

Minas Aéreas

Contrarrestando la amenaza de los vehículos aéreos no tripulados a las aeronaves

TENIENTE CORONEL LESLIE F. HAUCK, III, USAF
CORONEL JOHN P. GEIS, II, PHD, USAF-RETIRADO

La Ley de Moore establece que el poder de procesamiento de los dispositivos electrónicos se duplica cada 18 meses. Esta duplicación ha mejorado la capacidad de los sistemas militares amigos y los de los adversarios. Extrapolar esta tendencia y los adelantos tecnológicos esperados sugieren que para el 2025 el helicóptero quadrotor o cuadrirrotor “quadcopter” ampliamente proliferado y sus sucesores tendrán la capacidad de volar autónomamente —velocidades mucho más altas, con vuelos más largos— y serán capaces de llevar a cabo maniobras de formación más complejas. Esos adelantos puede que sucedan pronto ya que las aeronaves no tripuladas ya están haciendo avances en este aspecto. Además, las aeronaves no tripuladas probablemente serán fabricadas con máquinas impresoras a un coste bajo y pronto tendrán armas.¹

Escenario: 12 octubre de 2025, Base Aérea Kunsan, República de Corea

Torre: “Juvat 01, vuelo de dos tripulado, dos no tripulado, hagan cola y esperen en la pista 3-6; depredación de Cyclops en progreso.”

Juvat 01: “Juvats, haga cola y espere en la 3-6.”

Torre: “Juvat 01, permiso para despegar de pista 3-6; seis Cyclops derrotados.”

Juvat 01: “Juvats permiso para despegar de pista 3-6; verificar auto detección/dispersen, aplástenlos!”

El vuelo Juvat de dos F-16V tripulados y dos aeronaves de flanco (“headhunters”) (HH por sus siglas en inglés) no tripuladas despegan de la pista para su misión de apoyo aéreo cercano en contra del régimen hostil de Kim Job Deux. Los miembros de la tripulación arman sus sistemas de energía directa (DE, por sus siglas en inglés) que —con el consentimiento del piloto— disparan una bandada de vehículos aéreos no tripulados empleando un radar de barrido electrónico activo (AESA, por sus siglas en inglés) con sistemas de detección integrados infrarrojos de búsqueda y rastreo (IRST, por sus siglas en inglés).

Aunque los pilotos que despegan y sus aeronaves de flanco no tripuladas tienen confianza en sus sistemas de defensa a bordo, esperan que los haces de microondas de alta potencia electrónica (HPEM, por sus siglas en inglés) disparados por la torre ya han sorprendido o destruido cualquier amenaza. A medida que el vuelo despegar, los pilotos no se tropiezan con “Cyclops” (vehículos no tripulados) hasta que llegan a su área de responsabilidad (AOR, por sus siglas en inglés). A medida que el vuelo Juvat escanea el AOR, los sensores AESA/IRST determinan múltiples vías pequeñas casi estacionarias sobrevolando a 10.000 pies por encima de las fuerzas amigas. Con la ayuda de los sistemas de enlace de datos proporcionando datos de vigilancia fusionados que incluyen la detección acústica de otras aeronaves amigas piloteadas por control remoto (RPA, por sus siglas en inglés), los

sistemas de los pilotos triangulan e identifican las amenazas y el Juvat principal coordina un ataque de haz HEMP. El piloto guía considera una técnica de “impacto directo” (lanzar una de sus bombas de aire a aire que produciría un efecto cinético y destruiría cualquier material nocivo que los vehículos no tripulados transporten). Sin embargo, la inteligencia evaluada de que los vehículos no tripulados norcoreanos no transportaban armas de destrucción en masa (WMD, por sus siglas en inglés), y él decide conservar sus misiles no renovables según su jerarquía de tiro. Lamentablemente, a medida que el ataque comienza el avión flanco no tripulado HH02 se aleja de la formación y el vuelo recibe el mensaje de texto “JL, HH02, MOTOR S2 FAIL, R2B, EMERG,” que indica que hay un problema desconocido en el motor del vehículo no tripulado —posiblemente dañado por la ingestión de escombros de objetos extraños de un vehículo no tripulado enemigo— y el vehículo regresa inmediatamente a la base. HH02 ha terminado por el día —o una semana o un mes.

En este artículo se evalúan los vehículos aéreos no tripulados como una amenaza realista en vuelo y se analizan posibles métodos para contrarrestar esta tecnología creciente. Se comienza discutiendo la amenaza futura de los drones y analiza posibles contramedidas para mitigar los ataques de drones contra recursos aéreos, incluyendo DE y opciones cinéticas. En esta investigación se sugiere que en la actualidad se necesita inversión adicional para contrarrestar el uso de bandadas de drones que pronto se podrían emplear como fuego antiaéreo o kamikazes contra aeronaves amigas.

La amenaza

En 1921 Giulio Douhet argumentó en su libro *The Command of the Air* (Comando del Aire) que las aeronaves se deben utilizar como armas ofensivas. Él concluyó que si uno deseaba derrotar a su adversario, debería atacar agresivamente en el aire a la fuerza aérea de su opositor —y más importante aún— en tierra. Douhet era escéptico de las defensas aéreas tales como la artillería antiaérea (AAA, por sus siglas en inglés) mayormente debido a la poca probabilidad de impacto (PH, por sus siglas en inglés) que él comparó con “un hombre tratando de atrapar una paloma mensajera persiguiéndola en bicicleta”.² Desde el escrito de Douhet ha habido muchos cambios pero el control del aire aún es esencial para las operaciones aéreas y terrestres esenciales amigas. Sin embargo, lo que ha cambiado, con respecto a las teorías de Douhet, es la oportunidad de atacar aeronaves enemigas antes de que se conviertan en una amenaza, un concepto expresado por Winston Churchill en 1914: “la gran defensa contra la amenaza aérea es atacar las aeronaves enemigas lo más cerca a su punto de partida”.³

La idea de los drones moviéndose y obstruyendo los cielos —esperando que una aeronave choque con ellos o inclusive el concepto de drones asestando aeronaves y logrando un ataque estilo kamikaze— parece análogo a la manera que los globos de hidrógeno fueron empleados en la Segunda Guerra Mundial cuando los agresores los empleaban como obstáculos.⁴ La idea también puede relacionarse con las capacidades y las tácticas AAA que se han proliferado en contra de aeronaves hoy en día.

Durante la Segunda Guerra Mundial, amigos y enemigos por igual utilizaban globos de los cuales colgaban alambres gruesos e impenetrables negándole el área a aeronaves volando a bajo nivel.⁵ En la actualidad esta táctica se conoce como “defensa de barrera de fuego”, que se extiende más allá de los globos a la AAA y drones para defender los recursos de ataques aerotransportados. Hoy en día los actores disparan artillería en áreas específicas con la esperanza de atacar las aeronaves de los adversarios que se aproximan, ocasionando daño a las aeronaves y evitando un ataque exitoso. Si bien durante la Segunda Guerra Mundial estas tácticas no fueron precisas, con expresiones como *defensa de barrera de fuego* y *cortina de fuego*, la tecnología mo-

derna permite más precisión al atacar las aeronaves que se aproximan. Hoy, los sistemas de rastreo de radar permiten AAA de fuego dirigido, con mayor PH.

