Traducido del inglés al español - www.onlinedoctranslator.com

航 空 航 天

CHINA AEROSPACE STUDIES INSTITUTE

dohina'sdoconceptualaenfoques adocontador-uasy yoesenciasdcrudo derCentedoconflictos

Mina Marcus

Abril de 2025

Impreso en los Estados Unidos de América por el
Instituto de Estudios Aeroespaciales de China.

Para solicitar copias adicionales, dirija sus consultas al Director
del Instituto de Estudios Aeroespaciales de China.
Universidad del Aire, 55 Lemay Plaza, Montgomery, AL 36112

Todas las fotografías tienen licencia Creative Commons Atribución-CompartirIgual 4.0 Internacional, o bajo la Doctrina de Uso Justo según la Sección 107 de la Ley de Derechos de Autor para uso educativo y no comercial sin fines de lucro.
Todos los demás gráficos creados por o para el Instituto de Estudios Aeroespaciales de China

La portada es de “El ejército de EE. UU. compra 'Drone Sentinels' para fortalecer la investigación y el desarrollo de armas y equipos de combate antidrones” [美军采购“无人机哨兵” 加强反无人机作战武器装备研发],*Diario del Pueblo en Línea*[人民网],27 de agosto de 2020, http://military.people.com.cn/n1/2020/0827/c1011-31838842.html .

Correo electrónico: Director@CASI-Research.ORG Web:
http://www.airuniversity.af.mil/CASI https://twitter.com/CASI_Research @CASI_Research https://www.facebook.com/CASI.Research.Org https://www.linkedin.com/company/11049011

Descargo de responsabilidad
Las opiniones expresadas en este artículo de investigación académica son las de los autores y no reflejan necesariamente la política o posición oficial del Gobierno de los Estados Unidos o del Departamento de Justicia.
Defensa. De acuerdo con la Instrucción de la Fuerza Aérea 51-303,*Propiedad intelectual, patentes, asuntos relacionados con patentes, marcas comerciales y derechos de autor*;Esta obra es propiedad del Gobierno de los Estados Unidos.

Derechos limitados de impresión y distribución electrónica
La reproducción e impresión están sujetas a la Ley de Derechos de Autor de 1976 y a los tratados aplicables de los Estados Unidos. Este documento y las marcas registradas que contiene están protegidas por ley. Esta publicación se ofrece exclusivamente para uso no comercial. Queda prohibida su publicación en línea sin autorización. Se autoriza la reproducción de este documento únicamente para uso personal, académico o gubernamental, siempre que se mantenga inalterado y completo. Sin embargo, se solicita que las reproducciones acrediten al autor y al Instituto de Estudios Aeroespaciales de China (CASI). Se requiere la autorización del Instituto de Estudios Aeroespaciales de China para reproducir o reutilizar de otra forma cualquiera de sus documentos de investigación con fines comerciales. Para obtener información sobre permisos de reimpresión y enlaces, póngase en contacto con el Instituto de Estudios Aeroespaciales de China.
Aprobado para lanzamiento público, distribución ilimitada.

La misión de CASI es promover la comprensión de la estrategia, la doctrina, los conceptos operativos, las capacidades, el personal, el entrenamiento y la organización de las fuerzas aeroespaciales de China y la infraestructura civil y comercial que las respalda.

CASI apoya al Secretario, al Jefe de Estado Mayor de la Fuerza Aérea, al Jefe de Operaciones Espaciales y a otros altos mandos del sector aéreo y espacial. CASI proporciona investigación y análisis especializados que respaldan a los responsables de la toma de decisiones y la formulación de políticas en el Departamento de Defensa (DoD) y en todo el gobierno de Estados Unidos. CASI puede apoyar a todas las unidades y organizaciones de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos (USAF), la Fuerza Espacial de los Estados Unidos (USSF) y el DoD. CASI cumple su misión mediante las siguientes actividades:

- CASI lleva a cabo principalmente investigaciones en lenguas nativas de código abierto que respaldan sus cinco áreas temáticas principales.
- CASI organiza conferencias, talleres, mesas redondas, paneles de expertos y debates con líderes sénior para promover su misión. El personal de CASI asiste a estos eventos, tanto gubernamentales como académicos y públicos, para apoyar sus iniciativas de investigación y divulgación.
- CASI publica resultados de investigaciones y artículos, artículos de revistas, monografías y volúmenes editados tanto para distribución pública como gubernamental, según corresponda.
- CASI establece y mantiene relaciones institucionales con organizaciones e instituciones del Ejército Popular de Liberación (EPL), la República Popular China (RPC) en general, y con socios y aliados involucrados en la región.
- CASI mantiene la capacidad de respaldar a líderes de alto nivel y tomadores de decisiones políticas en todo el espectro de temas y proyectos en todos los niveles, relacionados con la industria aeroespacial china.

CASI apoya al Departamento de Defensa y a la comunidad investigadora china en general, proporcionando investigación de alta calidad y sin clasificar sobre los desarrollos aeroespaciales chinos en el contexto de los imperativos estratégicos estadounidenses en la región Asia-Pacífico. Centrado principalmente en las Fuerzas Aéreas, Espaciales y de Misiles Militares de China, CASI aprovecha recursos en idiomas nativos disponibles públicamente para comprender cómo se comunican los chinos entre sí sobre estos temas.

TCAPAZ DEdoÍNDICE

Resumen ejecutivo 1

Opiniones del EPL sobre la guerra no tripulada 3

Opiniones del EPL sobre la lucha contra los sistemas aéreos no tripulados 5

Marcos anti-UAS 5

Cómo contrarrestar las amenazas aéreas no tripuladas “bajas, lentas y pequeñas” 6

Cómo contrarrestar los enjambres de vehículos aéreos no tripulados 7

Detección, seguimiento y alerta temprana 9

Detección de radar 10

Detección y seguimiento fotoeléctrico 10

Detección y seguimiento por radiofrecuencia 10

Detección y seguimiento acústico 11

Medidas de mitigación de vehículos aéreos no tripulados 12

Contramedidas de muerte suave 12

Contramedidas de eliminación brusca 13

Armas convencionales 13

Armas de energía dirigida 13

Municiones merodeadoras y vehículos aéreos no tripulados de ataque armado 14

Lecciones aprendidas de conflictos recientes 15

Potencial transformador de los sistemas no tripulados en la guerra moderna 15

Amenaza y potencial de las tácticas y tecnologías de enjambre 15

Importancia de los sistemas anti-UAS robustos, multisensoriales y multicapa 16

La escalada de la carrera armamentista entre UAS y contra UAS 17

Desafíos y limitaciones técnicas 18

Conclusiones/Implicaciones 20

Notas finales 21

miEJECUTIVOSRESUMEN

El concepto de guerra no tripulada ha cobrado relevancia a medida que los avances tecnológicos y el despliegue de sistemas no tripulados en conflictos recientes han demostrado su utilidad en el campo de batalla. Los académicos y estrategas del EPL han seguido de cerca estos desarrollos y han llegado a la conclusión de que las futuras operaciones militares dependerán cada vez más de plataformas no tripuladas inteligentemente desarrolladas. Como se expresó en un artículo de 2018*Ciencia militar de China*En el artículo, los pensadores del EPL esperan que los vehículos no tripulados "apoyen las operaciones conjuntas en todos los dominios y durante toda la duración y todo el proceso del ciclo de combate".[1]Basándose en este precepto, los estrategas del EPL consideran cada vez más el desarrollo de sistemas no tripulados y tecnologías para contrarrestarlos, así como el dominio de las operaciones no tripuladas y las operaciones para contrarrestarlos, como imperativos estratégicos.

Este documento se centra en las perspectivas del EPL y los enfoques en desarrollo para contrarrestar los sistemas no tripulados, con especial atención a los sistemas aéreos no tripulados (UAS) o vehículos aéreos no tripulados (UAV). Si bien el EPL reconoce la amenaza que representan los sistemas no tripulados en múltiples ámbitos de la guerra, la mayor parte del debate estratégico y operativo entre los expertos y estrategas del EPL sobre la guerra no tripulada se centra en los UAV, en lugar de otros sistemas no tripulados, como los vehículos submarinos no tripulados. Este enfoque también se refleja en la literatura académica y técnica pública sobre la lucha contra los sistemas no tripulados, donde la investigación y los debates se centran en la lucha contra los sistemas y las tácticas de los UAV. Por lo tanto, un análisis de la investigación de defensa del EPL y la República Popular China sobre la lucha contra los UAS ofrece un conjunto más amplio de información pública de la que extraer conclusiones.

Este documento se basa en una amplia variedad de fuentes oficiales y no oficiales de información disponible públicamente, incluidas varias ediciones de la*Ciencia de la estrategia militar (战略学)*—volúmenes consideradas representaciones autorizadas de las opiniones doctrinales del EPL sobre la guerra,[2]Informes de prensa de medios estatales chinos, artículos académicos y técnicos publicados en publicaciones de la industria militar y de defensa, y materiales didácticos del EPL destinados exclusivamente a distribución interna militar. Si bien este documento abarca las reflexiones y la I+D del EPL sobre conceptos operativos contra UAS, está limitado por el alcance y la accesibilidad de las fuentes de información disponibles y no debe considerarse una representación exhaustiva ni definitiva de las perspectivas y capacidades chinas.

Este artículo ofrece, en primer lugar, una breve reseña de la visión del EPL sobre la guerra no tripulada. Posteriormente, examina la literatura sobre operaciones, tácticas y tecnologías anti-UAS elaborada por personal de la industria de defensa del EPL y la República Popular China. A continuación, examina las lecciones aprendidas por los observadores de la industria de defensa del EPL y la República Popular China en el empleo de UAV en conflictos y ataques recientes. Posteriormente, analiza las deficiencias y limitaciones identificadas por el personal del EPL y la defensa, en su búsqueda de desarrollar los principios operativos y técnicos existentes en materia de anti-UAS y aplicar las lecciones aprendidas de sus observaciones sobre UAS y contra UAS en conflictos reales. Finalmente, el artículo concluye con una evaluación de las perspectivas y trayectorias del enfoque del EPL en materia de operaciones y tecnologías anti-UAS en conflictos futuros.

Las principales conclusiones de este documento son las siguientes:

- Los académicos y estrategas del EPL creen que la guerra futura será "no tripulada, invisible y silenciosa".无人, 无形, 无声)y esperar que los sistemas de combate inteligentes no tripulados se conviertan en componentes críticos de las fuerzas militares modernas.

