

Armas de energía dirigida: del mito a la realidad

Directed energy weapons: from myth to reality

César Pintado Rodríguez¹

¹ Teniente RV. CISDE (Campus Internacional para la Seguridad y la Defensa), España

cpintado1973@gmail.com

RESUMEN. Básicamente podemos definir las armas de energía dirigida como aquellas capaces de transmitir energía en una dirección concreta sin usar un proyectil. Dichas armas pueden clasificarse en función del tipo de energía transmitida, encontrando por una parte las que emplean ondas electromagnéticas, partículas atómicas o subatómicas.

A día de hoy, la mayoría de los esfuerzos se dirigen al desarrollo de los láseres de alta energía y las microondas de alta potencia. Si bien las primeras acumularon fallos iniciales y su desarrollo se centra de momento en la autoprotección contra ataques de baja intensidad, ambas presentan suficientes avances para contemplar su uso operativo.

Cabría esperar que en este tipo de armas, dadas sus enormes necesidades de inversión, investigación y desarrollo, sería Estados Unidos quien llevase la delantera. Sin embargo, la realidad es más compleja y la trayectoria de las armas de energía dirigida ha sido un largo camino de prioridades cambiantes, proyectos fallidos e innovaciones tecnológicas que han abierto otras posibilidades.

ABSTRACT. We can basically describe directed energy weapons as those capable of transmitting energy to a precise target without using a shell. Such weapons can be categorized according to the kind of transmitted energy, finding those the use electromagnetic waves, atomic and subatomic particles.

To this day, most efforts are aimed to develop high energy lasers and high power microwaves. If the first ones amassed initial failures and their development is currently focused on self-protection against low intensity attacks, both kinds present enough progress to regard their operational use.

US preeminence could be expected, given the huge investment, research and development requirements in this sort of weapons. However, reality is more complex and the course of directed energy weapons has been a long journey of changing priorities, failed projects and technological innovations that opened new possibilities.

PALABRAS CLAVE: Láser, Microondas, Pulso electromagnético, Armas de energía dirigida.

KEYWORDS: Laser, Microwaves, Electromagnetic pulse, Directed energy weapons.

1. Introducción

A pesar de que en el imaginario popular son un poco más recientes, fue el serbio Nikola Tesla quien hace más de un siglo propuso por primera vez el concepto de armas de energía dirigida desde una base científica. En su concepción, el “rayo de la muerte” sería capaz de proyectar partículas de distintos tamaños sobre pequeñas superficies a largas distancias. Sus investigaciones fueron financiadas por el gobierno estadounidense hasta que, ante la inminencia de la I Guerra Mundial, dedicó los fondos a proyectos más concretos.

El término “rayo de la muerte” se difundió a partir de 1924 con la publicación de los trabajos de Harry Grindell-Matthews y más tarde con obras de ficción como *La Guerra de los Mundos* de H.G. Wells. Esa y otras ideas dispararon la imaginación de escritores y cineastas, e impulsaron un género que había nacido para el gran público con Julio Verne: la ciencia-ficción. Pero fue en los 80 cuando el presidente Ronald Reagan propuso un ambicioso plan llamado *Iniciativa de Defensa Estratégica* (popularmente conocido como *Guerra de las Galaxias*) basado en sistemas de proyección de energía para la destrucción de misiles intercontinentales.

Tal plan resultó ser un inmenso “farol” y años después se demostró que la tecnología de la época no estaba madura para ofrecer esa clase de defensa. No obstante, años después, su sucesor George Walker Bush, volvió a poner sobre el tablero la idea con el llamado *Escudo Antimisiles*. Con nuevas tecnologías, nuevas amenazas y unos sistemas a menudo inadecuados para afrontarlas, las armas de energía dirigida han vuelto a aparecer como una posibilidad interesante (Grünschläger, 2016).

Podemos definir el espectro electromagnético como la variedad de todo tipo de radiación electromagnética. La radiación electromagnética (que puede expresarse en términos de energía, longitud de onda o frecuencia), se puede describir en términos de una corriente de partículas sin masa llamadas fotones, desplazándose en una longitud de onda parecida a la velocidad de la luz. Cada uno de estos fotones contiene cierta cantidad de energía. Cada tipo de radiación se define por la cantidad de energía contenida en los fotones. Las ondas de radio tienen fotones de baja energía; los fotones de microondas tienen un poco más y los de rayos infrarrojos más aún; en la escala ascendente seguirían los ultravioleta, los rayos X y los de más contenido energético serían los rayos gamma. Los láseres de alta energía a menudo funcionan dentro de la parte visible o infrarroja del espectro; los microondas de alta potencia con la parte de microondas de dicho espectro (Glenn Research Center, 2015).

Básicamente podemos definir las armas de energía dirigida como aquellas capaces de transmitir energía en una dirección concreta sin usar un proyectil. Dichas armas pueden clasificarse en función del tipo de energía transmitida, encontrando por una parte las que emplean ondas electromagnéticas (como los láseres de alta energía), partículas atómicas (las de microondas de alta potencia) o subatómicas (los haces de partículas).

A día de hoy, la mayoría de los esfuerzos se dirigen al desarrollo de los láseres de alta energía y las microondas de alta potencia. Si bien las primeras acumularon fallos iniciales y su desarrollo se centra de momento en la autoprotección contra ataques de baja intensidad¹, ambas presentan suficientes avances para contemplar su uso operativo.

Repasemos algunas de sus ventajas potenciales:

- Reducción de peso y tamaño. Si antes se necesitaba para la instalación de un láser de alta energía el espacio interior de un Boeing 747, para algunos modelos ese volumen se ha reducido a 2 m³ y el peso a un máximo de 750 kg (Ruiz, 2016).
- Reducción de costes de fabricación, instalación y uso. Muchos de los láseres de alta energía usan hardware que procede de otros programas de investigación² y los costes por disparo son nimios en

¹ Fuego de morteros, pequeños drones y embarcaciones neumáticas.

² El sistema Area Defense Anti-Munitions (ADAM) de Lockheed Martin, usa incluso hardware comercial.

comparación con los sistemas de misiles.

- Aumento de la potencia del haz de luz. Hoy la mayoría de los proyectos se centran en potencias de alrededor de 30 Kw, aunque los que están en fase de pruebas triplican y hasta quintuplican esa potencia. Los trabajos de investigación se están orientando hacia una potencia de hasta 1 Mw para la defensa antimisiles de largo alcance.

- Mayor seguridad para el personal.
- No hay impacto sonoro en su empleo.
- Drástica reducción de los daños colaterales, quedando sólo los que puedan generar los objetivos en su explosión o desplazamiento incontrolado.

- Precisión casi instantánea con los sistemas mejorados para estabilizar el haz de luz.

- Eliminación de los residuos de los disparos como vainas o balas.