Similar a la AAA de fuego dirigido, dentro de poco los drones contarán con una capacidad de cazar y destruir. Hoy en día los algoritmos existen para programar a los drones con la capacidad de “ver y evitar” según se demostró en el Massachusetts Institute of Technology (MIT) con un software comprobado de lógica autónoma. En el estudio de MIT, un estudiante de posgrado en el laboratorio de inteligencia artificial de la escuela utilizó un algoritmo de estereovisión de fuente abierta que le permite a los “drones detectar objetos y crear un mapa completo de sus entornos en tiempo real...a 120 fotogramas por segundo.”⁶ Uno puede deducir que este algoritmo se puede invertir para ver y no evitar.

Estos adelantos tecnológicos permitirán el empleo de drones con una mentalidad ofensiva, no como una barrera defensiva como se sugiere en el estudio de MIT. Estos drones se están tornando más capaces y más económicos. En la tabla que aparece a continuación se ilustra una lista de los drones comerciales principales que están disponibles desde diciembre de 2016. Incluso al momento de este artículo ir a la imprenta, los precios que aparecen en la lista están disminuyendo —algunos por más del 50 por ciento desde el 2015.⁷

Tabla. Muestreo de Drones – Diciembre de 2016

	Nombre del Modelo	Precio (USD\$)	Tiempo de Vuelo	Otro	Altitud (pies) / Velocidad (nudos)	Tamaño (mm) LxWxH
Drones con Cámaras	DJI Inspire 1a	\$2,899	> 30 min.	Evasión de obstáculos	* / 40	~450 x 450 x 300
	DJI Phantom 4b	\$1,399	18 min.	Exactitud de planeo sólida	19,685 MSL** / 38	350 mm diagonal
	Yuneec Typhoon H 4kc	\$1,199	25 min.	Transmisión de hasta 1,6 km	* / 40	520 x 457 x 310
	3DR Solod	\$999	20 min.	Batería de 15 min con carga útil	* / 48	250 x 460 x 460
	Yuneec Q500 4Ke	\$929	25 min.	Modos de vuelo mirame y sígueme	* / 15.5	420 x 420 x 210
	DJI Phantom 3f	\$499	23 min.	Régimen de ascenso de 16 pies por segundo	19,685 MSL / 31	350 mm diagonal
	Parrot Bebopg	\$199	unknown	Fibra de vidrio liviana (400 g)	se desconoce / 25	280 x 320 x 36

Drones de Carrera (carbon clase FPV)	TBS Vendettah	\$499	5 min.	Recorrido de 3 km	4265 AGL /se desconoce	230 x 220 x 50
	Lumenier QAV250i	\$539	FPV (first person view) (vuelo en primera persona) estructura personalizada para drones de 250 mm; especificaciones dependen de opciones de fabricación			
	IRC Vortex 250 Proj	\$499	También depende de personalización		se desconoce / > 60	250 mm clase
	Eachine Racer 250 RTFk	\$359	10–14 min.	Radio de acción de 30 m	se desconoce	220 x 233 x 50
	IRC Vortex 285I	\$329	También FPV con OSD (visualización en pantalla), con características similares a otros drones de carrera			
Drones Juguetes	Parrot AR Drone 2m	\$250	12 min.		328 AGL / 22	517 x 517 x 127
	LaTrax Aliasn	\$97	15 min.		se desconoce / 15	166 x 166 x 43
	Blade Nano QXo	\$74	8 min.	Capacidad de carga útil muy pequeña	no se especifica	182 x 160 x 63.5
	Syma X5Cp	\$44	7 min.	Radio de acción de 30 m	no se especifica	310 x 310 x 80
	Hubsan X4q	\$34	13 min.	Radio de acción de 300 m	no se especifica	76 x 25 x 10
	Proto Xr	\$30	unknown	pesa solamente .4 oz.	no se especifica	50 mm diagonal

(Fuente: Rango, precio y tipo de información provienen de <http://myfirstdrone.com/tutorials/buying-guides/best-drones-for-sale/>. Información específica adicional se puede encontrar en los siguientes sitios web que aparecen a continuación.)

^a<http://www.dji.com/inspire-1/info#specs>

^b<http://www.dji.com/inspire-1/info#specs>

^chttps://www.yuneec.com/en_US/products/typhoon/h/specs.html

^d<https://3dr.com/solo-drone/specs/>

^ehttps://www.yuneec.com/en_US/products/typhoon/q500-4k/specs.html

^f<http://www.dji.com/phantom-3-pro/info>

^g<https://www.parrot.com/us/drones/parrot-bebop-drone#technical>

^h<http://www.team-blacksheep.com/tbs-vendetta-manual.pdf>

ⁱ<http://www.lumenier.com/products/multirotors/qav250>

^j<http://www.immersionrc.com/fpv-products/vortex-250-pro/>

^k<http://drones.specout.com/1/396/Eachine-Racer-250#Specs>

^l<http://www.immersionrc.com/fpv-products/vortex-racing-quad/>

^m<http://drones.specout.com/1/93/Parrot-AR-Drone-2-0#Flight&s=2Av3RI>

ⁿ<http://drones.specout.com/1/90/LaTrax-Alias-6608#Specs&s=1104SX>

^o<http://drones.specout.com/1/40/Blade-Nano-QX#Specs&s=1104SX>

^p<http://www.symatoys.com/goodshow/x5c-syma-x5c-explorers.html>

^q<http://quadcopterhq.com/hubsan-x4-h107c-review/>

^r<http://www.protoquad.com/protos.html>

*Muchas especificaciones de drones colocan al AGL de 400' (nivel por encima de la tierra) como la altura máxima que es la restricción de altura de la Administración Federal de la Aviación. Sin embargo, los drones por lo regular son capaces de alcanzar altitudes de hasta 20.000', siempre y cuando la distancia está dentro de la recepción del transmisor.

**Nivel del mar

Además, los drones probablemente pronto contarán con un tiempo de espera sobre el blanco significativamente más prolongado. La tecnología de batería de almacenamiento eléctrico está avanzando rápidamente. Por ejemplo, en la Universidad de Cambridge, la batería de litio-aire de “densidad de energía bien alta y más del 90 por ciento eficiente” promete dar un aumento en potencia y resistencia diez veces mayor, y durante la próxima década se podrá obtener comercialmente.⁸ Esta tecnología ni siquiera tiene en cuenta otros desarrollos que aún están por verse, como aerodinámica más eficiente y componentes más ligeros. Un incremento diez veces mayor en la potencia de la batería produciría una duración del vuelo de más de tres horas para varios de los drones que aparecen en la tabla.

Si bien las aves por lo regular intentan una maniobra desesperada para evitar las aeronaves que se aproximan, ese no es el caso con un drone de ataque. Los drones de ataque tendrán una PH elevada. Por regulación, los pilotos de la USAF deben terminar sus misiones de entrenamiento si se sospecha o si hay un choque con aves; obviamente, también tendrían que terminar si hay un ataque con drones. Por ejemplo, en un impacto reciente de un RQ-7 con un C-130 en Afganistán no solamente se rompió un tanque de combustible sino que también dañó un larguero del ala y el cajón del ala.⁹

Los choques entre las aeronaves y los drones serán mucho más destructivos que los choques con aves a causa del material del que está compuesto el drone y la posibilidad de una velocidad relativa de impacto mucho más elevada.¹⁰ Alexander Radi, un investigador de la Autoridad Australiana para la Seguridad de Aeronaves Comerciales (Australian Commercial Aircraft Safety Authority), observa que las aves “se comportan como los fluidos” al hacer impacto, con “la desintegración y el flujo del ave absorbiendo la energía, que disminuye las fuerzas de impacto”.¹¹ Los drones son diferentes. Un “impactador no deformable...crea un campo de no deformación localizado en el material objetivo con fuerzas máximas elevadas, que apoya...la falla en el material”.¹² Ese impacto, particularmente cerca de un motor, podría resultar en una falla en el motor que pudiese ser catastrófica —especialmente para aeronaves de un solo motor como el F-16 o el F-35. Además, de la misma manera que los impactos de aves obligan a que se termine la misión, un impacto con un objeto de metal duro podría disminuir el éxito de la misión y aumentar el tiempo de paralización de la aeronave.