- El desarrollo de sistemas y capacidades de vehículos aéreos no tripulados se basa en la convicción de los estrategas del EPL de que el desarrollo de armas y equipos inteligentes es cada vez más conflictivo y está claramente dirigido a conflictos entre grandes potencias. Por consiguiente, los observadores del EPL y de la industria de defensa siguen de cerca las iniciativas extranjeras de I+D en sistemas no tripulados y los contrarrestan, en particular los fabricados por Estados Unidos y Rusia.[3]
- Los escritos revisados para este trabajo sugieren que los estrategas del EPL han considerado durante mucho tiempo a Estados Unidos como el líder indiscutible en el uso de sistemas no tripulados en la guerra. No solo siguen de cerca el empleo de sistemas no tripulados por parte del ejército estadounidense, sino que también monitorean intensamente los documentos doctrinales y estratégicos sobre UAV y contra UAV, así como las iniciativas de I+D de EE. UU. en tecnologías UAS y contra UAS, especialmente los programas liderados por DARPA, la Armada de EE. UU., la OCS y los contratistas de defensa. Será necesario un seguimiento continuo de los escritos del EPL para evaluar si esta afirmación se mantiene tras conflictos como la guerra entre Rusia y Ucrania.
- Los conflictos recientes, en particular el conflicto de Nagorno-Karabaj y la guerra entre Rusia y Ucrania, no sólo han demostrado la utilidad y eficacia de los ataques con vehículos aéreos no tripulados, sino que también han servido para subrayar la necesidad de contar con estrategias, tácticas y sistemas robustos para contrarrestarlos.
- Aunque los estrategas del EPL son conscientes de las amenazas que plantean los sistemas UAV de gran altitud y larga resistencia, y de altitud media y larga resistencia, la mayor parte de la investigación contra UAV entre el EPL y las organizaciones de investigación de la industria de defensa parece centrarse en contrarrestar los sistemas "bajos, lentos y pequeños" (LSS/低慢小)Vehículos aéreos no tripulados y tecnologías de enjambre.[4]La guerra de enjambre de vehículos aéreos no tripulados es considerado por el personal de investigación del EPL y de la industria de defensa como una amenaza potencial seria a las capacidades de combate defensivo existentes del EPL.[5]
- Los ingenieros de defensa del EPL y la República Popular China reconocen con franqueza que las medidas existentes contra los vehículos aéreos no tripulados aún enfrentan muchos desafíos técnicos, incluida una estandarización deficiente, capacidades insuficientes en condiciones ambientales complejas y un rendimiento poco confiable durante las operaciones normales.[6]

EPL VVISTAS SOBRETÚtripuladoOARFARE

Los escritos del EPL describen la guerra no tripulada como un ejemplo de guerra inteligente, en la que tecnologías avanzadas como los sistemas autónomos, la IA y la robótica transformarán radicalmente el campo de batalla. Los estrategas y académicos del EPL reconocen el creciente papel y la importancia de los sistemas no tripulados en la guerra y anticipan que las plataformas de combate no tripuladas y los sistemas de armas altamente autónomos se convertirán en componentes cruciales de las fuerzas militares modernas.[7]En su opinión, la guerra futura será "no tripulada, invisible y silenciosa".无人, 无形, 无声).[8]

Si bien las plataformas no tripuladas han sido parte del arsenal del EPL desde al menos la década de 1950, el EPL no parece haberlas visto como una plataforma vital hasta principios de la década de 2000.[9]La edición de 2006 de la*Ciencia de las Campañas (战役学)*, por ejemplo, articuló sólo tres casos de uso para el Empleo de vehículos aéreos no tripulados: guerra electrónica, reconocimiento de largo alcance y supresión de las defensas aéreas enemigas.[10]Una revisión de los escritos del EPL sugiere que el mayor énfasis y comprensión del EPL sobre la utilidad de las plataformas no tripuladas en conflictos se vio impulsado por primera vez por el exitoso despliegue de estos sistemas en conflictos reales, en particular por parte de los Estados Unidos.[11]

Decenas de académicos, estrategas e ingenieros del EPL y de la industria de defensa china siguieron de cerca las operaciones militares de Estados Unidos en Medio Oriente y Afganistán, siguiendo cómo el papel de los vehículos aéreos no tripulados en estos conflictos se expandía desde misiones de reconocimiento a supresión electrónica, retransmisión de comunicaciones y ataque cinético.[12]Del conjunto de publicaciones publicadas por el EPL se desprende claramente que su comprensión de la utilidad y el potencial de las plataformas no tripuladas estuvo profundamente moldeada, en primer lugar, por estas observaciones de las operaciones no tripuladas estadounidenses.[13]

En 2013, textos autorizados como el*Ciencia de la estrategia militar*(2013) no solo reconoció el papel cada vez más destacado de los sistemas inteligentes no tripulados, sino que argumentó que dichos sistemas reemplazarían parcialmente la "fuerza vital dentro de las fuerzas armadas" y que las plataformas y sistemas "no tripulados, invisibles y silenciosos" se emplearían gradualmente de forma masiva en el campo de batalla.[14] Estas opiniones se consolidaron aún más en la edición de 2017 del*Ciencia de la estrategia militar*, que describió los sistemas inteligentes no tripulados como una "fuerza indispensable en el campo de batalla",[15]y en la edición de 2020, que proclamó que los sistemas de combate inteligentes se convertirían inevitablemente en la fuerza dominante en el campo de batalla. Cabe destacar que la edición de 2020 de la*Ciencia de lo Militar*También se articuló la creencia de los estrategas del EPL de que el desarrollo de armas y equipos inteligentes sería cada vez más confrontativo y el blanco de conflictos entre las principales potencias.[16]

Si bien existe consenso entre los estrategas del EPL en que los sistemas no tripulados ocuparán un lugar destacado en los futuros campos de batalla, no parece existir una doctrina especializada que guíe el empleo de estos sistemas. Si bien la edición de 2020 del*Ciencia de la estrategia militar*Incluye debates sobre cómo se podrían desplegar sistemas no tripulados en varios dominios de la guerra, así como orientación general sobre cómo los diversos servicios del EPL podrían emplear plataformas no tripuladas; estos debates se limitan a los ámbitos de la teoría y la academia y carecen de detalles.[17]

Asimismo, el EPL carece de un conjunto de doctrina especializada que oriente su enfoque para contrarrestar los sistemas no tripulados en conflictos futuros.*Ciencia de la estrategia militar*(2020) nuevamente contiene algunas líneas de discusión general sobre cómo contrarrestar las armas de altitud media-baja y ultrabaja, pero

Agrupa los UAVs entre estas armas de altitud media-baja y ultrabaja, junto con los misiles de crucero y los helicópteros armados. No prescribe un conjunto específico de directrices para contrarrestar los UAS.[18]Otros textos de orientación estratégica dejan claro que el EPL prevé que se empleen plataformas no tripuladas en operaciones de guerra electrónica defensiva contra plataformas enemigas, pero no describen su empleo en un contexto de lucha contra los vehículos aéreos no tripulados.[19]

En cambio, los escritos académicos y técnicos publicados en publicaciones del EPL y de la industria de defensa sí ofrecen información sobre el enfoque del EPL en materia de operaciones y tecnologías contra los UAS. Si bien se consideran fuentes menos fiables, al no contar con el sello de la Academia de Ciencias Militares del EPL ni de la Universidad Nacional de Defensa del EPL, los detalles que contienen son valiosos para comprender la evolución del enfoque del EPL en materia de UAS y estrategias, tácticas y tecnologías contra los UAS.

Los escritos de la industria de defensa del EPL y la RPC sobre UAS y contra UAS parecen estar fuertemente influenciados por los avances extranjeros. Prácticamente todos los artículos revisados para este trabajo incluyeron análisis extensos y detallados de iniciativas y programas extranjeros de I+D sobre UAS y contra UAS, con especial atención a los de Estados Unidos y Rusia. Los documentos doctrinales y estratégicos sobre UAV y contra UAV estadounidenses, así como las iniciativas públicas de I+D en tecnologías UAS y contra UAS, son monitoreados y documentados de cerca, especialmente los programas liderados por DARPA, SCO, la Oficina de Investigación Naval (ONR) y contratistas privados de defensa.[20]

doCONTADOR-UAS FRAMEWORKS

Dado el estrecho seguimiento que la República Popular China hace de los avances extranjeros en la lucha contra los UAS, no sorprende que los escritos del EPL y de la industria de defensa sobre los principios técnicos básicos de la lucha contra los UAS reflejen habitualmente este estrecho seguimiento. Los investigadores y académicos de defensa de la República Popular China suelen establecer marcos familiares que clasifican las medidas contra los UAS en tres o cuatro categorías: detección, seguimiento y alerta temprana; interferencias y suplantación de identidad; y ataques cinéticos y destrucción.[21]Una cuarta categoría surge en los casos en que las medidas de camuflaje y engaño se distinguen de las medidas de interferencia y suplantación como una categoría separada.[22]En algunos casos, las medidas de eliminación suave (no cinéticas), como interferencias y suplantación de identidad, y las medidas de eliminación dura (cinéticas), es decir, ataque cinético, destrucción, captura física, etc., se describen juntas en términos generales como eliminación contra UAS (处置)acciones, es decir, acciones de mitigación, intercepción o neutralización.[23]

Independientemente del esquema de clasificación que se analiza en los escritos chinos, los elementos centrales de la detección, las medidas de destrucción suave (no cinéticas), es decir, la interferencia y la suplantación de identidad, y las medidas de destrucción dura (cinéticas), es decir, el ataque cinético, la destrucción, la captura física, etc., se mantienen constantes. Es importante destacar que el análisis de las contramedidas mencionadas en estos escritos no parece presentarse en orden de preferencia; en cambio, se ajustan estrechamente a los esquemas establecidos en documentos de estrategia militar extranjeros y materiales de I+D del sector privado contra UAS.

