y los materiales no lineales, a los que ya hicimos alusión al hablar de las armas con guía de precisión.

La tecnología de los fotodetectores o sensores tienen como base materiales semiconductores, pero son ya hoy en día extraordinariamente complejos, tanto en sus constituyentes como en cuanto a la forma de elaborarlos mediante tecnologías que han abierto las puertas a toda una ingeniería atómica de gran futuro.

Breves conclusiones

Después de los planteamientos de la SDI es difícil aventurar armas nuevas para principios del siglo XXI. Aquí no hemos centrado en algunas, omitiendo otras planteadas en la SDI, como las de haces de partículas y de energía cinética, que nos han parecido más distantes o de uso menos amplio.

Los campos actuales con más impacto en las armas del futuro son los constituidos por las ciencias nucleares, la tecnología de láseres, la electrónica, informática y ciencias de la computación, la telecomunicación, la fotónica y las ciencias de materiales. En cada una de ellas hemos señalado algunos aspectos concretos de especial relieve.

No vemos futuro a las armas químicas y sí a toda la defensa ABQ, que puede tener cierto poder disuasor.

Las armas fisión-fusión de segunda y tercera generación seguirán siendo los elementos disuasores en toda defensa de las grandes potencias, pero sus características serán depuradas tecnológicamente para hacerlas más idóneas para los fines militares.

Los láseres de potencia se desarrollarán sobre la base de los láseres de gas dinámico, químicos y de rayos X fundamentalmente para la defensa, o ataque, a puntos estratégicos, como armas de gran especificidad y singularidad. No cabe una generalización de estas armas en un plazo medio.

Las armas con guía de precisión seguirán mostrando su alta relación eficacia-coste, en lucha contra las contramedidas presentes y futuras, sobre la base de diversificar sus sistemas.

Los carros de combate aumentarán su eficacia sobre la base de sistemas de armas con guías de precisión y su mayor movilidad lograda a expensas de los nuevos materiales, que asimismo contribuirán a la eficacia de sus blindajes.

Es muy posible que se produzca un notable impacto de los sistemas expertos en la defensa a través de armas-robots de muy diversos tipos y de su utilización en el procesamiento rápido de los múltiples datos suministrados por los sistemas de detección y guía.

Los equipos de visión nocturna, intensificadores de luz y equipos de visión térmica se verán quizá impulsados tecnológicamente en su notable valor como sistemas de defensa.

La guerra electrónica será ganada por el que tenga información temprana y disponga de un sistema ágil de desarrollo tecnológico. Los sistemas de información serán afinados y constituyen un objetivo fundamental de toda defensa.

Los efectos en contacto de los explosivos de gran potencia serán mejorados y con ello se aumentará la eficacia de los sistemas de cargas huecas, aceleradores de proyectiles, compresión de plasmas y armas nucleares, mejorando, en general, el diseño de lentes explosivas, que generen ondas de choque con determinadas geometrías.

La aviación militar va a ver aumentado su radio de acción con la ayuda de nuevos materiales y, por supuesto, nuevos diseños. Evidentemente, el impacto tecnológico en un sistema de armas tan complejo como un avión de combate requiere mucho tiempo y decisiones económicas y políticas muy complejas y determinantes.

Los sistemas de detección y diferenciación de señales y los de procesamiento de datos van a experimentar grandes avances con el desarrollo de materiales como los semi y superconductores y de la sucesiva irrupción de la fotónica.