- Más autonomía y menos problemas logísticos. Los nuevos láseres de alta energía usan baterías recargables de litio-ión, lo que hace que su autonomía de disparo esté limitada sólo por la cantidad de combustible de los vehículos en que se desplacen.

- Regulación de la intensidad. Se puede pasar de opciones como la advertencia luminosa o la inutilización de un objetivo hasta la destrucción del mismo.

- Posibilidad de cubrir varios objetivos en movimiento. Proyectos como el M-THEL³ de Northop Grumman alcanzar una velocidad de disparo que permite neutralizar múltiples proyectiles de morteros lanzados sobre una misma posición; o como el ADAM⁴ de Lockheed Martin.

2. El láser

El láser⁵ ya forma parte de nuestra vida y del campo de batalla en forma de telémetros o de designadores de objetivos, y consiste básicamente en la proyección de una radiación electromagnética de tipo monocromática, coherente o direccional. Según la longitud de onda empleada, se puede encontrar desde el infrarrojo hasta los rayos X. Para que el láser pueda ser usado como arma, se debe añadir al generador un proveedor de energía y un sistema de puntería y control para mantener su objetivo el tiempo necesario.

Huelga decir que a mayor energía, mayor probabilidad de alcanzar efectos letales. Pero también es importante la calidad del haz, o más específicamente, la capacidad de enfocarlos contra un objetivo concreto. Para los láseres, la variable M^2 representa la relación de un punto de haz de láser real y el de un haz perfecto (gaussiano) en la misma longitud de onda. Mientras que un valor de "1" representaría un haz perfecto, la diferencia entre uno y otro haz significa que el real se expande M^2 veces más que el perfecto. O expresado de otra manera, el punto del láser sobre el objetivo dado tendrá un diámetro M^2 veces mayor que el del perfecto láser gaussiano. Otras consideraciones, como la susceptibilidad de objetivos específicos, la distancia al objetivo, las condiciones atmosféricas, las contramedidas potenciales, la longitud de onda y otras variables complican aún más los cálculos de probabilidades de efectos.

No obstante, hoy se dispone de suficientes datos para perfilar la potencia necesaria para conseguir efectos letales contra diferentes tipos de objetivos (O'Rourke, 2010).

- Hasta 10 Kw: mini-drones.
- Decenas de Kw: drones, misiles antiaéreos portátiles, pequeñas embarcaciones, aeronaves, misiles de crucero y otras amenazas a menos de 2 Kms.

- Hasta 100 Kw: aviación tripulada, misiles subsónicos y mini-drones a largas distancias.

- Centenares de Kw: misiles, radares, drones de todo tipo, artillería, morteros, defensas aéreas, aeronaves y misiles de crucero a largas distancias, proyectiles de artillería y misiles balísticos en fase terminal y a corta distancia.

- A partir de 1 Mw: misiles balísticos transónicos, misiles de alta maniobrabilidad.

³ Mobile/Tactical High Energy Laser.

⁴ Area Defense Anti-Munitions.

⁵ Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation o amplificación de luz por la emisión estimulada de radiación.

Dicha arma presenta una serie de ventajas como:

- Viaja a la velocidad de la luz.
- No se ve afectado por la gravedad o el viento.
- Cantidad ilimitada de munición en función de la fuente de energía (Scott, 2014).
- Casi sin retroceso.
- No generan luz ni sonido perceptibles por el ser humano.

Por otro lado:

- Cuando la energía proyectar es de un megajulio por centímetro cúbico, la energía tiende a dispersarse en la atmósfera, sobre todo si hay partículas en suspensión (humo, niebla o polvo).
- La transferencia de energía sobre la superficie del blanco va evaporando la misma.
- Se necesita gran cantidad de energía y de refrigeración.

En función de la energía necesaria, cabría clasificar los láseres por objetivos:

- Alrededor de 10 Kw de potencia, aptos contra drones de pequeño tamaño.
- Alrededor de 100 Kw, aptos contra cohetes, proyectiles de artillería y de morteros.
- Varios centenares de Kw, aptos contra aviación tripulada y algunos misiles.
- Más de un Mw, aptos contra misiles balísticos y anti-buque a distancia de hasta 10 millas náuticas.

El camino hacia la utilización como arma comenzó con experimentos del laser de gas de dióxido de carbono y luego de láseres químicos, en los que el elemento activo podía ser el fluoruro de hidrógeno o fluoruro de deuterio u oxígeno, pasando luego a los sólidos cuando aparecieron los superconductores de alta temperatura.

Hoy la investigación se centra en los dispositivos de electrones libres. En éstos, la generación de luz del laser empieza con la aceleración de un haz de electrones a velocidades cercanas a la de la luz para hacerle atravesar un campo magnético periódico transversal e imprimiéndole una trayectoria sinusoidal, lo que emite luz (Osti, 2014). Las armas de laser de alta energía técnicamente maduras actualmente son adecuadas para aplicaciones defensivas. A medida que se alcancen potencias mayores también serán viables armas ofensivas. Como veremos más adelante, el factor más decisivo para la evolución de los láseres de alta energía fue la profunda redefinición de los objetivos de desarrollo a principios del presente siglo. Mientras que la cúpula del Departamento de Defensa priorizó los proyectos de láseres de alta energía como parte de la defensa estratégica antimisiles desde inicios de los 80, veinte años después esos proyectos se consideraron un desperdicio de tiempo y recursos.

Al mismo tiempo, los esfuerzos de desarrollo de ese departamento asociados a láseres de más de 1 Mw han crecido en importancia relativa. Las prestaciones previstas de velocidad, alcance, flexibilidad y precisión han convertido a las armas de energía dirigida una de las cinco áreas estratégicas que la Fuerza Aérea pretende potenciar en las siguientes tres décadas (USAF, 2014). La investigación prioriza especialmente los láseres de entre 10 y 150 Kw, principalmente para defensa de aeronaves.

Aunque la Armada busca desarrollar eventualmente sistemas de más de 1 Mw, como el de electrones libre contra misiles balísticos, los esfuerzos actuales están más en la línea de láseres menos potentes y tecnologías maduras. El mejor ejemplo de ello sería el laser de fibra de 33 Kw instalado para pruebas en el buque USS Ponce en noviembre de 2014. Este prototipo y su réplica en estado sólido, el Demostrador Marítimo de Laser, están diseñados principalmente para aplicaciones de protección de la fuerza, incluyendo la defensa contra drones y embarcaciones (Klunder, 2014).

Los esfuerzos de investigación del Ejército y del Cuerpo de Marines continúan y su comunidad científica sigue ocupada en el desarrollo de láseres de alta energía para defensa contra cohetes, artillería y morteros.