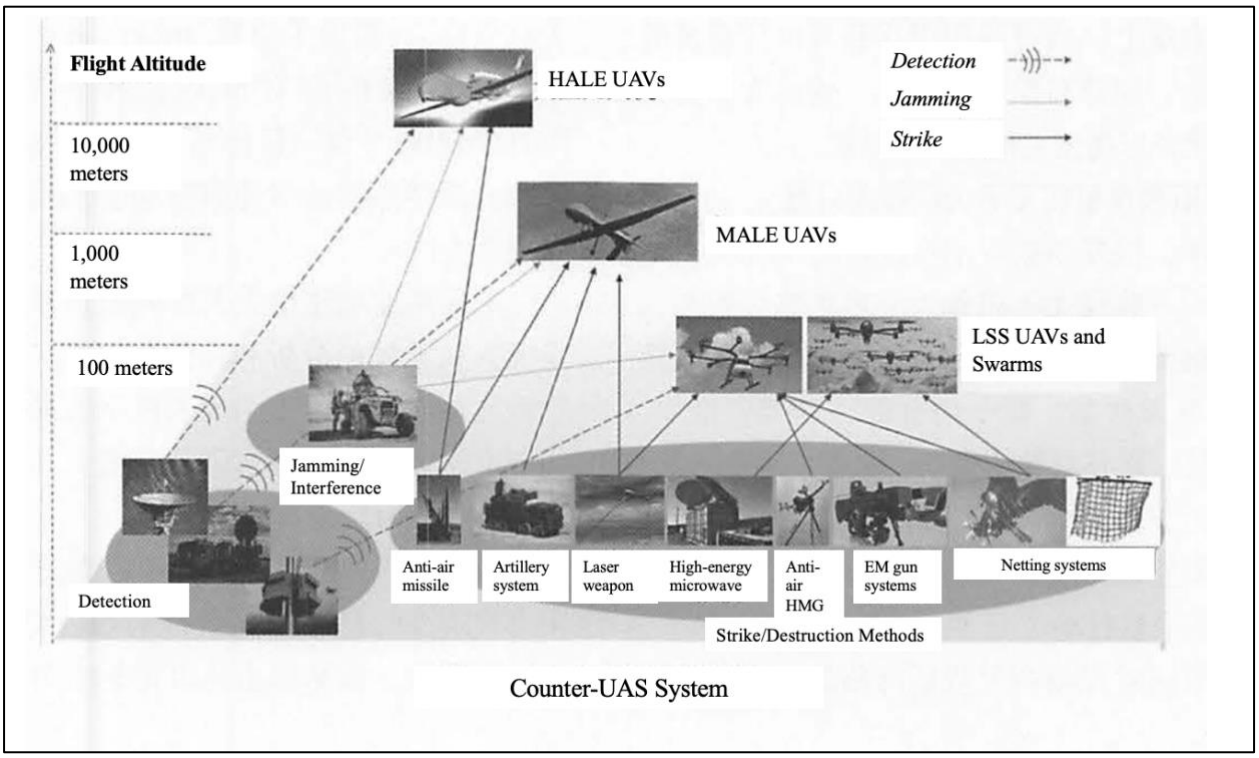

Figura 1: Elementos de sistemas anti-UAS típicos, según lo descrito por ingenieros del EPL afiliados a una unidad de guerra electrónica.[24]

Este marco general ha aparecido en los escritos del EPL desde al menos 2015, pero ha sufrido ajustes a medida que los estrategas del EPL reconocieron las amenazas potenciales de las fuerzas "bajas, lentas y pequeñas" (LSS). (低慢小)Sistemas UAV y enjambres de drones.[25]

DOCONTRATACIÓN"YOAY, SBAJO,YSCENTRO COMERCIAL" TÚTRIPULADOAERIALTAMENAZAS

El personal de defensa del EPL y la República Popular China considera los UAV LSS como un desafío particularmente complejo. Como ingenieros de la Universidad de Ingeniería del Ejército del EPL (中国人民解放军陆军工程大学)y la Unidad 95269 del PLA resumida en 2018, las tácticas tradicionales de defensa aérea se pueden emplear contra drones grandes y medianos; sin embargo, los UAV LSS, que se distinguen por su menor tamaño, área de reflexión de radar pequeña, baja altitud de vuelo y velocidades de vuelo más lentas, son difíciles de detectar y atacar, lo que requiere nuevos equipos y métodos de combate.[26]Su pequeño tamaño y sus señales relativamente débiles también hacen que sea difícil diferenciarlos de las aves y los insectos.[27]Los investigadores de la industria de defensa del EPL y la República Popular China también destacan el bajo costo y la disponibilidad comercial de los UAV LSS, lo que facilita su adquisición y permite que la tecnología prolifere.[28]Los escritos del EPL anticipan que los UAV LSS se volverán aún más omnipresentes.[29]

Fuera de los entornos de combate, los artículos escritos por personal de la Policía Armada Popular (PAP) dejan claro que los UAV LSS se consideran una amenaza potencial grave para la seguridad nacional. Investigadores afiliados a la Universidad de Ingeniería de la Policía Armada Popular (PAP) (武 警工程大学)citan el posible empleo de vehículos aéreos no tripulados LSS por adversarios o terroristas para atacar y/o vigilar instalaciones gubernamentales, almacenes y fábricas e infraestructura crítica como instalaciones de telecomunicaciones, plantas de energía y sistemas de transporte.[30]En los escritos técnicos chinos se destaca con frecuencia el uso potencial de los UAV LSS para llevar a cabo asesinatos selectivos y

asesinatos.[31]Autores afiliados al Instituto de Investigación de Tecnología Electrónica de Nanjing (南京电子技术研究所)[32]y el Laboratorio Clave de Tecnología IntelliSense del CETC (中国电子 科技集团公司智能感知技术重点实验室),Por ejemplo, hizo referencia a la intrusión de un dron de Corea del Norte en una zona de exclusión aérea que rodea la oficina presidencial de Corea del Sur en diciembre de 2022.[33]

doCONTRATACIÓNVehículo aéreo no tripulado SCALIENTA

Académicos afiliados al Instituto de Ingeniería de Defensa AMS (军事科学院国防工程研究 院)y la Academia de Artillería y Defensa Aérea del Ejército del EPL (陆军炮兵防空兵学院)escribió en 2019 sobre los nuevos desafíos que plantean los enjambres de UAV para la protección del campo de batalla, reconociendo que la detección y la protección completa del campo de batalla se convertirían en desafíos significativos. Cabe destacar que los autores describieron el surgimiento de las operaciones de enjambre como una prueba para la estabilidad del sistema y caracterizaron la verdadera amenaza de los enjambres de UAV como su capacidad para destruir nodos clave de un sistema de combate, causando así disfunción del sistema y una reducción de la efectividad en combate. Además, destacaron el potencial de los enjambres de UAV hostiles para actuar como cebo y drones suicidas para distraer las defensas aéreas, dejando las instalaciones del campo de batalla vulnerables a los ataques de los sistemas de armas tradicionales.[34]

Estos temores han sido repetidos desde entonces por otros pensadores y estrategas del EPL en escritos más recientes. Investigadores afiliados a la Academia de Alerta Temprana de la Fuerza Aérea del EPL (中国人民解放军空军预警学院)De manera similar, describieron el combate en enjambre de UAV como una disrupción de los sistemas de armas tradicionales y predijeron que la guerra en enjambre de UAV conduciría inevitablemente a nuevos "estilos de combate". Los investigadores también evaluaron que el combate en enjambre en un entorno de alta confrontación plantearía nuevas amenazas a las capacidades de combate defensivo existentes del EPL.[35]Instituto de Investigación Naval del EPL (中国人民解放军海军研究院)El personal también declaró en un artículo de 2023 que los enjambres “se convertirían gradualmente en una fuerza de combate que no se puede subestimar” y argumentó la consiguiente necesidad de contrarrestar dicha fuerza.[36]

Más allá de las publicaciones de investigación extremadamente técnicas, los escritos del EPL y de la industria de defensa sobre la lucha contra los enjambres de UAV generalmente señalan que estos presentan los mismos desafíos de detección, seguimiento y mitigación/interceptación que los UAV LSS. Sin embargo, también destacan las dificultades adicionales que plantean su ventaja numérica, su resiliencia inherente y su potencial para la formación autónoma de enjambres y la toma de decisiones inteligente a medida que las tecnologías de IA continúan madurando.[37]Como lo ejemplifica un marco diseñado por investigadores afiliados al Instituto de Investigación Naval del EPL, las medidas para contrarrestar enjambres suelen clasificarse en los escritos chinos en tres categorías: detección y seguimiento, medidas de aniquilación dura y medidas de aniquilación blanda.[38]Este esquema de clasificación comparte muchos elementos con los marcos articulados para los UAV LSS, pero incorpora notablemente el concepto de desplegar drones de combate armados en enjambres contra enjambres.

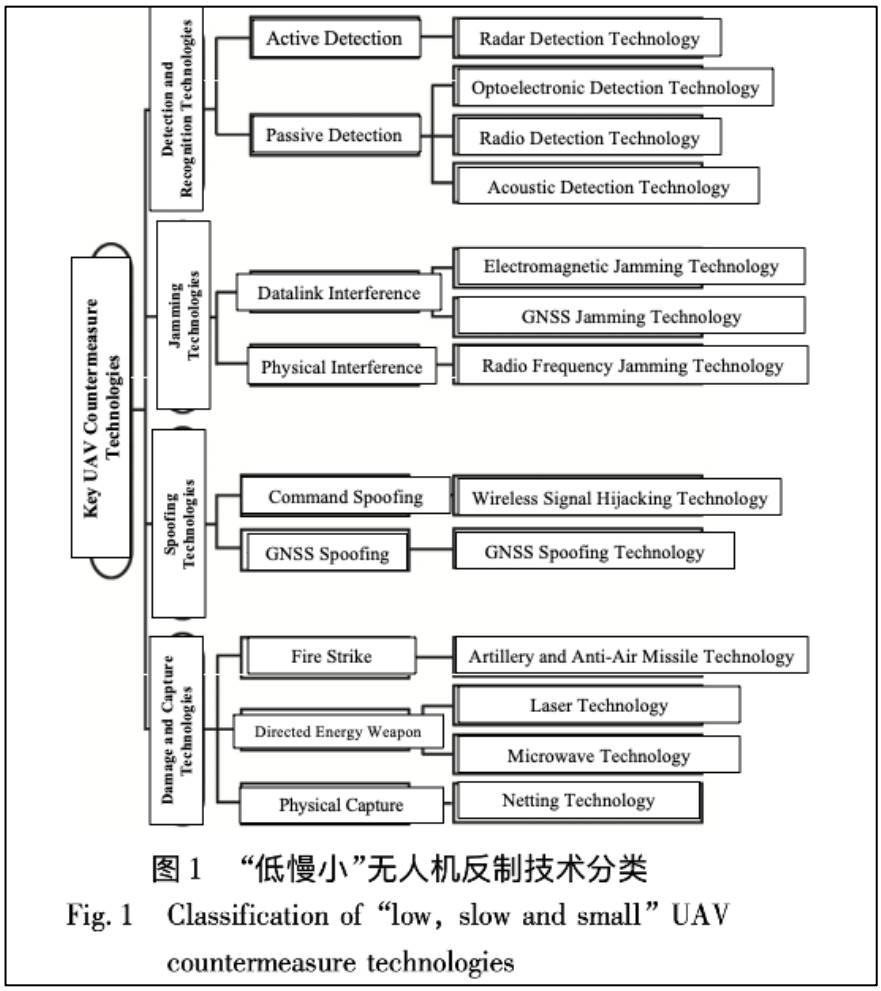

图 1 “低慢小”无人机反制技术分类

Fig. 1 Classification of “low, slow and small” UAV countermeasure technologies

Figura 2: Marco de contramedidas para UAV LSS[39]