Una suposición común en los artículos de choques de drones que comparan el daño de los choques de drones a choques con aves es que los drones no estarán en bandadas y por lo tanto tendrán una PH más baja que una bandada de aves. Esta suposición está errada si un adversario utiliza tácticas de enjambre (swarming). Si bien la tecnología está en pañales, la Escuela de Posgrado de la Armada (NPS, por sus siglas en inglés) demostró la tecnología swarming en agosto de 2015, controlando manualmente 50 drones con un solo controlador.¹³ La NPS utilizó Wi-Fi y algoritmos en su prueba, y pronto agregará mayor autonomía.¹⁴ Esta capacidad está creciendo rápidamente. El año pasado, la Intel Corporation fabricó una exhibición de luces durante las fiestas para Disney Springs cerca de Orlando, Florida, con 300 drones en formaciones de cambio complejas, también con un solo controlador.¹⁵ Algún día los drones también volarán con cargas útiles de bombas o WMD, armas DE como los láseres o microondas de gran potencia (HPM, por sus siglas en inglés) y otro tipo de armamento en miniatura. Sin embargo, aún con solamente su material no orgánico y su programación de acechar y aniquilar, lógica de swarming y automatización, los drones pronto serán una amenaza sustancial a las aeronaves y nuestro apresto para el combate.

Contratáticas

El fuego antiaéreo del enemigo era una preocupación mayor que los globos de barrera en la Segunda Guerra Mundial, y muchas de las 22.952 pérdidas operacionales de EE.UU. durante la Segunda Guerra Mundial fueron atribuidas a ello.¹⁶ Con el fin de mejorar las probabilidades de supervivencia, los pilotos de aeronaves de combate y de bombarderos aumentaron sus altitudes y alteraron sus rumbos.

Con los drones, las contramedidas aún no se han desarrollado completamente, pero los dispositivos DE y de destrucción cinética tienen el potencial de sorprender o destruir drones. Si bien es posible “disparar” DE antes de una trayectoria de vuelo para despejar amenazas, las inquietudes de daño colateral hacen que esta opción sea problemática. Minimizar el daño colateral requeriría identificar una amenaza específica y seleccionar el arma correcta para derrotarla.

Entre las opciones de detección que pueden localizar e identificar las amenazas de los drones se encuentran audio (escuchar rotores), emisión electrónica, óptico (rastreo visual), radar, detección y medición de distancias por luz (LIDAR, por sus siglas en inglés) e infrarrojo (IR, por sus siglas en inglés). El reto con todos estos tipos de sensores es que solamente son marginalmente eficaces en detectar aeronaves furtivas, tales como un B-2 muy grande con dimensiones de 69 x 172 x 17 pies.¹⁷ Detectar drones de 40 x 40 milímetros será mucho más difícil.

Los procedimientos actuales para encontrar aves y otros peligros pequeños alrededor de los campos aéreos pueden ayudar pero no resolverán los problemas que ya existen con la amenaza de los drones, como por ejemplo cuando uno chocó con un 727 de la aerolínea British Airways el 17 de abril de 2016. Los controladores en la torre utilizan prismáticos para localizar aves rapaces u otras más pequeñas que vuelan cerca de los corredores de llegada y salida, y los pilotos hacen llamadas por radio advirtiéndoles a otros pilotos sobre las amenazas de las aves. Estos procedimientos puede que sean menos eficaces con los drones, tomando en cuenta su capacidad de evadir y su tamaño más pequeño que un ave. Un enjambre de 100 drones —que en el futuro puede que cueste alrededor de US\$1.000 por *todo* el enjambre —sería más visible que un solo dron. Sin embargo, la capacidad de un adversario de disminuir la densidad del enjambre aumentando el espacio entre los drones disminuiría la detección visual. Un beligerante podría separar los drones en un patrón que optimice el PH basado en el tamaño de la estructura de la aeronave del adversario esperada, que podría tornar difícil la detección visual.

Los cuadricópteros tienen un gimoteo de sonido elevado que proviene de las palas de las hélices y los motores, y dicha firma acústica presenta un tipo de opción para detectar el dron. Un sistema de detección acústica sencillamente registra el sonido detectado y lo compara con firmas acústicas conocidas en una base de datos para la identificación utilizando múltiples fuentes para la geolocalización.¹⁸ No obstante, Zain Naboulsi, oficial ejecutivo en jefe de Drone Labs, mencionó que si bien la detección acústica le agrega valor a un sistema de detección de drones de fuente múltiple —relativamente fácil de diseñar, usar y comprar— no tiene la misma eficacia que otras opciones para detectar drones, en gran medida a causa del ruido ambiental y las limitaciones de distancia.¹⁹

Electroóptico (EO, por sus siglas en inglés), comúnmente considerados como sistemas de televisión, se emplean en la actualidad como habilitadores de detectar y rastrear en muchos sistemas de armamento. Entre los ejemplos se encuentran los contenedores avanzados de búsqueda de blancos en las aeronaves de combate para lanzar bombas, como el contenedor avanzado de búsqueda de blancos LITENING “Gen 4” de Northrop Grumman; misiles de aire a superficie como el misil táctico de aire a tierra AGM-65H/K Maverick de Raytheon y en sistemas de detección de drones de aniquilamiento como el sistema compacto de armas láser (CLWS, por sus siglas en inglés) de Boeing.²⁰ Estos sistemas de armamento integran dispositivos de carga acoplada (CCD, por sus siglas en inglés) para producir imágenes digitales de alta resolución. Muchos de estos sistemas que utilizan EO para detectar también tienen una capacidad de rastreo IR que aumenta el sensor EO.

Un modo IR también podría ayudar a detectar y rastrear drones, aunque la fuente de calor de un dron es mucho más pequeña que la de una aeronave típica, requiriendo que el sistema cuente con parámetros de funcionamiento diferentes que los que se utilizan en sistemasIRST estándar. Aún así, la detección IR no se debe descartar para la detección de drones. Por ejemplo, la Figura 1 es una ilustración del CLWS de Boeing utilizando EO/IR para rastrear un dron en un entorno de clima no desfavorable.

Una de las limitaciones serias de utilizar EO/IR para detectar y rastrear drones es que las condiciones ambientales desfavorables degradan significativamente sus capacidades. Si bien adelantos tecnológicos como los CCD hacen que la detección electrónica sea superior a la capacidad del ojo humano, aún son afectados por nubes, neblina y humo. Los drones y las aeronaves aún pueden funcionar en las nubes.