No obstante, las recientes investigaciones del Laboratorio Lincoln y Lawrence Livermore sugieren que puede ser factible aumentar significativamente el potencial energético de los sistemas de láser de fibra, abriendo la posibilidad de sistemas de cientos de Kw (Sánchez-Rubio, 2014). Al mismo tiempo, es importante subrayar las limitaciones del actual conjunto de tecnologías. El láser necesita una línea expedita hasta su objetivo. Su alcance eficaz puede reducirse debido a problemas con la propagación del haz y el rastreo óptico. Su utilización puede verse afectada por la temperatura y cuestiones de manejo. Y su letalidad por factores medioambientales y contramedidas.

Con algunas posibles excepciones, las armas láser aún no pueden de generar la energía necesaria para ofrecer una verdadera arma (Dunn, 2010). Ni están en posición de neutralizar las amenazas más peligrosas como misiles balísticos o misiles de crucero supersónicos. Enfrentarse a unos objetivos tan rápidos requiere un haz de gran calidad y un gran aumento de potencial energético. Si los láseres de estado sólido o los sistemas de fibra combinada alcanzasen una potencia de varios cientos de Kw, podrían proporcionar alguna capacidad. En última instancia, una solución más eficaz sería esperar a alcanzar una potencia de al menos 1 Mw para esa clase de objetivos.

Aún así, la Armada está satisfecha con los resultados del demostrador del USS Ponce y el desarrollo de la Maduración Tecnológica del Láser de Estado Sólido (Beidel, 2014). A pesar de eso, la financiación para esos proyectos sigue siendo problemática a la luz de las prioridades actuales del Departamento de Defensa.

Por ofrecer un balance parcial del desarrollo de las armas láser, el giro hacia sistemas menos potentes en entornos operativos ha ofrecido resultados netos positivos para el desarrollo de las armas de energía dirigida. Pero es necesario aclarar que muchas de las misiones previstas para los sistemas de la actual generación pueden ser cumplidas por alternativas disponibles; los láseres, en la mayoría de los casos, no ofrecen capacidades innovadoras de combate.

Los sistemas de baja potencia, a la luz de las evaluaciones realizadas, parecen adecuados para sus aún modestas aplicaciones. Es más, los sistemas actualmente en desarrollo aún no están listos para misiones de varios cientos de Kw y pueden generar expectativas de rendimiento exageradas. Puede anotarse en su haber el haber capitalizado las notables mejoras tecnológicas en áreas como el control y el seguimiento del haz, pero quizá su aportación más importante sea proporcionar una victoria rápida a las armas de energía dirigida. Si tal es el caso, podrían conseguir un “renacimiento” más amplio para el desarrollo de las tecnologías asociadas.

3. Las microondas de alta potencia

Al igual que los hornos, se basan en la emisión de un potente pulso de radiofrecuencia, orientado hacia su objetivo por una antena. Su empleo se orienta a la disrupción de diversos componentes electrónicos como transistores, diodos, etc. Sus efectos pueden compararse a los del pulso electromagnético generado por una explosión nuclear. Entre sus ventajas está que es inofensivo sobre las personas, además de requerir menos precisión y presentar mayor radio de acción que un láser.

4. Los haces de partículas

Con un perfil mucho menor, se trata de dispositivos con capacidad de acelerar partículas atómicas o subatómicas a velocidades cercanas a la de la luz y formar con ellas un haz capaz de transmitir su energía por impacto contra un objetivo. Hoy la producción de esas partículas no es problema y existen varias tecnologías para su aceleración, como los aceleradores electroestáticos o los resonantes y lineales.

La formación del haz puede ser con partículas cargadas o neutras. Si bien es más fácil acelerar las cargadas, las de igual carga se repelen al formar el haz y aumentan su divergencia. Por otra parte, el magnetismo terrestre y sus variaciones afectan a su desplazamiento.

Aunque esta tecnología está disponible, aún no se ha llegado al grado de desarrollo para pasar a los ensayos

en unidades de campo.

5. Las armas de pulso electromagnético

Un pulso electromagnético es la ráfaga de radiación electromagnética que se crea en una explosión nuclear o cuando se emplea un arma no nuclear de pulso electromagnético. También pueden producirse efectos similares de manera natural por la acción del clima solar. El pulso electromagnético puede ser de alta frecuencia, parecido a un rayo o a un calambre de electricidad estática, o de baja frecuencia, parecido a un fenómeno inducido por una aurora. Un pulso electromagnético puede desatarse en menos de un nanosegundo o puede durar más de 24 horas, dependiendo de su fuente. Las consecuencias van desde el daño físico permanente a la avería temporal de un sistema electrónico y puede resultar en incendios, descargas eléctricas y caídas críticas de servicios. Hay cuatro clases de pulso electromagnético:

- Pulso electromagnético a gran altitud como resultado de una detonación nuclear, a 25 kilómetros o más, y que tiene amplios efectos geográficos.
- Pulso electromagnético nuclear de fuente, cuando la explosión nuclear es a baja altitud dentro de la atmósfera y que afecta a una zona geográfica más limitada.
- Pulso electromagnético nuclear generado por un sistema, cuando un arma nuclear detona fuera de la atmósfera y envía rayos X que pueden afectar a sistemas electrónicos en órbita como satélites.
- Pulso electromagnético no nuclear, generado por armas de radiofrecuencia y que daña componentes, redes y sistemas electrónicos (Wales, 2012).

Los estudios anteriores a la primera bomba atómica ya preveían su existencia, pero los primeros resultados significativos pudieron ser medidos con las explosiones nucleares a gran altura como la Prueba Starfish Prime en julio de 1962.

Pronto quedó claro que su potencia y rango de frecuencias afectadas dependían de la potencia y la altura de la detonación. Posteriormente se desarrollaron diversos aparatos no nucleares generadores de pulso electromagnético, entre ellos el generador de compresión de flujo activado por explosivos y el generador magneto-hidrodinámico activado también por explosivos. En ambos, los resultados obtenidos son de bajas frecuencias de emisión y estrecho ancho de banda (Centro de Artículos, 2014).

Las armas de radiofrecuencia pueden definirse como dispositivos que producen y emiten energía electromagnética para dañar o averiar la electrónica objetivo. Cualquier cosa que use un circuito electrónico puede ser afectada. Algunos emisores de radiofrecuencia diseñados para aplicaciones no hostiles, como los radares y los transmisores de comunicaciones de microondas, también pueden usarse como armas de radiofrecuencia.

La repercusión de la avería depende de qué equipo ha resultado afectado, la manera, el momento y la función. Las armas de radiofrecuencia se han usado en el pasado para anular sistemas de seguridad, cometer atracos, entorpecer las comunicaciones de la policía, iniciar fuegos y provocar averías en la informática bancaria. Por ejemplo:

- En los países Bajos, un individuo averió la red informática de un banco local porque se le denegó un préstamo. Construyó un arma de radiofrecuencia del tamaño de un maletín con instrucciones que encontró en Internet.
- En Japón, dos miembros de la yakuza robaron de una máquina de juego de azar con una pistola de radiofrecuencia de alta energía para interferir en su funcionamiento y conseguir un premio.
- En Rusia, un delincuente robó en una joyería tras anular la alarma con un generador de radiofrecuencia que resultó ser no más complicado que ensamblar dos hornos de microondas.
- También se usaron armas de radiofrecuencia en varios incidentes en la Embajada de Estados Unidos en Moscú para provocar un incendio en una zona sensible.