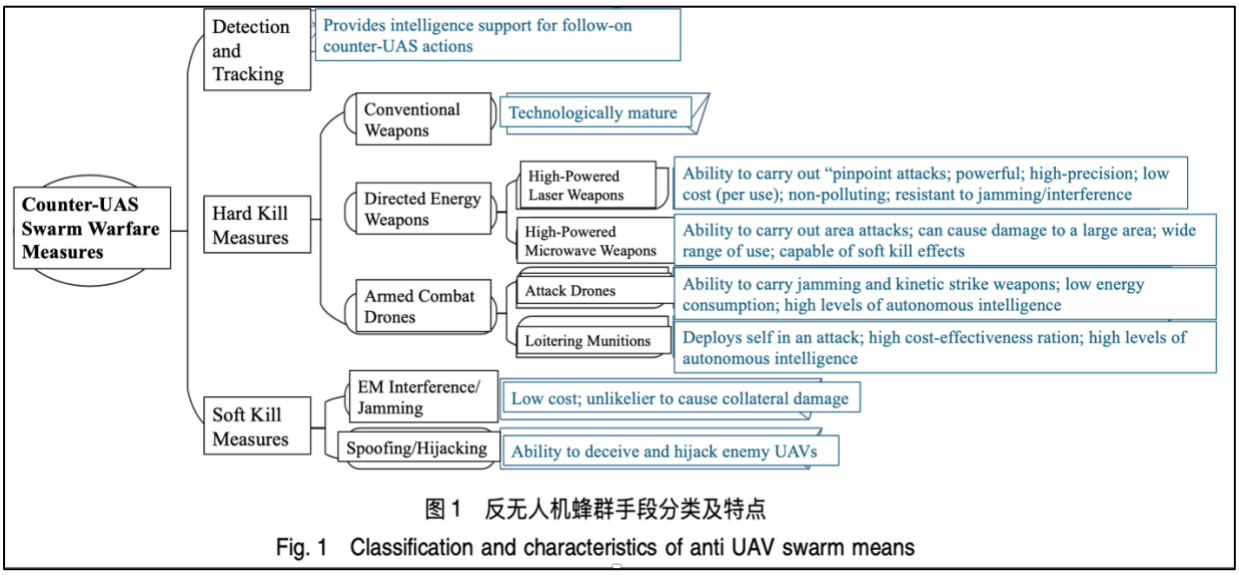

Figura 3: Marco para las medidas contra enjambres de UAS, según lo establecido por investigadores del Instituto de Investigación Naval del EPL. Los autores señalaron las ventajas de cada tipo de contramedida en azul.[40]

DDETECCIÓN, TATROZ,YMIARLYOADVERTENCIA

Los investigadores de defensa chinos reconocen que la detección, el seguimiento y la alerta temprana son el primer paso en cualquier acción contra los UAS.[41]En consecuencia, los métodos de detección para vehículos aéreos no tripulados (UAV) de bajo coste parecen ser un foco de investigación e inversión, como lo demuestran los códigos de financiación mencionados en artículos académicos. Como lo expresan ingenieros afiliados al Instituto de Tecnología Optoelectrónica del Norte de China (华北光电技术研究所)y Tecnología Electroóptica CETC (中电科光电科技有限公司),ambos alias del Instituto de Investigación CETC 11,[42]La defensa contra vehículos aéreos no tripulados LSS hostiles normalmente se lleva a cabo a corta distancia; por lo tanto, una defensa exitosa requiere sistemas anti-UAS para detectar, identificar y mitigar/neutralizar los objetivos LSS rápidamente.[43]

Los escritos del EPL y de la industria de defensa comúnmente dividen las medidas de detección y seguimiento en cuatro subcategorías: medidas y tecnologías de detección por radar, fotoeléctrica, por radio y acústica.[44]
Los ingenieros chinos reconocen que cada uno tiene ventajas y limitaciones, particularmente en lo que respecta a los UAV LSS.[45]

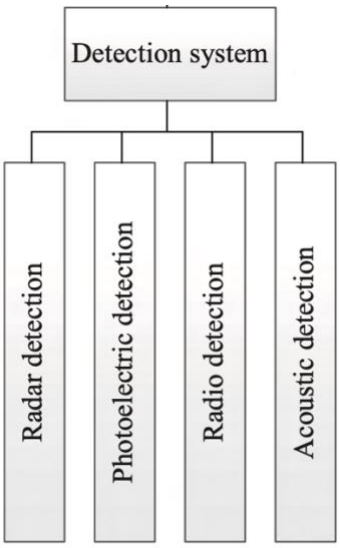

Figura 4: Categorías de tecnologías de detección de LSS descritas por los ingenieros de defensa de la República Popular China[46]

Detección de radar

Si bien el radar aún se considera el método más eficaz para detectar UAV, los ingenieros de la República Popular China señalan que estos métodos adolecen de problemas inherentes como puntos ciegos a corto alcance, baja resolución y susceptibilidad a interferencias electrónicas. El pequeño tamaño y la reducida sección transversal del radar de los UAV LSS dificultan aún más su detección; e incluso cuando se detectan, la señal de retorno de estos UAV es débil, lo que dificulta distinguirlos de aves e insectos en vuelo. Además, eliminar el clutter terrestre y marino sigue siendo un desafío para los ingenieros de defensa, lo que complica aún más la detección de UAV LSS mediante radar.[47]

Detección y seguimiento fotoeléctrico

Las tecnologías fotoeléctricas, que cumplen funciones tanto de detección como de identificación, se ven igualmente afectadas por los UAV LSS, que tienden a emitir niveles más bajos de radiación infrarroja. Esto también dificulta distinguirlos de las aves y otros objetos aéreos, como cometas, globos o drones de consumo utilizados para fotografía aérea. Además, los sensores fotoeléctricos suelen tener un rendimiento deficiente en condiciones climáticas adversas y se bloquean fácilmente con objetos físicos, lo que limita su utilidad en entornos complejos.[48]

A pesar de estas debilidades, los investigadores de defensa de la República Popular China consideran que esta clase de tecnologías es prometedora para la detección de objetivos LSS, ya que funciona bien en entornos electromagnéticos (EM) complejos y de baja altitud. Sin embargo, al mismo tiempo, reconocen que es necesario mejorar el alcance de detección y la capacidad de reconocimiento de objetivos en los sistemas de detección fotoeléctrica actuales. Fundamentalmente, las mejoras en la capacidad de detección de objetivos dependerán de nuevos avances en IA para optimizar las capacidades de reconocimiento inteligente.[49]

Detección y seguimiento por radiofrecuencia

El personal del EPL y de defensa considera que los métodos de radiofrecuencia son eficaces para la detección e identificación de UAV LSS. Al analizar el espectro de frecuencias asociado con las señales de control de vuelo y transmisión, estos sistemas pueden identificar con precisión el modelo y las características operativas de un UAV hostil y localizar al operador del dron. Además, la compacidad y ligereza de los equipos de detección por radio los hacen más adecuados para cualquier condición climática.

Terreno y escenarios de despliegue rápido. Sin embargo, los investigadores señalan que la eficacia operativa de estos sistemas se ve limitada por las limitaciones de su banda de frecuencia. Por lo tanto, detectar vehículos aéreos no tripulados hostiles que operan en silencio de radio sigue siendo un desafío significativo.[50]

Detección y seguimiento acústico

La tecnología de detección acústica emplea sensores acústicos de alta sensibilidad para capturar y analizar el sonido emitido por drones en vuelo. Estas señales acústicas se cruzan con la biblioteca de audio de UAV para permitir su detección e identificación. Sin embargo, investigadores de defensa de la República Popular China señalan que las emisiones sonoras de los UAV LSS durante el vuelo suelen ser bajas, especialmente a baja velocidad, lo que dificulta su detección. Otra crítica es que la eficacia de los sistemas de detección acústica depende de la calidad y la exhaustividad de sus bibliotecas de huellas de audio, lo que limita su capacidad para identificar UAV no representados en una biblioteca. Además, el rendimiento de estos sistemas y sensores de detección acústica puede verse afectado en entornos ruidosos.[51]A pesar de estas críticas, los observadores de la República Popular China han señalado la eficacia de los respectivos sistemas de detección acústica de Rusia y Ucrania en el conflicto, sugiriendo que las tecnologías relacionadas seguirán siendo un área de investigación y desarrollo.[52]

La siguiente tabla presenta un resumen de las ventajas y limitaciones (según lo descrito por los ingenieros del EPL y de la industria de defensa) de cada categoría de tecnología de detección descrita anteriormente.

Tabla 1: Ventajas y desventajas de las principales categorías de tecnologías de detección de LSS[53]

Detección Tecnología	Ventajas	Desventajas
Radar	• Operación en todo clima • Proporciona información de distancia • Largo rango de detección • Alta eficiencia de detección	• Alta tasa de falsas alarmas • Susceptible a interferencias electrónicas • Tiene puntos ciegos en la detección a corta distancia. • Resolución inadecuada • Baja probabilidad de identificación
Optoelectrónica	• Alta precisión de detección • Fuerte capacidad de identificación • Visualiza la información • Detección pasiva	• Campo de visión limitado, lo que resulta en una eficiencia de detección reducida • La falta de información sobre la distancia en una sola instalación dificulta evaluación precisa • Inadaptable a condiciones climáticas extremas • Incapacidad para detectar objetivos fuera de la línea de visión
Radio	• Operación en todo clima • Alta eficiencia de detección • Capacidad para identificar características del espectro EM, tipo de aeronave y ubicación del operador	• Precisión de detección limitada • Rendimiento inadecuado contra objetivos electromagnéticamente silenciosos • Vulnerable a interferencias en entornos electromagnéticos complejos

Acústico	• Operación en todo clima • Detección de 360°, capacidad de detectar objetivos detrás de obstáculos.	• Rango de detección limitado • Rendimiento subóptimo en entornos ruidosos • Precisión de detección acústica reducida • Desafíos en la elaboración de perfiles de objetivos

Debido a las limitaciones inherentes de cada categoría de tecnología, el personal del EPL y de la industria de defensa evalúa universalmente que construir un sistema efectivo de detección y seguimiento de UAS requiere un enfoque compuesto, con una arquitectura de sensores en capas que combine cada categoría de tecnologías de detección para mejorar la cobertura, mitigar brechas y asegurar redundancia y resiliencia en todo el sistema.[54]

Vehículo aéreo no tripulado MIGIEGACIÓNMETROMEDIDAS

Como se señaló anteriormente, los escritos del EPL y de la industria de defensa sobre acciones de mitigación contra los UAS generalmente clasifican estas acciones como contramedidas de destrucción suave o de destrucción dura.