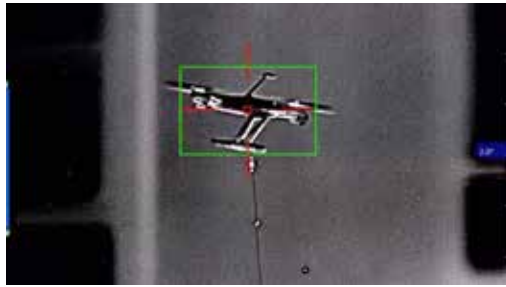


Foto cortesía de Boeing

Figura 1. EO/IR Rastreo en un drone con el sistema compacto de armas láser de Boeing

Como un sensor, el radar puede detectar drones, pero radares legados como el AN/APG-68 en la mayoría de los F-16 de hoy en día requeriría mejoras en la codificación del software y la potencia de procesamiento. Aún así, esos radares más antiguos tendrían un éxito limitado en detectar drones a causa de la sección cruzada pequeña del radar y el rendimiento de un Doppler muy pequeño, especialmente si el drone estuviese casi estacionario y esperando por un blanco que se aproxima.²¹ Además, el APG-68 tendría problemas distinguiendo un blanco de interferencias terrestres o aves, lo que significa que habría muchos procesamientos falsos que no son drones. Si los F-16 fuesen actualizados con un radar escalable de haz ágil (SABR, por sus siglas en inglés), APG-83 —un radar AESA mencionado en el escenario de combate al inicio— las aeronaves de combate legadas podrían al menos tener una oportunidad para detectar drones.²² Radares como el SABR tendrían mucho más éxito ya que tendrían una mayor resolución y agilidad de frecuencia.

Otro adelanto que podría ayudar en la detección de drones es el LIDAR o radar láser. Avances tecnológicos esenciales aún son necesarios para que tenga éxito en detectar objetos en vuelo, pero hay potencial.²³ LIDAR puede detectar la “estela de escape de una aeronave a propulsión que contiene concentraciones de hidrocarburos en el orden de partes por millón, que puede ser 100 o más veces la concentración atmosférica de fondo”.²⁴ El programa del Laboratorio de Investigaciones de la Fuerza Aérea (AFRL, por sus siglas en inglés) conocido como Interrogación Vibratoria para el Aprovechamiento del Campo de Batalla (Vibration Interrogation for Battlefield Exploitation) busca utilizar la tecnología de vibrometría láser para detectar la vibración del motor u otras perturbaciones para la identificación.²⁵ Aunque puede que los drones no tengan un penacho de escape como una aeronave de ala fija o RPA más grande, la tecnología LIDAR puede que aún beneficie la detección de drones. LIDAR aún enfrenta restricciones ambientales discutidas anteriormente para EO/IR ya que sus longitudes de ondas tienen dificultad al penetrar condiciones de neblina o días nublados. No obstante, LIDAR puede “ver” a través de una bruma ligera —siempre y cuando el agente oscurecedor no sea tan opaco de manera que ningún fotón regresa a la fuente de detección.²⁶ Muchas personas en la actualidad se están familiarizando con LIDAR, incluso si no lo saben, con autos que se manejan solos y control de cruceo adaptable.

Cualquier sistema que se comunica —ya sea de drone a drone con Wi-Fi, tal como se empleó en el proyecto NPS, o con control de frecuencia de radio como los muchos sistemas de drones que aparecen en la tabla anterior— emiten señales que se pueden detectar. Un sistema de detección pasivo quizás pudiese funcionar para buscar emisiones de drones pero las desventajas de esta táctica de detección es que los drones que no emiten no se podrán encontrar. En el futuro cercano será muy posible localizar esos drones con drones autónomos que encuentran sus propios blancos sin emitir o necesitar ninguna aportación externa.

Tomando en cuenta los sistemas discutidos —sus puntos fuertes y debilidades— un sistema que integra todos estos recursos para atacar sería deseado en gran medida. En días en que el clima es desfavorable, los sistemas de radar y acústicos aún pudiesen proporcionar aportaciones, y en los días despejados todos los sistemas funcionarían juntos para identificar los blancos, rastrearlos y permitir el ataque mediante los sistemas de defensa terrestre o aerotransportados.²⁷ El empleo de un drone, una vez es detectado, aún necesita un mecanismo de aniquilación. Las opciones para derrotar un drone DE o cinético se analizan a continuación.

El AFRL encabeza la investigación para el estudio de Defensa Híbrida del Espacio Aéreo Restringido (HyDRA, por sus siglas en inglés), analizando específicamente a las opciones de derrota DE (láser y HPM) que pudiesen aumentar las alternativas cinéticas para la defensa aérea integrada.²⁸ Dependiendo del medio emisor de láser, la envergadura de las longitudes de ondas de los láseres son de IR hasta ultravioleta.²⁹ Según el Dr. William Cooper en la Dirección DE del AFRL, “Se ha desarrollado mucho más con DE hasta TRL (nivel de apresto de la tecnología) que la mayoría de las personas saben”.³⁰ Esto es una buena noticia porque la USAF puede que pronto necesite esta tecnología. HyDRA es uno de los programas en curso del AFRL DE que se concentra específicamente en las opciones DE para aumentar las defensas cinéticas. El AFRL espera que estos sistemas puedan ofrecer opciones a corto plazo para las defensas a la región del Capitolio nacional y luego extenderse para cumplir con las necesidades de los comandantes combatientes. El Comando del Pacífico de Estados Unidos piensa emplear la tecnología en los drones y posiblemente también en contra de los misiles crucero.³¹ El Dr. Cooper observa que inclusive un sistema láser de bajo kilovatio (kW, por sus siglas en inglés) “podría fácilmente neutralizar” un drone a corta distancia, agregando que el DE minimiza el daño colateral y garantiza la letalidad proporcional para las legalidades de la Ley del Conflicto Armado.³² El AFRL ya ha demostrado con éxito sistemas DE en contra del Grupo 1-2 de Sistemas de Aeronaves no Tripuladas en Black Dart con los sistemas MATRIX y MEGAHPEM (figura 2).³³ Sin embargo, el Dr. Cooper recalca que “el plazo de tiempo (para el desarrollo y puesta en servicio) en realidad tiene que ver mucho más con nuestra voluntad corporativa para adquirir, integrar y utilizar la tecnología”.³⁴ Las pruebas de experimentación DE se llevaron a cabo con éxito durante el verano de 2016 de 150 sistemas de clase kW en el White Sands Missile Test Range (con resultados detallados clasificados). El AFRL también cuenta con un proyecto en marcha de Demostración de tecnología avanzada (ATD, por sus siglas en inglés) conocido como Self-Protect High Energy Laser Demonstration (SHiELD) (Demostración de láser auto protegido de energía elevada). El anterior es un programa de General Atomics que emplea el láser del Sistema de defensa del área de láser líquido de energía elevada (High Energy Liquid Laser Area Defense System) y el último es un ATD de US\$50 millones con el AFRL y la Agencia del Depto. de Defensa de Proyectos de Investigación Avanzada (DARPA, por sus siglas en inglés).³⁵ Según el Dr. Cooper, el plan futuro de implementación de tres fases para SHiELD supuestamente demostrará su utilidad táctica y estimulará un cambio en la doctrina. Sin embargo, él destaca que todas las fases no están financiadas. Específicamente, las implementaciones de la Fase I un láser de toma de corriente baja para demostrar la capacidad de fijar y rastrear blancos. La Fase II aumenta el nivel de corriente. La Fase III, si es financiada, demostraría un sistema de energía completa que podría tener residuos alojados”.³⁶