6. El desarrollo

Cabría esperar que en este tipo de armas, dadas sus enormes necesidades de inversión, investigación y desarrollo, sería Estados Unidos quien llevase la delantera. Sin embargo, la realidad es más compleja y la trayectoria de las armas de energía dirigida ha sido un largo camino de prioridades cambiantes, proyectos fallidos e innovaciones tecnológicas que han abierto otras posibilidades.

Ese camino comenzó en plena Guerra Fría, cuando las tecnologías del radar, de la navegación y de la comunicación estaban lo bastante maduras como para poner satélites y hasta seres humanos en el espacio. En 1956, el Almirante Sergei Gorshkov anticipó que “la próxima guerra la ganará el lado que mejor explote el espectro electromagnético” (MacCaulay, 2011). Hoy se espera que los fondos dedicados a la guerra electrónica se doblen entre 2010 y 2020, alcanzando los cerca de 13.000 millones de euros (Markets & Markets, 2012). Pero la ventaja norteamericana no está clara. De hecho, en septiembre de 2014, el Subsecretario Accidental de Defensa para Investigación e Ingeniería Al Shaffer declaró que “hemos perdido el espectro electromagnético”, expresando su preocupación por la proliferación de equipos de guerra electrónica de altas prestaciones, de bajo coste y comercialmente disponibles (Freedberg, 2014).

Y es que, aunque el análisis histórico evidencia una brecha entre el potencial operativo de las armas de energía dirigida y el rendimiento real, la información reciente sugiere que estas armas ya están en el “menú”. Aproximadamente el 20% de los especialistas en seguridad nacional prevé que esa tecnología estará plenamente integrada en sistemas militares relevantes en los próximos diez años (especialmente en sistemas de protección de la fuerza), mientras que un 30% adicional coincide, en un plazo de 20 años (Brimley, Fitzgerald & Saylor, 2013). Los objetivos más probables van desde drones hasta ataques con cohetes o misiles.

Sea cual sea el objetivo concreto o el área de introducción de las armas de energía dirigida, para que éstas se hagan creíbles es necesario superar un legado de expectativas exageradas, pobres rendimientos técnicos e irrelevancia operativa. Parece el momento de hacer un alto y preparar una nueva hoja de ruta para aprovechar el nuevo ciclo inversor en un contexto de seguridad tan complejo. Pero es precisamente esa complejidad la que trae oportunidades insospechadas en los años de la “Guerra de las Galaxias”. En teatros como Oriente medio, las armas de energía dirigida pueden reforzar la protección de la fuerza contra pequeñas embarcaciones, enjambres de drones o proyectiles de mortero. Desarrolladas adecuadamente, en una década podrían proporcionar opciones de ataque no cinético contra sistemas integrados de defensa aérea o nodos de mando y control, lo que ofrecería más opciones en una escalada de conflicto.

El Departamento de Defensa de Estados Unidos ha invertido en tecnologías de energía dirigida desde los años 60 del pasado siglo. Algunos de sus productos, como los láseres de baja potencia, llevan años usándose en telémetros, designadores de objetivos o equipos de comunicaciones. Sin embargo, el desarrollo de láseres de alta potencia o de microondas ha sido mucho más problemático.

Las armas de radiofrecuencia son dispositivos que producen y emiten energía electromagnética para la disrupción o destrucción intencionadas de la electrónica enemiga (Technical Support Working Group, 2005). Ya en los 60, las pruebas nucleares atmosféricas mostraron los efectos potenciales del pulso electromagnético en los sistemas electrónicos. La perspectiva de un pulso electromagnético producido por una explosión nuclear sobre sistemas militares y civiles abrió la puerta a nuevas opciones de ataque y las necesidades de protección asociadas. En los 90, los analistas de defensa exploraban abiertamente la posibilidad de desarrollar bombas electromagnéticas y otras armas de destrucción eléctrica masiva (Kopp, 1996). Pero aún quedaba mucho para eso.

Tras la prueba Starfish Prime, los militares norteamericanos empezaron a considerar maneras de generar campos eléctricos de alta potencia que pudiesen usarse para dañar la electrónica soviética. Existió incluso un programa de Cabeza de Guerra de Efectos Especiales que intentaba explorar la factibilidad de quemar los radares y los sistemas de misiles enemigos mediante un solo disparo de pulso electromagnético de muy alta

potencia (Moran, 2015). Sin embargo, hasta los 80 los umbrales de daño era altos comparados con la potencia de microondas.

Los laboratorios de armas nucleares colaboraron estrechamente con los laboratorios militares en el diseño de microondas de gran potencia., incluyendo tecnologías de fuente y componentes, pruebas de efectos, endurecimiento de la electrónica y programas de demostración (Nelson & Anderson, 1997). A mediados de los 90, la Oficina del Secretario de Defensa reconoció que “las tecnologías están listas para construir dispositivos de radiofrecuencia”.

A lo largo de la pasada década, la comunidad científica norteamericana ha progresado notablemente en la tecnología de microondas de gran potencia. Éstos incluyen mejoras en fuentes de microondas, diseños de antena y otras limitaciones persistentes para conseguir unas configuraciones operativas de peso, tamaño y potencia. En conjunto, estos desarrollos sirvieron para reducir la huella física de los sistemas de microondas, lo que amplía la variedad de plataformas empleables, aumenta la densidad de potencia y extiende el alcance eficaz. También mejoran la capacidad del sistema para operar en diferentes frecuencias y por tanto contra diferentes tipos de objetivos.

Al menos cuatro programas han visto la luz. El Active Denial System, un sistema antipersonal no letal de onda milimétrica, llegó a ser desplegado en Afganistán en 2010 pero se abandonó antes de entrar en uso (Hlad, 2012). También se desplegaron dos sistemas contra electrónicos de microondas de alta potencia con base en tierra, el NIRF y el MAXPOWER, que se desarrollaron y probaron contra artefactos explosivos improvisados (Katt, 2010). Más recientemente, el Proyecto de Misil Contraelectrónico Avanzado de Microondas de Alta Potencia (CHAMP), un misil de crucero lanzable por aire con una carga de microondas de alta potencia, fue usado con éxito contra un grupo de objetivos electrónicos en una prueba en octubre de 2012 (Axe, 2012).

Se han propuesto armas de microondas de alta potencia para su uso como munición, como herramienta no letal para detener vehículos y barcos y otros tipos de aplicaciones. Al mismo tiempo, está claro que las comunidades de defensa china y rusa están explorando otros sistemas de armas de radiofrecuencia, aunque la información disponible es muy escasa.