Contramedidas de muerte suave

Algunos investigadores de defensa chinos describen las tecnologías de interferencia electromagnética como la clase más importante de tecnologías de mitigación/neutralización de drones en la actualidad. En un debate sobre contramedidas electromagnéticas contra enjambres de vehículos aéreos no tripulados (UAV), investigadores del EPL afiliados al Centro de UAV de la Escuela de Aviación del Ejército del EPL (陆军航空兵学院无人机中心)enumerar entre las ventajas de emplear Las contramedidas EM son la capacidad de afectar, controlar o dañar múltiples drones en una dirección o área específica sin causar daños colaterales. Los autores también destacaron la utilidad de las contramedidas EM para permitir a los defensores secuestrar un dron hostil y transmitir información falsa de reconocimiento e inteligencia para engañar al adversario.[55]

Los escritos del EPL y de defensa desglosan estas medidas en dos categorías: interferencias, es decir, GNSS y tecnologías de interferencia de radiofrecuencia (RF), y suplantación de identidad, es decir, secuestro de señales y tecnologías de suplantación de GNSS.[56]Los escritos académicos subrayan la capacidad de estas tecnologías para neutralizar drones con una destrucción física y daños colaterales limitados, lo que permite a los defensores capturar drones hostiles para realizar ingeniería inversa o recopilación de inteligencia.[57]

Esta capacidad se considera muy valiosa: prácticamente todos los artículos revisados para este trabajo que tratan sobre tecnologías de interferencia y suplantación de señales hacen referencia a la supuesta captura por parte de Irán de un avión no tripulado RQ-170 Sentinel estadounidense en diciembre de 2011. Las discusiones sobre este incidente en los escritos de la República Popular China toman al pie de la letra las afirmaciones de Irán de que su unidad de guerra cibernética capturó el avión no tripulado mediante una combinación de interferencia y suplantación de señales, y el incidente se enmarca como un ejemplo de la aplicación exitosa de tecnologías electromagnéticas contra un UAV.[58]

En debates sobre el empleo de contramedidas electromagnéticas contra enjambres de drones, los investigadores de defensa del EPL y la RPC se inclinan conceptualmente por la idea de interrumpir la coordinación entre los UAV individuales dentro de un enjambre. Las técnicas para lograrlo incluyen la interferencia o suplantación de módulos GNSS y la interrupción o secuestro de los enlaces de datos de comando.[59]

En términos de sistemas específicos, un artículo reciente escrito por personal afiliado a la Escuela de Información y Comunicación de NUDT (国防科技大学信息通信学院)argumentó que a gran escala Los sistemas de guerra electrónica anti-UAS tienen una utilidad táctica limitada y sólo son adecuados y rentables para

Cubriendo ubicaciones clave y objetivos estratégicos de alto valor. El autor, en cambio, abogó por sistemas portátiles de guerra electrónica anti-UAS, describiendo estos sistemas más pequeños y manuales como la "elección inevitable".[60]

A pesar de la promesa que atribuyen a las tecnologías de contramedidas EM, los expertos del EPL también advierten que el rápido desarrollo de las tecnologías de vehículos aéreos no tripulados significa que su capacidad para resistir interferencias EM y otras medidas de aniquilación suave está mejorando.[61]Como lo expresó el personal de la Escuela de Aviación del Ejército del EPL mencionado anteriormente, la rápida evolución de las contramedidas EM y las tecnologías de drones implica que estas últimas conllevan el riesgo de fracaso. Como escriben los autores, las contramedidas EM deben tener un objetivo específico, lo que requiere conocer la frecuencia operativa del dron o los drones hostiles atacados. De igual manera, las medidas de control de intrusiones solo son efectivas si se conocen las vulnerabilidades de software asociadas con el dron hostil. Los autores también advierten que las técnicas de interferencia y suplantación de GNSS solo son efectivas contra drones que utilizan navegación por satélite. Estos riesgos implican que los ataques EM por sí solos podrían no ser suficientes como contramedida para interrumpir por completo las operaciones de un dron hostil. También implican que un dron hostil atacado con éxito en las etapas iniciales podría ser recapturado por el adversario.[62]

HARDKENFERMODOCONTRAMEDIDAS

En los escritos de la República Popular China contra los UAS, las contramedidas de aniquilación dura, es decir, el ataque cinético y las medidas de destrucción/mitigación/intercepción, se dividen en armas convencionales, armas de energía dirigida y tecnologías de drones de combate armados.[63]

Armas convencionales

A pesar del reconocimiento de que los sistemas de armas convencionales no son rentables contra los drones de bajo costo, los escritos académicos y técnicos dejan en claro que los pensadores del EPL no están preparados para descartar por completo su uso contra las amenazas de los UAS.[64]En un artículo publicado en 2023, investigadores de la Universidad de Ingeniería del Ejército del EPL reconocieron que las armas convencionales siguen siendo la clase más madura de tecnologías anti-UAS.[65]En lugar de renunciar a su uso, los pensadores del EPL parecen haber explorado maneras de abordar el problema de la rentabilidad. Como indicio de que el EPL probablemente también buscará soluciones similares, investigadores afiliados al Instituto de Investigación Naval del EPL observaron en 2023 que países extranjeros se han centrado en mejorar la capacidad de ataque de precisión de las armas convencionales, reducir los costes de los misiles e invertir en tecnologías de misiles inteligentes antienjambre para corregir el desequilibrio de costes asociado al despliegue de dichas armas contra amenazas aéreas no tripuladas. Además de modificar las armas convencionales, los ingenieros del EPL también parecen haberse centrado en las armas de energía dirigida (DEW), como las armas láser y de microondas de alta potencia, como soluciones de destrucción masiva contra los UAS.[66]

Armas de energía dirigida

Los expertos del EPL y de la industria de defensa consideran que las contramedidas DEW son especialmente prometedoras contra enjambres de drones. Si bien reconocen que las tecnologías DEW aún son relativamente inmaduras, los ingenieros de defensa suelen destacar la rentabilidad proyectada por disparo de las contramedidas DEW en comparación con las intercepciones de fuego cinético.[67]

Los escritos del EPL también sugieren que su interés en las contramedidas DEW puede deberse en parte al enfoque y las grandes inversiones realizadas en DEW como solución contra enjambres de drones por países extranjeros, especialmente Estados Unidos. Casi todos los escritos sobre investigación contra UAS revisados para este trabajo abordaron las iniciativas de desarrollo de EE. UU. y Rusia en DEW, incluyendo el programa Leonidas.

Sistema de microondas de alta potencia desarrollado por Epirus y el respondedor operativo táctico de alta potencia (THOR) desarrollado por el Laboratorio de Investigación de la Fuerza Aérea (AFRL).[68]

Municiones merodeadoras y vehículos aéreos no tripulados de ataque armado

Los estrategas del EPL reconocen cada vez más el valor de las municiones merodeadoras y los drones de ataque armados como componentes vitales de una solución contra enjambres de drones. Las municiones merodeadoras, o drones suicidas, se consideran particularmente eficaces debido a sus capacidades integradas de reconocimiento y ataque. Estas municiones pueden permanecer en el aire durante largos periodos, lo que les permite responder rápidamente a las amenazas.[69]

Siguiendo el ejemplo de Rusia, el personal de la Academia de Artillería y Defensa Aérea del Ejército del EPL también ha discutido el despliegue de municiones merodeadoras en formaciones que sirvan como un campo minado aéreo contra enjambres hostiles entrantes.[70]

Expertos del EPL y de la industria de defensa también están considerando el uso de drones de ataque equipados con sus propios efectores de aniquilación, tanto duros como blandos, en funciones de caza-asesinato para localizar y neutralizar vehículos aéreos no tripulados (UAV) enemigos u otras plataformas. En los debates sobre drones de ataque y su utilidad, se suele citar como ejemplo el sistema Raytheon Coyote.[71]La integración de la IA en estas plataformas se debate con frecuencia en la literatura académica china, con especial atención a la mejora de las capacidades autónomas de selección de objetivos y combate. Además, estos escritos dejan claro que el despliegue de estos sistemas en enjambres contra enjambres hostiles es otro concepto de gran interés para el EPL y el personal de defensa.[72]

En este escenario, se despliega un enjambre defensivo de drones, equipados con armas, sensores y sistemas de comunicación avanzados, para interceptar y neutralizar un enjambre atacante de vehículos aéreos no tripulados enemigos.[73]El enjambre defensivo opera como una unidad cohesionada, con drones individuales trabajando en conjunto para identificar, rastrear y atacar múltiples objetivos simultáneamente. Conceptualmente, algoritmos basados en IA permitirían al enjambre ajustar sus tácticas dinámicamente, optimizando la distribución de potencia de fuego y recursos en respuesta a un enjambre hostil.[74]

Al igual que con las tecnologías de detección, existe consenso entre los académicos e ingenieros del EPL de que la mitigación exitosa de los UAV LSS y los enjambres de UAV requiere una estrategia de defensa en capas que incorpore medidas de eliminación suave y dura, ya que ninguna capacidad o contramedida puede mitigar todas las amenazas.[75]

YoesenciasYoganado deRcentedoconflictos

Para el EPL, los conflictos recientes no solo han validado los conceptos teóricos y operativos existentes sobre los UAS y las operaciones anti-UAS, sino que también han consolidado su visión del papel de los sistemas no tripulados en la guerra moderna. Además de demostrar el potencial transformador de los sistemas no tripulados en la guerra y la amenaza que representan las tácticas de enjambre, se ha reforzado firmemente la idea del EPL de que los sistemas anti-UAS eficaces deben ser multicapa e incorporar una combinación de medidas de aniquilación dura y blanda.

Podemos esperar, sin embargo, que así como la comprensión del EPL de la utilidad de los sistemas no tripulados se amplió y refinó mediante sus observaciones de las operaciones militares estadounidenses en Medio Oriente y Afganistán, su pensamiento sobre los conceptos de UAS y contra-UAS continuará evolucionando a medida que estos conflictos continúen y presenten tecnologías UAS/C-UAS cada vez más sofisticadas.