Foto cortesía de Boeing

Foto cortesía de Orbital ATK

Figura 2. (Izquierda) Sistema Compacto de Armas Láser de Boeing y (derecha) Sistema AUDS HPEM

Otro sistema que utiliza derrota por láser es el CLWS de Boeing que solamente necesita potencia kW de un solo dígito para destruir el blanco en segundos.³⁷ Boeing ostenta su fácil funcionamiento y capacidad de ser transportado, y expertos en la tecnología igualan el controlador para el sistema que une la laptop al controlador del sistema de juegos de vídeo X-Box 360.³⁸ Según Boeing, el CLWS tendrá un coste relativamente mínimo y un alcance en las “decenas de kilómetros”, necesitando un enchufe de tan solo 220 voltios.³⁹ El director del programa en Boeing mencionó el beneficio obvio de que el armamento no necesita reaprovisionamiento. “El coste del disparo es básicamente la electricidad para accionar el láser. No está disparando un misil con todo el coste de la trayectoria logística o el coste del misil o disparando balas de las que usted tiene que preocuparse de dónde están cayendo”.⁴⁰ La estabilidad y los requisitos de potencia continuarán como factores limitadores en el futuro cercano de contar con un ataque láser de aire a aire, pero el potencial de demanda de un kW bajo, el futuro de adelantos en la batería y el tiempo mínimo de la emisión del láser para afectar la destrucción de un drone muestran definitivamente un potencial.

Deslumbrar por definición es “ocasionar que alguien no pueda ver por un corto periodo de tiempo.”⁴¹ Los haces del láser pueden deslumbrar algo (como el sensor óptico de un drone), pero probablemente se emplearán para destruir un blanco, como el diseño del CLWS. Una técnica de deslumbramiento HPEM puede destruir a un drone, incapacitarlo temporalmente o “cocinar” los componentes electrónicos clave y hacer que el drone sea ineficaz.

El sistema de defensa contra vehículos aéreos no tripulados (AUDS, por sus siglas en inglés) fue creado por tres compañías de tecnología para deslumbrar a los drones y posiblemente controlar sus sistemas de navegación y de control. Ese sistema podría ser muy importante si un actor hostil coloca WMD u otro tipo de pertrechos al drone, donde la caída libre después del ataque generaría bajas. El sistema AUDS supuestamente puede detectar un drone a una distancia de cinco millas utilizando sensores EO/IR, y luego emplea interferencia de frecuencia de radio en contra de las señales de radio enviadas al drone proveniente de un operador a distancia. Cuando el drone recoge las señales del AUD, “se congela y no está seguro hacia dónde volar”. Lo que suceda después depende del operador nuevo.⁴²

Como fue el caso para la detección de drones, el sistema múltiple de colas mejora las capacidades DE de ataque, pero aun así, hay limitaciones de ataque tanto para los láseres y los HPM. La falla mayor para la tecnología láser es que el clima desfavorable puede evitar o degradar significativamente su éxito. Por otra parte, si bien los HPM puede atacar a través de las nubes, un enemigo puede contrarrestar los HPM con endurecimiento DE. Por ejemplo, Conductive Composites Company, recientemente colocó una capa de níquel sobre car-

bón con un material parecido al plástico que se puede moldear a otras estructuras, como las superficies de los drones. Este proceso mitiga los ataques HPM dirigiendo la energía alrededor y alejada del blanco —un concepto similar a la idea de colocar una jaula de Faraday alrededor del dron.⁴³

Si bien DE es el arma preferida en contra de los drones a causa de sus capacidades escalables y de uso múltiple, las aeronaves aún tienen que contar con opciones de ataque cinético en caso de que enfrenten una situación de visibilidad reducida (láseres e IR) o un adversario que tiene componentes endurecidos con DE. En este artículo nos hemos enfocado principalmente en aeronaves de ala fija que vuelan a velocidades más rápidas y altitudes más altas —características que agregan destrucción a los choques— pero muchas otras aeronaves son amenazadas por los drones. Por ejemplo, los helicópteros también están en riesgo, si se toma en cuenta que la mayor parte de su funcionamiento se lleva a cabo en el entorno propenso a drones y de altitud más baja de hoy en día. En la actualidad los pilotos de helicópteros se preocupan acerca de otras amenazas como defensas aéreas de armas portátiles (ManPAD, por sus siglas en inglés) y granadas propulsadas por cohetes (RPG, por sus siglas en inglés), pero cada vez más las misiones de combate de los pilotos también necesitarán escáneres aerotransportados en busca de drones. Las amenazas de las RPG y las ManPAD han captado la atención de la Armada de EE.UU. (USN, por sus siglas en inglés), y está rápidamente creando contramedidas que también podrían ser útiles para derrotar los drones.

La Protección activa de helicópteros contra las RPG (HARP, por sus siglas en inglés, y anteriormente conocidas como HAPS) es en producto bajo desarrollo por la USN, con el objetivo de detectar y derrotar RPG. Este concepto se puede extender a aniquilar drones que constituyan una amenaza.⁴⁴ El concepto HARP también podría ofrecer una opción cinética que se podría diseñar para las aeronaves de la USAF.⁴⁵ Una interoperabilidad clave del HARP es que el vehículo de aniquilamiento lanzado por fuerzas amigas está concebido para disparar desde un dispensador de señuelos y bengalas (integrada en el AN/ALE-47). Notablemente, la aeronave que emplea un HARP aún tendría la capacidad de transportar contramedidas de señuelos y bengalas, aunque en cantidades reducidas.⁴⁶ Según un comunicado de prensa de Orbital ATK de febrero de 2015, el vehículo HAPS “pudo lanzar, llevar a cabo maniobras de inclinación y volar hacia un punto de detonación que imitaba la ubicación de una granada propulsada por un cohete” (figura. 3).⁴⁷ Optimizar la cantidad de explosión y fragmentación para aniquilar una RPG o un dron es importante. Jay Rodgers, el inversionista principal del HARP de la USN, expresó que “inclusive la explosión por sí sola es un mecanismo de aniquilamiento difícil para lograr la eficacia en vista de las restricciones en los tamaños de ojiva del vehículo de aniquilamiento y cuán cerca de la aeronave la interceptación probablemente pudiese ocurrir”. Por lo tanto, continúa Rodgers, “explosión y fragmentación mejoradas tienen un mejor potencial de derrotar RPG (y drones). La explosión mejorada es particularmente atractiva ya que cuenta con mayor efecto que una explosión no aumentada pero no cuenta con el mismo radio letal que una fragmentación, un problema de fratricidio”.⁴⁸

Otro programa de la USN, Derrota segura de armas (SOWD, por sus siglas en inglés), que tiene conceptos de derrotas de RPG similares como el programa HARP, pregona que es “útil como una contramedida contra los drones”.⁴⁹ Los usuarios e inversionistas que participan en el programa SOWD varían desde DARPA hasta el Servicio Secreto, y más de 10 dependencias del Ejército participan en el programa. Sin embargo, solamente una dependencia de la USAF —el Centro de las Fuerzas de Seguridad de la USAF— participa en el apoyo al SOWD.⁵⁰ Esta disparidad se puede entender con base al modelo actual de la doctrina de defensa de bases colocando la mayoría de las defensas cinéticas de la base bajo el liderazgo del Ejército. Pero la USAF tiene que analizar la utilidad del SOWD no solamente para la

defensa de bases aéreas sino también para enfrentamientos de aire a aire.⁵¹ Además, a medida que las amenazas se acercan para los corredores de salida y recuperación, la Fuerza Aérea quizás tenga más que un interés doctrinal en esas áreas de defensa que el Ejército, invitando la aplicación de más recursos de la USAF.