Comparado con las armas de microondas, tradicionalmente los láseres de alta potencia han recibido más atención. Entre 1960 y 1975 se construyó el primer láser de rubí; se probó un sistema de láser de fluoruro de hidrógeno a nivel de 1 Kw, alcanzando los 100 Kw en poco tiempo; y el Programa Conjunto de la US Navy y DARPA mostró un sistema un láser químico de 250 Kw en un laboratorio (Olson, 2015). A comienzos de los 80, el rápido desarrollo de estas armas llevaron a la comunidad de defensa norteamericana a explorar la posibilidad de láseres de alta potencia, tanto en tierra como en el espacio, como defensa contra misiles balísticos. A través del MIRACL⁶, el Departamento de Defensa demostró el potencial de un láser químico de uno o más Mw para alcanzar blancos de alta velocidad. Tras alcanzar su máximo nivel de financiación al final de la Guerra Fría, tanto el desarrollo como la asignación de fondos se normalizaron hacia 2000 en unos 475 millones de dólares.

Ya en el presente siglo, las primeras pruebas en tierra sugirieron la posibilidad de un sistema fijo de láser químico como defensa antimisiles. Sin embargo, las dos grandes iniciativas del Departamento de Defensa en láseres de alta potencia, el Láser Aerotransportado y el Láser con Base Espacial, se centraban en la intercepción en la fase de aceleración, no en la terminal. El Láser Aerotransportado buscaba desplegar un láser de más de un Mw a bordo de un avión B-747 capaz de efectuar entre 20 y 40 disparos y que debía tener una capacidad operativa inicial en 2010. Los requisitos operativos del programa proponían un conjunto de misiones que incluían:

⁶ Mid-Infrared Advanced Chemical Laser o láser químico avanzado de guía semi-infrarroja.

- Neutralizar defensas aéreas.
- Detectar amenazas infrarrojas, acústicas, de radiofrecuencia y electro-ópticas contra el aparato, y mejorar sus contramedidas.
- Detectar objetivos nucleares, biológicos y químicos, y ayudar a evitar la contaminación.
- Proporcional una capacidad ofensiva contraespacial (Departamento de Defensa de EE.UU., 2015).

Por su parte, el Láser con Base Espacial estaba concebido como una constelación de armas en órbita capaces de destruir misiles en fase de aceleración en cualquier lugar del planeta. Se trataba de un proyecto a más largo cuya siguiente fase estaba a más de una década y cuya capacidad operativa inicial se preveía más allá de 2020. Con un presupuesto anual previsto de 140 millones de dólares entre 2000 y 2005, se trataba de un proyecto de envergadura, pero no tanto como el Láser Aerotransportado, con 165 millones anuales. Ambos programas abarcaban más de dos terceras partes del esfuerzo de I+D del Departamento de Defensa en láseres de alta potencia.

Ya que la defensa antimisiles era el eje del desarrollo de láseres de alta potencia, pero requería de una alta capacidad energética (del orden de 1 Mw), otras iniciativas de menos potencia podían acometer objetivos más “blandos”. Al calor de esa “liga menor” prosperaron programas como el HELSTAR⁷ y el ATL⁸. Los programas de HELSTAR para el Ejército estaban orientados a la defensa contra cohetes, artillería y granadas de mortero. Los programas de láseres tácticos para la Fuerza Aérea buscaban obtener una mayor precisión en los ataques aire-tierra.

Esos láseres sólidos de energía eléctrica no tenían los problemas logísticos de los láseres químicos, podían incorporarse a plataformas más reducidas e incluso de forma modular, lo que optimizaba los costes de mantenimiento. Esta evolución haría a los láseres de alta potencia, en principio, accesibles a una mayor variedad de plataformas y aplicaciones. No faltaban ideas en el Departamento de Defensa sobre la mejor forma de sacar partido a esas innovaciones. La Fuerza Aérea intentaba desplegar estos sistemas en su aviación táctica, en aparatos como el C-130, el V-22, el F-22 o el CH-47. El Ejército en vehículos como el Stryker y el Humvee (Ernhard, Krepinevich & Watts, 2009).

Por otra parte, los proyectos de láseres químicos tácticos encontraron gran cantidad de problemas. El Láser Aerotransportado y el Láser con Base Espacial dieron con nuevos desafíos técnicos y costes añadidos. Al mismo tiempo, la cúpula del Departamento de Defensa mostró un renovado entusiasmo respecto a opciones de defensa antimisiles a corto plazo, lo que inevitablemente redujo la atención y los fondos para los proyectos anteriores hasta su cierre.

El Comité Científico de Defensa en 2007 destacó que, a pesar de los años de trabajo y los fondos dedicados, el Departamento de Defensa aún no había desplegado un solo sistema de energía dirigida y que ese año había menos programas abiertos que en la última revisión seis años antes. También señaló la descoordinación entre los operadores y los desarrolladores, observando que “hasta que la demanda operativa genere prioridades” para las armas de energía dirigida y que “hasta que los fragmentados proyectos estén enfocados a llevar programas de Investigación y desarrollo a sistemas sobre el terreno”, hay “pocos motivos para esperar un progreso rápido” en el despliegue de armas de microondas de alta potencia o de láseres de alta potencia (DoD, 2007).

Estas y otras valoraciones más sobrias, pero sobre todo la fuerte crisis económica, tradujeron esos pobres resultados en una drástica reducción de los fondos. En 2007, el Departamento de Defensa invirtió 961 millones de dólares en láseres de alta energía. En cuatro años esa cantidad bajó a 414, un recorte de casi el 57%. Y para 2014 los fondos se redujeron a unos 344 (Gunzinger & Dougherty, 2012).

⁷ High-Energy Laser System-Tactical Army o sistema táctico de láser de alta potencia para el Ejército.

⁸ Air Force’s Advanced Tactical Laser o láser táctico avanzado para la Fuerza Aérea.

Incluso aunque el Departamento de Defensa rebajó sus expectativas e inversiones en láseres de gran potencia durante esos años, el nivel tecnológico de los láseres tácticos aumentó. Mientras que algunos proyectos como el DPAL⁹ y el FEL¹⁰ aún buscaban el láser de más de un Mw, la mayoría estaban enfocados a potencias de entre 10 y 100 Kw. Estos láseres claramente no eran útiles contra misiles balísticos, pero podían ser eficaces contra amenazas como drones, pequeñas embarcaciones y, eventualmente, contra cohetes, proyectiles de artillería y granadas de mortero. Es decir, estaban más orientados a las necesidades inmediatas del combate terrestre.