TtransformativoPAGpotencial detÚtripuladoSsistemas enMETROmodernoOarfare

Para los observadores del EPL y de la industria de defensa, el reciente conflicto de Nagorno-Karabaj y la actual guerra entre Rusia y Ucrania han demostrado en distintos grados el potencial transformador que tienen los sistemas no tripulados en la guerra moderna, así como su impacto potencial para decidir los resultados militares.[76]
Como escribió un ingeniero de defensa de la República Popular China sobre el papel de los sistemas no tripulados en el conflicto de Nagorno-Karabaj: «Los vehículos aéreos no tripulados (UAV) ya no son un complemento; su eficacia en el reconocimiento, el combate directo y la flexibilidad operativa los ha consolidado como un elemento fundamental de las estrategias de guerra modernas». El mismo autor afirmó que las operaciones con UAS y contra UAS se normalizarían, una creencia que se refleja en otros escritos de investigadores del EPL y de la industria de defensa sobre conflictos recientes.[77]

En las discusiones sobre el conflicto de Nagorno-Karabaj, los investigadores del EPL y de defensa que escriben en publicaciones de la industria de defensa han enfatizado el uso exitoso de UAS por parte de Azerbaiyán contra tanques y vehículos blindados armenios y el sistema anti-UAS “Repellent-1” producido por Rusia.[78]
Un díaEl autor de la industria de defensa señaló que, al 30 de septiembre de 2020, apenas unos días después del inicio del conflicto, solo los drones integrados de reconocimiento y ataque TB-2 habían destruido más de 30 tanques y vehículos de combate de infantería, un lanzacohetes BM-27 y 15 sistemas de misiles de defensa aérea autopropulsados.[79]En estas observaciones sobre el conflicto de Nagorno-Karabaj se hace especial hincapié en el coste relativamente bajo de los UAS empleados por Azerbaiyán y su capacidad para dañar o destruir tanques y sistemas de defensa aérea mucho más costosos. Como observó otro experto:Los drones de ataque pequeños y relativamente económicos pueden transformar la naturaleza de la guerra, tradicionalmente dominada por el combate terrestre y las fuerzas aéreas convencionales. Incluso los sistemas de armas avanzados, como tanques, radares y misiles tierra-aire, presentan vulnerabilidades.[80]Varios artículos revisados para este trabajo, incluido uno escrito por investigadores afiliados a la Universidad de Ingeniería del Ejército del EPL y la Unidad 95269 del EPL, compararon el desequilibrio de costos inherente al empleo de costosas armas convencionales contra drones más baratos con “usar un cañón para matar un mosquito”.[81]

Tamenaza yPAGpotencial deScálidoTacticas yTtecnologías

Conflictos como la guerra civil siria y los ataques con drones de 2019 a las instalaciones petroleras saudíes demostraron la amenaza de los sistemas UAV LSS.[82]y el creciente potencial de las tácticas y tecnologías de enjambre para alterar los sistemas de armas tradicionales y alterar la dinámica del combate moderno.[83]

Un ejemplo predilecto de escritores del EPL que demuestran el potencial de las tácticas de enjambre es el ataque de enero de 2018 contra la base rusa de Hmeimim y la base naval de Tartus, perpetrado por 13 drones armados, presuntamente enviados por rebeldes sirios. Según el Ministerio de Defensa ruso, las fuerzas rusas finalmente frustraron el ataque, derribando siete drones con sistemas de defensa aérea y seis con sus unidades de guerra electrónica. Investigadores afiliados a la Universidad de Ingeniería del Ejército del EPL y a la Unidad 95269 del EPL escribieron que el incidente había demostrado el gran potencial de las tácticas de enjambre de UAV, aunque reconocieron que los drones desplegados en el ataque carecían de las características de un verdadero enjambre de UAV. Para estos investigadores del EPL, los ataques también subrayaron la importancia de las operaciones contra UAS, especialmente el desarrollo de contramedidas efectivas contra los UAV LSS y las tácticas de enjambre de drones.[84]Los ingenieros de defensa destacaron además el uso por parte de Rusia de medidas tanto de aniquilación dura como de aniquilación blanda.[85]

En concreto, los investigadores afiliados a la Academia de Ciencias e Ingeniería de Sistemas Aeroespaciales de China (中国航天系统科学与工程研究院),También conocida como la Academia CASC 12 (中国航天科技集团公司第十二研究院),Señaló que, aunque Rusia había neutralizado con éxito los drones, era Solo se pudo lograr esto con defensas estratificadas, incluyendo contramedidas electrónicas de aniquilación suave y medidas de aniquilación dura, como misiles antiaéreos. Los autores también evaluaron que probablemente no se había implementado una interferencia de GPS a gran escala en las bases, lo que sugiere que, de haberse implementado tales medidas, los drones podrían no haber podido volar dentro del alcance de los sistemas de defensa aérea rusos.[86]

IIMPORTANCIA DEROBUST, MULTI-SENSOR, MULTI-EN CAPASDOCONTADOR-UAS SSISTEMAS

Si bien reconocen el exitoso empleo de vehículos aéreos no tripulados por parte de las fuerzas azerbaiyanas en el conflicto de Nagorno-Karabaj, expertos del EPL y de la industria de defensa también han evitado atribuir la victoria de Azerbaiyán únicamente al éxito del empleo de estos vehículos. De hecho, una conclusión clave de muchos análisis de la República Popular China sobre el conflicto es la importancia de contar con sistemas robustos contra los UAS y defensas aéreas. Los expertos señalan deficiencias y fallos en las estrategias y sistemas anti-UAS de Armenia.incluido el uso de obsoletos sistemas de defensa aérea soviéticos,como factores decisivos en su derrota.[87]
Como concluyeron sin rodeos los investigadores afiliados a la Universidad de Ingeniería PAP, “las intercepciones aéreas tradicionales o los ataques terrestres no son adecuados para contrarrestar los drones 'bajos, lentos y pequeños' debido al alto costo de los sistemas de defensa aérea y los desafíos que estos sistemas tienen para contrarrestar múltiples objetivos”.[88]

De hecho, los investigadores del EPL subrayan que, a pesar de su desempeño en el conflicto, los drones TB-2 empleados por las fuerzas azerbaiyanas no eran particularmente sofisticados: carecían de capacidades de guerra electrónica de autodefensa y presentaban deficiencias inherentes, como poca maniobrabilidad y baja velocidad. Si bien fueron decisivos en el conflicto contra las fuerzas armenias, los investigadores del EPL señalan que los drones fueron rápidamente derribados por sistemas de defensa aérea más sofisticados cuando sobrevolaron bases militares rusas y el espacio aéreo iraní. Esta observación parece indicar que los resultados podrían no haber sido tan favorables para Azerbaiyán si las fuerzas armenias hubieran contado con mejores sistemas anti-UAS y defensas aéreas.[89]

Otro aspecto del empleo de vehículos aéreos no tripulados (UAV) en el conflicto, frecuentemente examinado por investigadores chinos, es el uso exitoso de municiones de merodeo por parte de las fuerzas azerbaiyanas. Un ingeniero de la industria de defensa caracterizó el conflicto de Nagorno-Karabaj como el primer uso práctico a gran escala de drones de ataque unidireccionales. Al evaluar su rendimiento, el ingeniero escribió que los drones...

Los efectos superaron las evaluaciones previas realizadas por expertos militares. Los drones Harop, de fabricación israelí, eran pequeños, ligeros y relativamente económicos, lo que los hacía convenientes para su uso a gran escala. Podían patrullar el campo de batalla durante largos periodos y eran eficaces para atacar objetivos y fortificaciones de alto valor. Además, resultaban difíciles de defender. El impacto psicológico de los drones también se destacó en los análisis, y los académicos evaluaron que la capacidad del dron Harop para realizar ataques repentinos e inesperados contribuyó significativamente a socavar la moral y la resistencia de las fuerzas armenias.[90]

miESCALAUAS/CCONTADOR-UAS ARMSRAS

Un tema recurrente en los escritos del EPL sobre conflictos recientes con vehículos aéreos no tripulados es la creencia de que los conflictos futuros se definirán cada vez más por una carrera armamentística cada vez más intensa entre UAS y sus contraataques. Numerosos artículos revisados para este análisis destacan la mayor intensidad de las operaciones con UAS y sus contraataques observada en la guerra entre Rusia y Ucrania. Investigadores de la Facultad de Información y Comunicación de la NUDT y de la Universidad de Aviación de la Fuerza Aérea del EPL han argumentado que la adaptación flexible de nuevas tácticas y contramedidas para vehículos aéreos no tripulados por parte de ambos bandos no solo ha exacerbado el conflicto, sino que también ha acelerado el ritmo de la innovación tecnológica y táctica en la guerra aérea no tripulada.[91]

Existe un consenso entre los expertos del EPL y de la industria de defensa de que el futuro verá avances continuos en tácticas de enjambre, lo que a su vez impulsará el desarrollo de contramedidas de enjambre cada vez más sofisticadas.[92]Este reconocimiento ha subrayado la necesidad de innovar continuamente en conceptos, tácticas, estrategias y tecnologías operativas de UAS y contra UAS. Para el personal militar y de defensa chino, la guerra entre Rusia y Ucrania, en particular, ha puesto de relieve la importancia crucial de dicha innovación para lograr y mantener la superioridad operativa en futuros conflictos.[93]El reconocimiento de que Estados Unidos, Rusia y Europa han hecho de los enjambres de bajo costo un foco de desarrollo tanto en términos de niveles de tecnología como de capacidad de producción sin duda contribuye a un mayor sentido de urgencia para los expertos de la República Popular China.[94]

En la siguiente sección se analizan las debilidades y limitaciones señaladas por los investigadores del EPL y de defensa a medida que se basan en los principios técnicos, las tecnologías y el pensamiento operativo existentes sobre la lucha contra los UAS y tratan de aplicar las lecciones aprendidas a partir de la observación del empleo de UAS y contra UAS en conflictos reales.

TTÉCNICOdoDESAFÍOS YYoIMITACIONES

Como se mencionó anteriormente, existe un fuerte consenso entre los investigadores del EPL y de defensa en que la solución para contrarrestar los UAV LSS y las tácticas y tecnologías de enjambre requiere el desarrollo de sistemas integrados multicapa de detección, seguimiento, identificación y defensa, compuestos por diversas medidas de aniquilación dura (cinética) y blanda (no cinética). Los conflictos recientes no han hecho más que consolidar este consenso.[95]

Muchos escritos del EPL y de la industria de defensa reconocen que las tecnologías avanzadas, como las redes neuronales artificiales y el aprendizaje automático, son tecnologías cruciales para facilitar el seguimiento, la identificación y la toma de decisiones a la hora de determinar la acción óptima de mitigación o intercepción.[96]Al menos un artículo, escrito por autores afiliados a la Facultad de Información y Comunicación de la Universidad Nacional de Tecnología de Defensa del EPL (国防科技大学信息通信学院)y la Universidad de Aviación de la Fuerza Aérea del EPL (空军航空大学),Afirma que Estados Unidos ya ha empleado tecnología de IA en combates con drones como parte de su apoyo a Ucrania en la guerra entre Rusia y Ucrania. En concreto, los autores afirman que el ejército estadounidense y otros activos utilizaron IA para procesar y analizar la información transmitida por drones y satélites y optimizar los ataques.[97]

No es sorprendente que los detalles técnicos para la construcción de tales sistemas tiendan a ser vagos.[98]Además de las preocupaciones de seguridad nacional, al menos parte de la razón por la que las descripciones de estos sistemas parecen más afines a las conceptualizaciones teóricas es probablemente porque por el momento siguen siendo sólo eso: conceptos teóricos.