Foto cortesía de Orbital ATK

Figura 3. Vehículo de aniquilamiento HAPS de Orbital ATK

La USAF también se beneficiaría de invertir en una arma cinética nueva concebida para destruir drones —una que costase menos que el AIM-120D AMRAAM de US\$1,55 millones.⁵² Una reducción en el coste sería posible porque el arma podría destruir blancos más pequeños (se requiere menos ojiva) y no tendría un recorrido tan lejos (menos propulsión, etc.). El sistema hasta podría ser un drone lanzado por fuerzas amigas que sencillamente busca drone enemigos y los destruye mediante impacto o explosión. En resumen, tienen que haber múltiples capas y opciones en la cadena de aniquilamiento para destruir los drones de ataque del enemigo. Los sensores empleados para la detección deben fusionar los datos provenientes de todas las fuentes mencionadas anteriormente y el guerrero debe contar con DE y opciones cinéticas disponibles para la aniquilación.

Recomendaciones

Los drones primero tienen que detectarse antes de que sean destruidos, y hacer esto requiere inversión por parte de la USAF para mejoras como un radar AESA para el F-16 y adelantos continuos en los sistemas de fusión de datos en todas las plataformas. La seguridad de las bases aéreas requiere detección de drones antes de que sobrevuelen. Si bien la defensa de bases es una misión del Ejército según la doctrina, la Fuerza Aérea tiene un interés creado en proteger sus aeronaves. En el aire, la USAF necesita invertir en sistemas que permitan la detección de amenazas a las aeronaves permitiendo así el control de ese ámbito aéreo en particular. La amenaza actual de los drones sugiere que debemos prestar más atención a los corredores de despegue y llegada de las aeronaves, además de despejar las rutas de la misión. En un final, esos objetivos requieren contar con la capacidad de detectar y disparar en las aeronaves de la USAF. Para la derrota, la USAF no debe escoger una sola capacidad sino que debe adquirir múltiples opciones de deslumbrar o destruir, incluyendo DE y armas cinéticas. La investigación de DE del AFRL se debe tomar en cuenta para los ataques de aire a aire, lo que significa que HyDRA necesita financiamiento y adelantos en TRL. Además, la USAF debe diseñar un sistema similar al HARP para todas las aeronaves que tienen sistemas dispensadores de contramedidas. Por último, a medida

que la proliferación de las amenazas de los drones amenaza abrumar los recursos de la defensa de la base del comandante combatiente, todos los servicios deben colaborar para poner en servicio e integrar sistemas fusionados que protejan a los guerreros.

Conclusión

En 1921, ningún individuo, incluyendo al Mariscal del Aire Douhet, pudo haber tenido un conocimiento previo de la ciencia para conocer las implicaciones de la Ley de Moore o prever la complejidad de los sistemas aéreos que hay en la actualidad. Sin embargo, si Douhet estuviese vivo hoy en día, aún podría repetir sus palabras valiosas: “La victoria le sonríe a aquellos que prev en los cambios en el carácter de la guerra, no a aquellos que se adaptan despu es que ocurre el cambio”.⁵³ Tambi en recalcar a que las fuerzas aéreas victoriosas deben considerar inmediatamente cómo la guerra de drones pudiese cambiar el carácter de la guerra —una reflexión que podría revelar una necesidad del diseño oportuno de sistemas para detectar y derrotar drones.

Si bien algunas áreas de los adelantos tecnológicos puede que sean lentas, otras están preparadas para una trayectoria de lanzamiento vertical. Aún sin las innovaciones inevitables en los componentes electrónicos, los ataques de enjambre de drones o los ataques de drones singulares parecidos al kamikaze a aeronaves amigas son posibles en el futuro muy cercano. Esta eventualidad exige un cambio a la doctrina contraa rea y amplía los conceptos de detectar y derrotar a nuestros adversarios. Si bien no hay una sola panacea para derrotar los drones del enemigo, hay muchas opciones que ofrecen mayor éxito de las operaciones en entornos disputados. Pensando sobre Douhet una última vez, las opciones de detección y derrota de drones no deben estar relacionadas en lo absoluto a la poca probabilidad de que una persona montada en una bicicleta atrape una paloma mensajera. ◻

Notas

1. En este artículo se emplea el término *drone* para describir una clase de sistemas aéreos no tripulados pequeños (Grupo 1) que pueden ser pilotados por control remoto o, en el futuro —y más en línea con el contenido de este artículo— tienen autonomía (por ejemplo no se pueden “pilotar por control remoto” en lo absoluto). Este término también se ha escogido porque se emplea ampliamente en la industria comercial, que vende drones tales como el cuadricoptero, tal como se hace referencia en este artículo. El Departamento de Defensa (DOD, por sus siglas en inglés) tiene un léxico oficial aparte del denominado “drone” en este artículo. Para más información sobre lo que el DOD denomina “sistemas de aeronaves no tripuladas”, consultar UAS Task Force, Airspace Integration Integrated Product Team, *Unmanned Aircraft System [UAS, now remotely piloted aircraft, RPA] Airspace Integration Plan*, ver. 2.0 (Washington, DC: DOD, March 2011), [http://www.acq.osd.mil/sts/docs/DoD_UAS_Airspace_Integ_Plan_v2_\(signed\).pdf](http://www.acq.osd.mil/sts/docs/DoD_UAS_Airspace_Integ_Plan_v2_(signed).pdf).

2. Giulio Douhet, *The Command of the Air* (Comando del aire), traductor Dino Ferrari (1942; nueva impresión, Washington, DC: Air Force History and Museums Program, 1998), 18, http://permanent.access.gpo.gov/airforce-history/www.airforcehistory.hq.af.mil/Publications/fulltext/command_of_the_air.pdf.

3. Joint Publication 3-01 (Publicación Conjunta 3-01), *Countering Air and Missile Threats* (Contrarrestando amenazas aéreas y de misiles), 23 de marzo de 2012, IV-1, http://www.dtic.mil/doctrine/new_pubs/jp3_01.pdf.

4. Las personas que son nuevas a la tecnología de drones puede que no se den cuenta de su gran proliferación en la actualidad o detalles específicos sobre el bajo coste; para una información detallada y antecedentes sobre los drones comerciales existentes, consultar la tabla que aparece en este artículo.

5. Mayor Franklin J. Hillson, “Barrage Balloons for Low-Level Air Defense” (Globos de barrida para la defensa aérea a bajo nivel), *Airpower Journal* 3, núm. 2 (Verano de 1989): 41.

6. Mary Grady, “MIT Drone Avoids Obstacles Autonomously” (Drone de MIT evita obstáculos autónomamente), *AV Web*, 4 de noviembre de 2015, <http://www.avweb.com/avwebflash/news/MIT-Drone-Avoids-Obstacles-Autonomously-225143-1.html>, 1.