El tipo de láser también había cambiado. Los esfuerzos actuales están enfocados hacia la fibra combinada y el estado sólido. La Fuerza Aérea y la DARPA¹¹ están desarrollando un Sistema de Defensa de Área por Láser Líquido de Alta Energía (HELLADS¹²) para defensa de aeronaves que se prevé probar en un B-1. El Ejército y el Cuerpo de Marines continúan con sus respectivos esfuerzos para desarrollar un demostrador móvil de láser de alta energía y un sistema terrestre de defensa aérea de energía dirigida respectivamente. Por su parte, la Armada ha probado sistemas marítimos de defensa láser contra objetivos blandos como drones y pequeñas embarcaciones. A medida que esos esfuerzos alcanzan cierto grado de madurez, los militares se están mostrando más interesados en sus capacidades y posibles aplicaciones.

Al contrario de las optimistas estimaciones del Departamento de Defensa a principios de siglo, este renovado interés no está basado en la promesa de que las armas de energía dirigida son el futuro, sino en unas capacidades cada vez más testeadas que pronto pasarán a pruebas operativas y al despliegue sobre el terreno.

7. El cambio de enfoque

Con el recuerdo de una larga historia de promesas incumplidas, es importante comprender lo que las armas de energía dirigida pueden y no pueden ofrecer a corto y medio plazo. Algunas de estas armas han acabado demostrando suficiente madurez técnica y operativa para ser integradas en la estructura de fuerza naval, aérea y terrestre en la próxima década.

Si hace más de medio siglo, la prueba Starfish Prime galvanizó la atención sobre el efecto del pulso electromagnético generado nuclearmente sobre los sistemas electrónicos, la Comisión de Pulso Electromagnético se centró principalmente en la amenaza de una explosión nuclear a gran altitud sobre territorio norteamericano. Pero unos sistemas de microondas de cada vez mayores prestaciones plantean una amenaza creciente a las infraestructuras críticas en Occidente (KOPP, 2015). De hecho, la creciente dependencia social de la electrónica y la interdependencia de las infraestructuras críticas se combinan para crear una cada vez más evidente vulnerabilidad ante las armas de pulso electromagnético. Para Robert Charette, de IEEE Spectrum, “el riesgo sencillamente aumentará con el tiempo, a medida que una cantidad creciente de equipo digital electromagnéticamente vulnerable se integra en una infraestructura de información digital interdependiente” (Charette, 2012). Sin embargo, y aunque existe la opción de protección contra el pulso electromagnético (con un sobrecoste de entre en 1 y el 3% si se incluye en el diseño inicial), raras veces se incluye a la hora de diseñar infraestructuras o especificar componentes. A este respecto, la Instrucción 3222.03 del Departamento de Defensa emitida en agosto de 2014 y que articulaba la política de ese departamento para controlar los efectos electromagnéticos, es un paso bien dado para reducir la vulnerabilidad de las infraestructuras asociadas a la defensa.

Según Michael Abrams, de Discover Magazine, ya hay disponible tecnología de microondas de alta potencia que pone al alcance de cualquiera con los conocimientos técnicos fabricar una “bomba electrónica” en un garaje (Abrams, 2003). Mientras que las armas generadoras de pulso electromagnético no nuclear son

⁹ Diode-Pumped Alkali Laser.

¹⁰ Free-Electron Laser.

¹¹ Defense Advanced Research Projects Agency.

¹² High Energy Liquid Laser Area Defense System.



posibles y pueden producir importantes efectos disruptivos en zonas localizadas, algunos de éstos se han exagerado. Incluso si las armas de microondas de alta potencia pueden operar con cualquier tiempo, su alcance está limitado por principios físicos y su eficacia puede reducirse con protección y contramedidas. Como señala en antiguo Subdirector de la Agencia Nuclear de Defensa George Ullrich, la literatura popular a menudo combina dos escenarios muy distintos: el de un pulso electromagnético generado nuclearmente a gran altitud y el de un pulso no nuclear más localizado. “Eso lleva a pronósticos muy exagerados de un cataclismo de la electrónica que hace funcionar las infraestructuras causado por una bomba electrónica”. No obstante, “no debería sorprender que todos los componentes necesarios para fabricar esos dispositivos estén disponibles comercialmente” (Ullrich, 2011). Empresas privadas como e2v y Diehl ya ofrecen dispositivos de radiofrecuencia a las fuerzas de seguridad para aplicaciones como parar vehículos.

8. Conclusiones y recomendaciones

Mientras que al final de la pasada década, el desarrollo de las armas de energía dirigida estuvo a punto de llegar a su fin con la cancelación de grandes programas, hoy el Departamento de Defensa tiene una extraña amalgama de proyectos más que un programa vertebrado y cohesivo.

Estados Unidos ha hecho avances sustanciales en láseres de alta energía y microondas de gran potencia en los últimos años y los prototipos actuales permitirán desarrollos significativos en áreas clave. Pero la realidad es que el estado actual y el desarrollo previsible de esta tecnología no fructificará en armas operativas de energía dirigida en un futuro cercano. O más específicamente, los proyectos actuales pueden acabar en una serie de armas que aporten nuevas capacidades de combate a Estados Unidos y sus aliados, pero no serán decisivas.

El actor líder en el desarrollo de las armas de energía dirigida, el Departamento de Defensa de Estados Unidos, haría bien, a la luz de su pasada experiencia, en adoptar un enfoque cohesivo sobre ocho ejes:

1. Desarrollar y comunicar un plan estratégico. Durante años, las comunidades científica y de defensa norteamericanas han considerado cierta variedad de misiones para las armas de energía dirigida de manera prospectiva. Es decir, en línea a capacidades futuras. En la actualidad, cuando las tecnologías asociadas a esas armas han alcanzado cierta madurez, su rol para la defensa sigue sin estar claro. Y sin embargo, cada rama de las fuerzas armadas parece tener claro lo que necesita. Es hora de embridar esos enfoques y buscar sinergias de desarrollo. El nuevo plan debería integrar toda la variedad de tecnologías asociadas a las armas de energía dirigida y proporcionar una estrategia conjunta de I+D, conceptos de utilización y líneas de acción para planes de teatro.

2. Dedicar los recursos necesarios buscando resultados específicos. Los años de los grandes recortes parecen haber llegado a su fin, pero la asignación de presupuestos nunca deja de ser el reino de las decisiones difíciles. Los 405,3 millones de dólares que el Departamento de Defensa destinó en 2014 representan, calculando la inflación, un 36% del presupuesto de 2007 (DoD, 2014). Para mantener una posición competitiva en un entorno electromagnético en el que Rusia y China avanzan a pasos agigantados, este departamento debería elevar la inversión en guerra electrónica a unos dos millardos anuales (Shaffer, 2014). Sólo en I+D para el sistema de defensa antimisiles Aegis, ese departamento invirtió 910 millones. Es cierto que es difícil ver el incentivo en la maduración de una tecnología cuya adquisición futura es cuestionable y que las empresas se han vuelto más conservadoras en su I+D, sobre todo en sectores de incertidumbre prolongada. Pero si el Departamento de Defensa quiere obtener armas de energía para la próxima década debe asumir que debe doblar o triplicar la inversión en láseres de alta energía y multiplicar por cinco o diez la de microondas de alta potencia y armas de radiofrecuencia. Eso elevaría hoy la inversión en armas de energía dirigida a 1,3 millardos de dólares, lo que, calculando de nuevo la inflación, representaría aproximadamente la mitad de lo que gastaba en láseres de alta energía en 1989.