Los investigadores de defensa chinos en este campo reconocen que las medidas existentes contra los UAS aún enfrentan numerosos desafíos técnicos sin resolver. Entre las debilidades citadas se incluyen la estandarización deficiente, capacidades insuficientes en condiciones ambientales complejas y un rendimiento poco fiable durante el uso rutinario.[99]También faltan sistemas básicos de comando y control para coordinar diversas armas y equipos anti-UAS.[100]

Integrar las tecnologías de IA en las complejas redes de defensa conceptualizadas en los escritos del EPL y de la industria de defensa es un desafío aún mayor. Los investigadores aún tienen que resolver problemas críticos relacionados con la detección, la integración de información inteligente, la interceptación y la integración de plataformas, componentes clave necesarios para implementar las soluciones anti-UAS multisensoriales, multicapa e integrales que se han previsto.[101]

En una evaluación del desarrollo nacional de sistemas anti-UAS, realizada en 2022, los ingenieros del PAP reconocieron que las tecnologías anti-UAS para entornos más complejos, como el marino y las zonas urbanas, aún son inmaduras. Estas últimas representan un desafío particular para la detección, el seguimiento y la identificación de objetivos debido a la obstrucción de la señal física causada por edificios, escombros terrestres y aves, así como por el ruido y las interferencias electromagnéticas. Los ingenieros también evaluaron la tecnología y los equipos de contramedidas para enjambres de drones como inmaduros, señalando los mismos desafíos técnicos en la detección y el seguimiento.[102]

En un estudio de 2022, investigadores de la Academia de Alerta Temprana de la Fuerza Aérea del EPL destacaron que la clave para la futura guerra de enjambre de drones radica en poseer los algoritmos más avanzados y reconocieron que Estados Unidos tiene importantes ventajas científicas y tecnológicas en esta área.[103]En esta línea, los investigadores afiliados al Centro UAV de la Escuela de Aviación del Ejército del EPL

Han subrayado la importancia de monitorear los avances extranjeros en tecnologías de enjambre hombre-máquina, incluidas las especificaciones, la funcionalidad y el uso, para mejorar las propias capacidades de la República Popular China.[104]

Los ingenieros de defensa de la República Popular China también reconocen deficiencias en el desarrollo de la tecnología DEW. Si bien observaron que los DEW se han desplegado en el campo de batalla y han demostrado potencial, investigadores del Instituto de Tecnología Nuclear del Noroeste enfatizaron en 2022 que persisten desafíos significativos. Evaluaron la relación potencia-peso de estas armas como inadecuada para las necesidades del campo de batalla y reconocieron que aún se requieren avances para miniaturizar y aligerar los sistemas.[105]Los investigadores del Centro de UAV de la Escuela de Aviación del Ejército del EPL parecieron hacer eco de estos sentimientos en 2019 con la crítica de que los sistemas de contramedidas DEW existentes eran físicamente grandes.[106]Las observaciones realizadas por el personal de la Universidad de Ingeniería del Ejército del EPL sobre las armas DEW rusas, como el láser Peresvet, caracterizaron de manera similar al sistema como terrestre con escenarios de uso limitados debido a su peso y consumo de energía.[107]

En general, los expertos del EPL y de defensa reconocen que, si bien se han logrado avances importantes en el desarrollo técnico de sistemas anti-UAS, aún persisten importantes lagunas y desafíos.

doCONCLUSIONES/IIMPLICACIONES

Los estrategas e investigadores del EPL han seguido de cerca los avances internacionales en tecnologías y tácticas de UAS y contra UAS, y han extraído importantes conclusiones de los éxitos y fracasos de su empleo en conflictos como el conflicto de Nagorno-Karabaj y la actual guerra entre Rusia y Ucrania. Estas observaciones parecen no solo validar los conceptos teóricos y operativos existentes dentro del EPL, sino también servir de catalizador para perfeccionar su enfoque de la guerra no tripulada.

En particular, para la lucha contra los UAS, si bien los investigadores e ingenieros militares de la República Popular China han enfatizado desde hace tiempo la necesidad de enfoques contra los UAS que reflejen los que se debaten en Estados Unidos y otros países, a saber, sistemas integrados multicapa basados en IA, compuestos por sistemas avanzados de detección, seguimiento y alerta temprana, y contramedidas de destrucción suave y dura, los conflictos recientes parecen haber demostrado la importancia vital de un enfoque multicapa y multimodal. Si bien esta comprensión sin duda implicará inversiones continuas en métodos de interferencia electromagnética cada vez más sofisticados, armas de energía dirigida y tecnologías de IA para mantener el ritmo de los competidores estratégicos y lograr la superioridad operativa en futuros conflictos, los investigadores militares y de defensa de la República Popular China también han observado el gran impacto de sistemas y contramedidas menos sofisticados y de costo relativamente bajo.[108]

En su búsqueda de innovación en tecnologías operativas avanzadas contra UAS, los investigadores de la República Popular China reconocen con franqueza las importantes brechas entre la teoría y la implementación práctica, así como los desafíos técnicos que deben superarse para lograr la capacidad inteligente, integrada y de extremo a extremo contra UAS conceptualizada en sus escritos. En particular, la complejidad de operar en entornos urbanos y marítimos presenta obstáculos significativos para la detección, el seguimiento y la identificación de objetivos. La integración de las tecnologías de IA y aprendizaje automático se considera un factor clave para superar estos desafíos, en particular para mejorar la inteligencia, la autonomía y la velocidad de toma de decisiones de los sistemas de detección y mitigación. Por lo tanto, se espera que el Ejército Popular de Liberación (EPL) continúe impulsando la innovación y la inversión en áreas clave, como la detección de objetos densos y pequeños mediante IA, la mejora de imágenes, el procesamiento de datos y la toma de decisiones.

Por último, si bien actualmente el EPL carece de una doctrina especializada para contrarrestar los sistemas no tripulados, es probable que haya orientado aspectos de su enfoque anti-UAS a una posible confrontación con Estados Unidos y sus aliados.[109]Dado su intenso monitoreo de las operaciones de vehículos aéreos no tripulados (UAV) extranjeros y los avances tecnológicos, se espera que el EPL intensifique sus esfuerzos de recopilación de datos sobre las capacidades de los UAS militares y del sector privado estadounidense como parte de su estrategia contra los UAS. Además de la recopilación de datos sobre especificaciones técnicas, mando y control, y personal, podemos suponer, basándonos en su énfasis en la alerta temprana, la detección y la identificación, que el EPL buscará ampliar sus bases de datos de perfiles de drones con las señales de emisiones y/o las firmas acústicas de los sistemas no tripulados que probablemente emplearán EE. UU. y sus aliados en un futuro conflicto.

[1]Li Jiafu (李家福), "Un estudio del empleo operativo de vehículos aéreos no tripulados" (无人机作战运用 研究), Ciencia militar de China (中国军事科学),2018 (6).

[2]La Academia de Ciencias Militares del EPL ha publicado varias ediciones de la Ciencia de la Estrategia Militar (中国人民解放军军事科学院) (2013) y la Universidad de Defensa Nacional del EPL (中国人民解放军国防大 学) (2015, 2017 y 2020). La Academia de Ciencias Militares es el principal grupo de expertos del EPL para operaciones y estrategia militar, mientras que la Universidad de Defensa Nacional sirve como la principal institución de educación militar del EPL para entrenar a los oficiales superiores.

[3]Dang Aiguo (党爱国),Wang Kun (王坤),Wang Yanmi (王延密),y Wang Xiaobing (王晓兵). "El impacto Desarrollo del concepto de combate en enjambre de vehículos aéreos no tripulados (UAVs) sobre ataque y defensa en el campo de batalla del futuro" (无人机集群作战 概念发展对未来战场攻防影响),*Tecnología de misiles tácticos*(战术导弹技术),2019 (1).

[4]Wang Yuan Huang (王远航),Investigación sobre la aplicación en combate de micro-UAV y su estrategia de respuesta (小微型无人机作战应用及其应对策略研究),*Ingeniería electrónica de barcos*(舰船电子工程),2022 (7).

[5]Zhu Tao (朱涛),Li Linjie (李淋杰),y Ling Haifeng (凌海风), ""Uso en combate y perspectivas de los vehículos aéreos no tripulados en la guerra de Siria" (无人机在叙利亚战争中的作战运用与启示),*Revista de misiles aerodinámicos*(飞航导弹),2018 (11); Deng Jing (邓静),Chen Peng (陈 鹏),Weng Chengxiang (翁呈祥),et al., "Investigación sobre la estrategia de interferencia del enlace de medición y control con el enjambre de UAV" (对无人机蜂群测控链路干扰策略研究),*Contramedidas electrónicas a bordo*(舰船电子对抗),2022, 45 (3).

[6]Li Liya (李丽亚),Él canción (何松),Zhao Zhu (赵柱),et al., "Construcción y desarrollo del sistema de prevención y control de objetivos LSS" ("低慢小" 目标防控体系建设及发展思路),*Ingeniería infrarroja y láser*(红外 与激光工程), 2023, 53 (12).

[7]Xiao Tianliang (肖天亮),Lou Yaoliang (楼耀亮),Kang Wuchao (亢武超),y Cao Renzhao (蔡仁照).*La ciencia de la estrategia militar*(战略学), (Pekín: Prensa de la Universidad de Defensa Nacional (国防大学出版社),2015).

[8]Shou Xiaosong (寿晓松),ed., Ciencia de la estrategia militar (战略学), (Pekín: Prensa de Ciencia Militar (中国人 民解放军军事科学研究院),2013).

[9]La estrategia militar de China (中国的军事战略);http://www.81.cn/dblj/2015-05/26/content_6507373.htm.

[10]Zhang Yuliang (张玉良),ed., Ciencia de las Campañas (战役学),Pekín: Prensa de la Universidad de Defensa Nacional (国 防大学出版社),2006.

[11]Wu Bing (吴兵), ""Un estudio sobre la transformación del ejército en los países desarrollados"发达国家陆军转型发展问题研 究),*Ciencia militar de China*(中国军事科学),2013 (3).

[12]Shou Xiaosong,*Ciencia de la estrategia militar*, 2013.

[13]Zhao Tianying (赵天缨), "Sobre el avance del desarrollo de armas y equipos de alta y nueva tecnología"论推进高新技术武器装备发展),*Ciencia militar de China*(中国军事科学),2013 (3).

[14]Shou Xiaosong,*Ciencia de la estrategia militar*, 2013.