7. Por ejemplo el precio del Phantom 3 del DJI, que costó US\$1.299 en marzo de 2016 ha disminuido a US\$799 en octubre con base en los precios que aparecen en Amazon.com.

8. David Nield, “Researchers Create Lithium-Air Battery That Could Be 10x More Powerful than Lithium-Ion” (Investigadores crean batería con aire de litio que pudiese ser 10 veces más poderosa que una de i n-litio), *Science*

Alert, 3 de noviembre de 2015, <http://www.sciencealert.com/researchers-have-created-the-ultimate-lithium-air-battery-with-super-storage-and-efficiency>.

9. "C-130 Mishap Photos" (Fotografías de accidente de un C-130), *C-130.net*, <http://www.c-130.net/g3/c-130-photos/Mishaps/Herkcollision>, consultado el 2 de noviembre de 2016.

10. Esos choques ni siquiera toman en cuenta la posibilidad de un dron que transporta explosivos con detonación al hacer impacto.

11. Alexander Radi, *Potential Damage Assessment of a Mid-Air Collision with a Small UAV* (Evaluación de un posible daño de un choque en el aire con un UAV pequeño), (Monash University, Australia: Civil Aviation Safety Authority, 6 de diciembre de 2013), 10.

12. *Ibid.*, 3. Radi descubrió que a velocidades de colisión por encima de los 200 nudos, el dron probablemente "penetraría el revestimiento del fuselaje, con posibles daños a los sistemas internos" (*ibid.*). La mayoría de aeronaves de la USAF volarán muy por encima de esta velocidad.

13. Rollin Bishop, "Record-Breaking Drone Swarm Sees 50 UAVs Controlled by a Single Person" (Récord de enjambre de drones ve 50 UAV controlados por una sola persona), *Popular Mechanics*, 16 de septiembre de 2015, <http://www.popularmechanics.com/flight/drones/news/a17371/record-breaking-drone-swarm/>.

14. *Ibid.*

15. "Intel, Disney Light Up the Sky over Walt Disney World Resort with New 'Starbright Holidays' Drone Show" (Intel, Disney iluminan el cielo sobre el Walt Disney World Resort con show de drones Starbright Holidays), comunicados de Intel, 16 de noviembre de 2016, <https://newsroom.intel.com/news-releases/intel-disney-starbright-holidays-drone-show/>.

16. John Ellis, *World War II: A Statistical Survey: The Essential Facts and Figures for All the Combatants* (Segunda Guerra Mundial: Encuesta estadística: Los hechos esenciales y las cifras para todos los combatientes), (New York: Facts on File, 1993), 258–59. El Sr. Ellis está claro que la cifra de 22.951 no es perfectamente precisa y que resulta difícil determinar lo que un beligerante catalogaría como una "pérdida". Los investigadores encontrarán algunas variaciones a esta cifra. Ellis puede concluir que el fuego antiaéreo fue un contribuyente importante para las pérdidas operacionales durante la Segunda Guerra Mundial y por lo tanto emplea el término "una gran cantidad".

17. USAF fact sheet, "B-2 Spirit," 16 de diciembre de 2015, <http://www.af.mil/AboutUs/FactSheets/Display/tabid/224/Article/104482/b-2-spirit.aspx>.

18. Mark Pomerleau, "Drones: Findable, but Not Stoppable" (Los drones se pueden encontrar pero no se pueden detener), GCN, 3 de junio de 2015, <https://gcn.com/articles/2015/06/03/drone-detection.aspx>.

19. Zain Naboulsi (Oficial Ejecutivo en Jefe, Drone Labs), teleconferencia con el Tte Cnel Leslie F. Hauck III, 14 de diciembre de 2015. El Sr. Naboulsi recaló que en la actualidad estamos viendo un incremento exponencial en la proliferación y capacidades de los drones, especialmente tomando en cuenta la nueva infusión de dinero de compañías importantes de tecnología tales como Intel a la Yuneec Company. Él destacó que "la detección es difícil" pero posible y no solo la detección audible, que es fácil pero no óptima. Para las contramedidas, él aseveró que la interrupción es fácil y es el "mazo" contra los drones ya que los puede apuntar y confundir y que "el ruido de barrida no es elegante, pero es eficaz". Naboulsi alega que la guerra electrónica es en la actualidad la manera más eficaz de derrotar drones pero que en tres o cinco años, la codificación tornará a esa tecnología mucho más retardadora.

20. Andreas Parsch, "Designations of U.S. Military Electronic and Communications Equipment" (Designaciones del equipo electrónico y de comunicaciones de la milicia de EE.UU.) 2000–2008, consultado el 22 de noviembre de 2015, <http://www.designation-systems.net/usmilav/electronics.html>.

21. De la experiencias del Coronel Hauck.

22. *Ibid.*

23. Carlo Kopp, "Laser Remote Sensing —A New Tool for Warfare" (Detección remota por láser la nueva herramienta para la guerra", Real Fuerza Aérea Australiana, Power Studies Center, 1995, <http://www.ausairpower.net/ASPC-LIDAR-Mirror.html>.

24. *Ibid.*

25. Graham Warwick, "Laser to ID Targets by Their Vibration" (Láser identificará blancos por su vibración), *Aviation Week and Space Technology*, 23 de noviembre de 2015, <http://aviationweek.com/technology/week-technology-nov-23-27-2015>.

26. Centro de Servicios Costeros de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, "Lidar 101: An Introduction to Lidar Technology, Data, and Applications" (LIDAR 101: Una introducción a la tecnología, datos y aplicaciones LIDAR), noviembre de 2012, https://coast.noaa.gov/digitalcoast/_/pdf/lidar101.pdf3.

27. Por supuesto, el clima desfavorable somete a los drones dificultades similares en detectar sus blancos, pero el problema de detección se hace más sencillo por la diferencia relativa en tamaño (el blanco más grande y con más ruido es más fácil de detectar) y al mismo tiempo más difícil (hay volumen y potencia limitada en el dron para alojar equipo de detección más sofisticado).

28. Correo electrónico de *William Cooper*, PhD, Dirección de Energía Dirigida, Laboratorio de Investigación de la Fuerza Aérea, Base Aérea Kirtland, NM, a Hauck, 4 de noviembre de 2015; y Eileen Walling, *High Power Microwaves: Strategic and Operational Implications for Warfare* (Microondas de alta potencia: Implicaciones estratégicas y

operacionales para la guerra), Centro para Estrategia y Tecnología de la USAF, Documento Especial Núm. 11 (Maxwell AFB, AL: Air War College, Air University, mayo de 2000), 1.

29. Lexel Laser, “Laser Wavelength Charts” (Gráficas de longitud de onda del láser), consultado el 22 de noviembre de 2015, http://www.lexellaser.com/techinfo_wavelengths.htm. Estas longitudes de onda puede oscilar entre 238 nanómetros (nm) (o inclusive más bajas, dependiendo de la fenomenología y los deseos de coherencia del haz de un diseñador) con láseres de argón de generación de segundo armónico y láseres de cristal de gas ionizado, borato de bario beta, hasta cristal dopado con erbio y láseres de estado sólido a 1.540 nm.