3. Buscar un campeón. El actual Secretario de Defensa James Mattis debería identificar dentro de su departamento una persona u organismo que catalice y coordine el desarrollo de las armas de energía dirigida. Un ejemplo de ello es la HEL-JTO¹³, que trabaja de manera transversal en las necesidades técnicas de los

¹³ High Energy Laser Joint Technology Office u Oficina Conjunta de Tecnología para Láseres de Alta Energía.

diferentes servicios, o el director de ingeniería e investigación de defensa. Una oficina conjunta de programa podría desempeñar un papel más importante en embridar esfuerzos de investigación en un contexto de recortes presupuestarios y plazos abreviados. Tampoco existe una comunidad de intereses para las armas de energía dirigida, sino que las tecnologías asociadas están diseminadas en varias.

4. Invertir a largo plazo. Las armas de energía dirigida tienen el potencial de una defensa antimisiles más eficiente y de otras muchas misiones, pero la verdad es que los proyectos actuales proporcionan soluciones para el grupo más bajo del espectro de amenazas. Unas defensas fijas mejoradas para las bases avanzadas, la defensa de la flota en aguas hostiles o una defensa estratégica contra misiles balísticos podrían brindar a Estados Unidos y sus aliados una libertad de acción mucho mayor en el anillo de seguridad de un adversario como Rusia, China o Corea del Norte. En definitiva, si se necesitan láseres o sistemas de microondas más capaces se debe invertir en consecuencia. Aunque el rendimiento técnico de los sistemas en los 80 dejaba mucho que desear, la lógica subyacente era la correcta. La cuestión es si la tecnología puede ofrecer tres décadas más tarde un resultado diferente, y, en caso contrario, averigua qué se necesita para obtener las capacidades buscadas. También es cierto que el mercado para las armas de energía dirigida de alto rendimiento es limitado y que no es probable hallar otros usos. Es por ello que la inversión debe estar guiada por la madurez tecnológica y la oportunidad. El departamento de defensa erraría al volver a apuestas de alto riesgo como el Láser Aerotransportado y con Base Espacial, más bien debe aumentar paulatinamente la inversión en tecnologías en maduración y, cuando sea el momento, adquirir esos láseres y armas de microondas que proporcionen capacidades efectivas.

5. Recoger la fruta madura. En la actualidad puede haber una o dos oportunidades a corto plazo la capacidad técnica y la utilidad operativa de los sistemas en desarrollo; y el primero de la lista es el láser instalado en el USS Ponce, cuyo sistema de 33Kw establece una base razonable para escalar al rango de los 100-150 Kw (Larter, 2014). Es más, el Vicealmirante Matthew Klunder, antiguo director de investigación naval, sostiene que ese sistema podría proporcionar valiosas capacidades de identificación, contra drones y contra pequeñas embarcaciones. De forma parecida, una vez que el Sistema de Láser Líquido de Alta Energía para Defensa de Área del Fuerza Aérea y la DARPA demuestre que con sus 150 Kw proporciona un haz de calidad aceptable, debería pasar a las pruebas de campo como posible opción para la defensa de aeronaves. Al mismo tiempo dos sistemas recientes de microondas de alta potencia ya han sido probados con éxito. El Sistema de Negación Activa puede, en teoría, desempeñar un rol de protección no letal en puntos fijos o en base proyectable. El otro sistema maduro, el CHAMP, un misil crucero de microondas de alta potencia, debería considerarse para su adquisición limitada por su potencial capacidad contraelectrónica a nivel operacional.

6. Estar pendiente de los desarrollos en el extranjero. Aunque Estados Unidos representa un tercio de la inversión mundial en I+D, la tendencia actual muestra que China, Japón, Corea del Sur y otros países aumentan su proporción de año en año. Para 2022, China puede superar a Estados Unidos en ese aspecto concreto (Grueber, 2014) y la ventaja competitiva será en todo caso más difícil de mantener en los próximos años. Por otra parte, esto ofrece la oportunidad de monitorizar, adoptar o combinar los desarrollos técnicos de otros países con el ahorro consiguiente. Los adversarios de Occidente también pueden beneficiarse de las tendencias tecnológicas y, en algunos casos como Rusia, intentar agresivamente contrarrestar la superioridad tecnológica de Estados Unidos y sus aliados. Para una mejor comprensión del panorama tecnológico relacionado con las armas de energía dirigida, el Departamento de defensa debería realizar una evaluación que:

- Presente opciones para adquisición, empleo operativo y desarrollo de políticas.
- Identifique riesgos y desafíos relevantes.
- Muestre vulnerabilidades y contramedidas potenciales.
- Subraye avances tecnológicos y brechas de capacidad.
- Esté formada y asesorada por personal especializado en las tecnologías relacionadas y de inteligencia.

Los laboratorios como Lawrence Livermore o Los Álamos tienen un papel esencial en proporcionar información sobre los hallazgos en el extranjero sobre armas de energía dirigida. Como parte de ese enfoque de amplio espectro, el Departamento de defensa debería considerar la creación de un programa integrado de investigación de armas de energía dirigida a nivel nacional. Los integrantes de ese programa deberían:

- Realizar una evaluación comparativa entre los esfuerzos de I+D en Estados Unidos y en el extranjero, mostrando tendencias y perspectivas.
- Identificar y priorizar los esfuerzos de I+D.
- Avanzar la ciencia y tecnología de base para el desarrollo de armas de energía dirigida..
- Proporcionar capacidades ofensivas y defensivas a los actores interesados.
- Hacer recomendaciones para mitigar el impacto de la sorpresa tecnológica.
- Crear la base para una asociación público-privada más robusta de innovación en estos sistemas.

7. Poner las armas de energía dirigida en contexto. Tanto si el Departamento de Defensa identifica un campeón o establece una comunidad específica de intereses, es importante asegurar que no se convierta en un feudo tecnológico. Este tipo de armas no son una panacea, sino un conjunto de herramientas dentro de otro mayor que de momento está encuadrado dentro de la guerra electrónica. Históricamente, la comunidad de defensa ha buscado el desarrollo de las armas de energía dirigida como una contrapartida (o sustituto) a las armas cinéticas. Por ejemplo, cuando se desarrollaba el Láser aerotransportado como una plataforma para defensa antimisiles. La Fuerza Aérea buscaba para su siguiente generación de cazas la capacidad de incorporar armas láser para el combate aire-aire (Majumdar, 2013). Otras tecnologías no cinéticas dentro del espectro electromagnético son consideradas a menudo como “facilitadores” más que como “armas”. A día de hoy, la relativa inmadurez de los sistemas de armas de energía dirigida ha impedido el desarrollo sistemático de un enfoque más holístico y probablemente más eficaz de las tecnologías de armas del espectro electromagnético. En conjunto, las herramientas de ciberseguridad, las armas de energía dirigida y otras tecnologías de guerra electrónica pueden proporcionar a Estados Unidos y sus aliados una importante ventaja militar cualitativa.

8. Planificar el éxito. Como punto de partida, los desarrolladores actuales pueden alcanzar nichos operativos o aumentar capacidades existentes. Pero si alcanzan la fase de despliegue, la mayor contribución de las armas de energía dirigida será cultural y orgánica. Integrarlas requerirá cambios en doctrina, formación, logística, política y otros aspectos. Desde una perspectiva más amplia, el desarrollo continuado y el eventual despliegue de estas armas puede reducir el riesgo operativo, crear nuevas opciones de combate y ofrecer nuevas líneas de acción.

Si bien existe el riesgo de poner el carro delante de los bueyes, dejar las cosas como están representa un riesgo equivalente: dejar el carro sin enganchar cuando el buey está preparado para salir.

Cómo citar este artículo / How to cite this paper

Pintado Rodríguez, C. (2018). Armas de energía dirigida: del mito a la realidad. *Revista de Pensamiento Estratégico y Seguridad CISDE*, 3(2), 37-50. (www.cisdejournal.com)

Referencias

- Abrams, M. (2003). The Dawn of the E-Bomb. *IEEE Spectrum*. (<http://spectrum.ieee.org/biomedical/devices/the-dawn-of-the-ebomb>)
- Axe, D. (2012). New Air Force Missile Turns Out Lights With Raytheon Microwave Tech. *BreakingDefense.com*. (<http://breakingdefense.com/2012/10/new-air-force-missile-turns-out-lights-with-raytheon-microwave-t/>)
- Beidel, E. (2014). All Systems Go: Navy's Laser Weapon Ready for Summer Deployment. Office of Naval Research. (<http://www.onr.navy.mil/Media-Center/Press-Releases/2014/Laser-Weapon-Ready-For-Deployment.aspx>)
- Brimley, S.; Fitzgerald, B.; Saylor, K. (2013). *Game Changers: Disruptive Technology and U.S. Defense Strategy*. Center for a New American Security.
- Charette, R. (2012). E-Bombs: What is the Threat?. *IEEE Spectrum*. (<http://spectrum.ieee.org/riskfactor/aerospace/military/ebombs-what-is-the-threat>)
- Department of Defense (2007). *Defense Science Board Task Force on Directed Energy Weapons*.
- DoD (2014). DoD. (<http://comptroller.defense.gov/budgetmaterials.aspx>)
- Dunn (2010). *Operational Implications of Laser Weapons*.
- Ehrhard, T.; Krepinevich, A.; Watts, B. (2009). *Near-Term Prospects for Battlefield Directed-Energy Weapons*. Center for Strategic and

Budgetary Assessments.

- Freedberg, S. J. (2014). US Has Lost 'Dominance In Electromagnetic Spectrum': Shaffer. *BreakingDefense.com*.
- Glenn Research Center (2015). National Aeronautics and Space Administration. *Switchboard in the Sky*.
- Grueber, M. (2013). 2014 Global R&D Funding Forecast. Battelle.
- Grünschläger, G. R. (2016). ESGN N° 62. Diciembre de 2016
- Gunzinger, M.; Dougherty, C. (2012). Changing the Game: The Promise of Directed-Energy Weapons. Center for Strategic and Budgetary Assessments.
- Hlad, J. (2012). \$120 million heat ray waiting for first action. *Stars and Stripes*. (<http://www.stripes.com/blogs/stripes-central/stripes-central-1.8040/120-million-heat-ray-waiting-for-first-action-1.171170>)
- Katt, R. J. (2010). Selected Directed Energy Research and Development for U.S. Air Force Aircraft Applications: A Workshop Summary (Washington: National Research Council, 2013), 21.
- Klunder, M. L. (2014). Rear Admiral. Chief of Naval Research, statement before the Subcommittee on Intelligence, Emerging Threats and Capabilities, Armed Services Committee, U.S. House of Representatives, March 26.
- Kopp, C. (1996). The Electromagnetic Bomb — a Weapon of Electrical Mass Destruction. *Air & Space Power Journal*. (<http://www.usairpower.net/ASPC-E-Bomb-Mirror.html>)
- Kopp, C. (2015). Exponential Growth Laws in Basic Technology and Capability Surprise.
- Larter, D. (2014). Navy's First Laser Gun Shines in Deployed Exercises. *Defense News*. (<http://www.defensenews.com/article/20141211/>)
- Majumdar, D. (2013). Air Force Seeks Laser Weapons for Next Generation Fighters. *news.usni.org*. (<http://news.usni.org/2013/11/20/air-force-seeks-laser-weapons-next-generation-fighters>)
- Mcaulay, A. D. (2011). *Military Laser Technology for Defense: Technology for Revolutionizing 21st Century Warfare*. Hoboken, NJ: John P. Wiley & Sons.
- Moran, S. (2015). Historical Overview of Directed-Energy Work at Dahlgren. *Leading Edge*.
- Nelson, S. D.; Anderson, R. A. (1997). EM Field and Instrumentation Diagnostics in Support of the LFT&E HPM Methodology Testing. UCRL-ID-128420. Lawrence Livermore National Laboratory.
- O'rourke, R. (2010). *Navy Shipboard Lasers for Surface, Air, and Missile Defense: Background and Issues for Congress*. Washington, D.C.: Congressional Research Service.
- Olson, M. (2015). History of Laser Weapon Research. *Leading Edge*.
- Ruiz Domínguez, F. (2016). DOIIEEE 12/16. *Armas de Energía Dirigida*.
- Sánchez-Rubio, A. (2014). Wavelength Beam Combining for Power and Brightness Scaling of Laser Systems. *Lincoln Laboratory Journal*.
- Scott, R. (2014). HIS Jane's Defence Weekly, 07/08/14. Flash to Ban.
- Shaffer, A. R. (2014). Principal Deputy, Assistant Secretary of Defense for Defense Research and Engineering, statement testimony before the Subcommittee on Emerging Threats and Capabilities, Committee on Armed Services, U.S. Senate, April 8, 2014.
- Technical Support Working Group and Directed Energy Technology Office (2005). *The Threat of Radio Frequency Weapons to Critical Infrastructure Facilities*.
- Ullrich, G. W. (2011). The E-Bomb: Urban Threat or Urban Legend?. In *Defense Threat Reduction Agency, Revolutions in Science and Technology: Future Threats to U.S. National Security*, ASCO 2011 014 (April 2011).
- Wales, B. (2012). Declaración ante el Subcomité de Ciberseguridad, Protección de Infraestructuras y Tecnologías de Seguridad. Comité de Seguridad Interna, US House of Representatives, 12 de Septiembre de 2012.