30. Correo electrónico de Cooper a Hauck.

31. Ibid.

32. Ibid.

33. HPEM incluye es espectro total, no tan solo subconjuntos de laser o HPM.

34. Correo electrónico de Cooper a Hauck. Lo que este enunciado no toma en cuenta completamente son las implicaciones del potencial del daño colateral de usar láseres más allá del blanco a fuerzas amigas o la posibilidad que blancos a distancias adicionales no tengan suficiente energía laser para la destrucción o deslumbramiento; consultar la información de aniquilación cinética en este artículo para otras opciones de derrota.

35. Ibid.

36. Ibid.

37. Jordan Golson, “Welcome to the World, Drone Killing Laser Cannon” (Bienvenido al mundo, cañón de laser aniquilador de drones), *Wired*, 27 de agosto de 2015, <https://www.wired.com/2015/08/welcome-world-drone-killing-laser-cannon/>.

38. Ibid. Además, el tiempo de aniquilación es un factor clave; el láser que requiere segundos para aniquilar algo tendrá más éxito que uno que se toma mucho tiempo para lograr el mismo efecto con potencia baja. La maniobra del adversario aumenta la dificultad de atacar con tecnología láser, además es problemático cuando no hay un solo drone (enjambres). El daño colateral también se debe tomar en cuenta con láseres de gran potencia.

39. Queena Jones, “This Drone Is Toast” (Este drone está terminado), *Boeing Frontiers Magazine* 14, núm. 6 (octubre de 2015), <http://www.boeing.com/news/frontiers/archive/2015/october/index.html#/1/17>.

40. Ibid.

41. *Merriam-Webster*, s.v. “dazzle,” consultado el 22 de noviembre de 2015, <http://www.merriam-webster.com/dictionary/dazzle>.

42. Elizabeth Palermo, “Signal-Scrambling Tech ‘Freezes’ Drones in Midair” (Técnicas de interrupción de señales “congela” a drones en el aire), *Live Science*, 10 de octubre de 2015, <http://www.livescience.com/52448-new-tech-freezes-drones.html>.

43. Patrick Tucker, “A New Material Promises NSA-Proof Wallpaper”, *Defense One*, 23 de octubre de 2015, <http://www.defenseone.com/technology/2015/10/new-material-promises-nsa-proof-wallpaper/123066/>.

44. Oficina de Investigaciones Navales (ONR, por sus siglas en inglés), “Helicopter Active RPG Protection (HARP),” ONR BAA Anuncio N00014-15-R-BA14, USN Science and Technology, consultado el 12 de enero de 2017, <https://www.onr.navy.mil/~media/Files/Funding-Announcements/BAA/2015/N00014-15-R-BA14.ashx>.

45. La USN cambio del Helicopter Active Protection System (HAPS) a HARP en el 2014, HAPS introdujo la tecnología de aniquilación del vehículo al TRL-3, y se espera que el HARP lleve el sistema al TRL-6 con “con derrota de fuego en vivo en un escenario RPG y demostración de una interceptación RPG inerte desde un helicóptero en un desplazamiento anclado en el 2019”, según correo electrónico del Sr. Joseph Rodgers, Miembro Asociado, Comando de Sistemas Navales Aéreos, División de Supervivencia en Combate, Apoyo de Asalto, Inversor del Principio HARP, Washington DC, a Hauck, 5 de febrero de 2016.

46. Correo electrónico de Rodgers a Hauck, 22 de noviembre de 2015.

47. Business Wire, “Orbital ATK Completes Key Test of Helicopter Active Protection System” (ATK orbital completa prueba clave del Helicopter Active Protection System), 24 de febrero de 2015, <http://www.businesswire.com/news/home/20150224005136/en/Orbital-ATK-Completes-Key-Test-Helicopter-Active>.

48. Correo electrónico de Rodgers a Hauck, 23 de noviembre de 2015.

49. Jeffery Jones y Mark Bradshaw, sesión informativa, tema: Joint Integrated Product Team for Standoff Weapon Defeat Overview, Physical Security Enterprise y Analysis Group, US Navy, Washington, DC, 28 de abril de 2015, 3.

50. Ibid., 5.

51. John Geis, Grant Hammond, Harry Foster y Theodore Hailes, *Deterrence in the Age of Surprise* (Disuasión en la era de sorpresa), Documento Especial núm. 70), (Maxwell AFB, AL: Air University Press, enero de 2014), 43-44.

52. Oficina del Subsecretario de Defensa (Contralor), *United States Department of Defense Fiscal Year 2016 Budget Request: Program Acquisition Cost by Weapon System* (Washington, DC: DOD, febrero de 2015), 5-2, http://comptroller.defense.gov/Portals/45/documents/defbudget/fy2016/fy2016_Weapons.pdf.

53. Douhet, *Command of the Air*, 30.



Teniente Coronel Leslie F. Hauck, III, USAF (MA, Air University y Naval War College; MS, Embry Riddle Aeronautical University) es jefe de operaciones técnicas especiales en el Cuartel General, Fuerza Aérea de Estados Unidos. Él fue autor de sus estudios profesionales sobre los drones mientras asistía a la Escuela de Guerra de la Fuerza Aérea, Base Aérea Maxwell, Alabama. Antes de asistir a la Universidad del Aire, se desempeñó en calidad de vicecomandante de un grupo de F-16 en la Base Aérea Luke, Arizona. El Tte Coronel Hauck recibió su nombramiento de la Academia de la Fuerza Aérea, Colorado Springs, Colorado, y es un piloto de carrera de F-16 que se ha desempeñado en múltiples puestos incluyendo comandante del 80° Grupo de Combate y director de operaciones del 310° Escuadrón de Combate. Recientemente fue desplegado en calidad de vice comandante, 455° Grupo Expedicionario de Operaciones (EOG), Campo Aéreo Bagram, Afganistán, donde estuvo al mando de operaciones de combate y contaba con deberes delegados como autoridad superior del campo aéreo a nivel de EOG de ocho escuadrones, incluyendo escuadrones de A-10, MC-12, F-16, HH-60, EC-130, C-130 y escuadrones de evacuación aeromédica. El Tte Coronel Coronel Hauck es un piloto comandante con más de 2.100 horas, incluyendo 285 horas de combate en apoyo a la Operación Libertad Duradera.



Coronel John P. Geis, II, PhD, USAF-Retirado. El Dr. Geis (MA, Air University; MS, Auburn University; BA, MS, y PhD, University of Wisconsin) es el director, Fuerza de Tarea de Investigaciones de Poderío Aéreo en la Base Aérea Maxwell, Alabama. Fue el meteorólogo jefe de WISC-TV antes de pasar al servicio activo en 1983. Su carrera en la Fuerza Aérea incluyó operaciones de entrenamiento y de combate en las cuales voló el T-37, AT-38B, T-43, dos variantes del F-111, y el helicóptero armado especial AC-130H. Egresado distinguido y ganador del Premio de Comandante en la Escuela Superior de Comando y Estado Mayor, el Coronel Geis es co autor de la monografía Futuros Alternos para el Estudio 2005 de la Fuerza Aérea. De 1998 al 2000 fue director de planes estratégicos, doctrina e integración de la fuerza para todas las fuerzas especiales de la USAF. Comenzando en el 2002, el Coronel Geis fue director, Centro para Estrategia y Tecnología de la Fuerza Aérea, un puesto que ocupó durante ocho años. Durante ese tiempo, él y su equipo crearon lo que ahora se conoce como el Programa Horizontes Azules, que analiza las implicaciones estratégicas de la tecnología emergente.