[15]Xiao Tianliang (肖天亮),ed. La ciencia de la estrategia militar, 2017. ed. (战略学) (Pekín: Prensa de la Universidad de Defensa Nacional, 2017).

[16]Xiao Tianliang (肖天亮),ed. La ciencia de la estrategia militar, 2020. ed. (战略学), (Pekín: Defensa Nacional (Prensa Universitaria, 2020).

[17]Ibídem.

[18]Ibídem.

[19]Zhang Pengfei (张鹏飞);Introducción a la guerra de información de campaña conjunta (联合战役信息作战概论), (Beijing: Prensa de la Universidad de Defensa Nacional (国防大学出版社),2012.

[20]Hu Qiaolin (胡乔林),Jiao Shijun (焦士俊),Liu Jianhao (刘剑豪),et al., "Investigación sobre el combate contra drones UAV estadounidenses" (反美军无人机蜂群作战问题研究),*Revista de misiles aerodinámicos*(飞航导弹),2021 (12); Sun Zhao (孙 昭),Él Guangjun (何广军),y Li Guangjian (李广剑), "Investigación sobre tecnología anti-UAV estadounidense"(美军反 无人机技术研究), *Revista de misiles aerodinámicos*(飞航导弹),2021 (11).

[21]Xue Meng (薛 猛),Zhou Xuewen (周学文),y Kong Weiliang (孔维亮), "Estado de la investigación y análisis de la tecnología clave del sistema anti-UAV"反无人机系统研究现状及关键技术分析),*Revista de misiles aerodinámicos* (飞航导弹),2021 (5); Liu Yuwen (刘玉文),Liao Xiaobing (廖小兵),et al., "Construcción del marco básico de la técnica anti-UAV" (反无人机技术体系基本框架构建),*Revista de artillería de Sichuan*(四川兵工学报) (ahora*Revista de ingeniería de equipos de artillería*(兵器装备工程学)),2015, 36 (10).

[22]Liu Yuwen y otros*., Construcción del marco básico de la técnica anti-UAV*, 2015

[23]Zhou Mo y otros,*Investigación sobre la guerra de enjambres anti-UAV extranjeros*, 2023.

[24]Xue Meng y otros,*Estado de la investigación y análisis de las tecnologías clave del sistema anti-UAV*, 2021.

[25]Liu Yuwen y otros*., Construcción del marco básico de la técnica anti-UAV*, 2015; Xue Meng y otros,*Estado de la investigación y análisis de las tecnologías clave del sistema anti-UAV*, 2021.

[26]Zhu Tao y otros,*Uso de vehículos aéreos no tripulados en combate y perspectivas en la guerra de Siria*, 2018.

[27]Jiang Rongqi (蒋镕圻),Bai Ruokai (白若楷),Peng Yueping (彭月平), "Descripción general de la tecnología de detección de Objetivos UAV LSS (低慢小无人机目标探测技术综述),*Revista de misiles aerodinámicos*(飞航导弹),2020 (9).

[28]Zhang Jiajun (章佳君),Qian Xiaochao (钱晓超),Zhou Jinpeng (周金鹏),et al., "Análisis exploratorio basado en simulación de un ataque aéreo con drones en yacimientos petrolíferos saudíes" (基于仿真的无人机空袭沙特油田事件探索性分析),Revista de simulación de sistemas (系统仿真学报),2020, 23 (6).

[29]Zhang Huawei (张华伟),Liu Haipeng (刘海鹏),y Shi Chunpeng (史春鹏), "Investigación sobre el desarrollo de tecnología de vehículos aéreos no tripulados pequeños de baja altitud y baja velocidad"反低慢小无人机技术发展研究), *Aplicación de la tecnología electroóptica*(光电技术应用),2021, 36 (3).

[30]Zhang Hao (张皓),Wu Husheng (吴虎胜),y Peng Qiang (彭强), "Resumen de los requisitos de desarrollo de equipos de contramedidas y tecnologías clave para vehículos aéreos no tripulados "bajos, lentos y pequeños" ("低慢小"无人机反制装备及关键技术发展需求综述),*Armamento aéreo*(航空兵器),2022, 29 (5).

[31]Li Liya (李丽亚),Él canción (何松),Zhao Zhu (赵柱),et al., "Construcción y desarrollo del sistema de prevención y control de objetivos LSS" ("低慢小"目标防控体系建设及发展思路),*Ingeniería infrarroja y láser*(红外与激光工程),2023, 53 (12).

[32]El Instituto de Investigación de Tecnología Electrónica de Nanjing, también conocido como el 14.º Instituto de Investigación del CETC, se dedica principalmente a la I+D de radares, ECM y sistemas de información.

[33]Han Changxi (韩长喜),Deng Dasong (邓大松),Chen Zhuo (陈卓),et al., "Desarrollo de la defensa aérea de campaña sistema bajo la amenaza de vehículos aéreos no tripulados (UAV) pequeños y de baja velocidad" (低慢小无人机威胁下的野战防空系统发展研究), *Tecnología de misiles tácticos*(战术导弹技术),2023 (5).

[34]Dang Aiguo et al.,*El impacto del desarrollo del concepto de combate en enjambre de vehículos aéreos no tripulados en el ataque y la defensa en los campos de batalla del futuro*, 2019.

[35]Deng Jing y otros,*Investigación sobre la estrategia de interferencia del enlace de medición y control con el enjambre de UAV*, 2022.

[36]Zhou Mo (周末),Sun Haiwen (孙海文),Wang Liang (王亮),et al. "Investigación sobre enjambres anti-UAV extranjeros" guerra" (国外反无人机蜂群作战研究),*Control de mando y simulación*(指挥控制与仿真),2023, 45 (2).

[37]Hu Leigang (胡雷刚)y Li Wuzhou (李五洲), "Contramedidas físicas de colonias de abejas para UAS" (无人机 蜂群物理反制手段),*Vehículos no tripulados*(无人机),2019, 33 (4).

[38]Zhou Mo y otros,*Investigación sobre la guerra de enjambres anti-UAV extranjeros*, 2023.

[39]Zhang Hao y otros,*Resumen de los requisitos de desarrollo de equipos de contramedidas para UAV "bajos, lentos y pequeños" y tecnologías clave*, 2022.

[40]Zhou Mo y otros,*Investigación sobre la guerra de enjambres anti-UAV extranjeros*, 2023.

[41]Zhang Hao y otros, *Resumen de los requisitos de desarrollo de equipos de contramedidas para UAV "bajos, lentos y pequeños" y tecnologías clave*, 2022.

[42]El Instituto de Tecnología Optoelectrónica del Norte de China y el Instituto de Tecnología Electroóptica del CETC son ambos alias del 11º Instituto de Investigación del CETC, que se dedica al desarrollo de tecnologías láser e infrarrojas para uso militar.

[43]Li Liya y otros, *Construcción y desarrollo del sistema de prevención y control de objetivos LSS*, 2023.

[44]Ibídem.

[45]Ibídem.

[46]Ibídem.

[47]Zhang Hao y otros, *Resumen de los requisitos de desarrollo de equipos de contramedidas para UAV "bajos, lentos y pequeños" y tecnologías clave*, 2022; Li Liya y otros, *Construcción y desarrollo del sistema de prevención y control de objetivos LSS*, 2023.

[48]Zhang Hao y otros, *Resumen de los requisitos de desarrollo de equipos de contramedidas para UAV "bajos, lentos y pequeños" y tecnologías clave*, 2022; Li Liya y otros, *Construcción y desarrollo del sistema de prevención y control de objetivos LSS*, 2023.

[49]Li Liya y otros, *Construcción y desarrollo del sistema de prevención y control de objetivos LSS*, 2023

[50]Zhang Hao y otros, *Resumen de los requisitos de desarrollo de equipos de contramedidas para UAV "bajos, lentos y pequeños" y tecnologías clave*, 2022.

[51]Ibídem.

[52]"Métodos de combate contra UAS en el conflicto entre Rusia y Ucrania" (俄乌冲突中的反无人机作战方式), *Porcelana Noticias de aviación*(中国航空报),28 de junio de 2024.

[53]Li Liya y otros, *Construcción y desarrollo del sistema de prevención y control de objetivos LSS*, 2023.

[54]Ibídem.

[55]Hu Leigang (胡雷刚)y Xu Yanyan (徐艳艳), "Contramedida electrónica de colonias de abejas para UAS" (无人机 蜂群电磁反制手段), *Vehículos no tripulados*(无人机),2019, 33 (4).

[56]Zhang Hao y otros, *Resumen de los requisitos de desarrollo de equipos de contramedidas para UAV "bajos, lentos y pequeños" y tecnologías clave*, 2022.

[57]Ibídem.

[58]Zhou Mo y otros, *Investigación sobre la guerra de enjambres anti-UAV extranjeros*, 2023; Hu Leigang y Xu Yanyan, *Contramedida electrónica de colonias de abejas para UAS*, 2019.

[59]Hu Qiaolin y otros, *Investigación sobre el combate contra drones UAV estadounidenses*, 2021.

[60]"Sistemas UAS y anti-UAS, que seguirán riéndose al final"无人机与反无人机系统，谁会 笑 到 最 后), *Diario de la Juventud de China*(中国青年报),25 de julio de 2024, http://zqb.cyol.com/html/2024- 07/25/ nw.D110000zgqnb_20240725_1-06.htm.

[61]Zhou Mo y otros, *Investigación sobre la guerra de enjambres anti-UAV extranjeros*, 2023.

[62]Hu Leigang y Xu Yanyan, *Contramedida electrónica de colonias de abejas para UAS*, 2019.

[63]Zhou Mo y otros, *Investigación sobre la guerra de enjambres anti-UAV extranjeros*, 2023.

[64]Han Changxi y otros, *Desarrollo de un sistema de defensa aérea de campaña ante la amenaza de vehículos aéreos no tripulados (UAV) de baja velocidad y de pequeño tamaño*, 2023

[65]Ling Hai Feng, *Desarrollos actuales e implicaciones del equipamiento anti-UAV ruso*, 2023.

[66]Zhou Mo y otros, *Investigación sobre la guerra de enjambres anti-UAV extranjeros*, 2023.

[67]Han Changxi y otros, *Desarrollo de un sistema de defensa aérea de campaña ante la amenaza de vehículos aéreos no tripulados (UAV) de baja velocidad y de pequeño tamaño*, 2023

[68]Zhou Mo y otros, *Investigación sobre la guerra de enjambres anti-UAV extranjeros*, 2023.

[69]Wang Jiakai (王家凯)y Ying Yun (应运),Investigación sobre la aplicación operativa y la tendencia de desarrollo de equipos no tripulados (无人化装备作战应用及发展趋势研究),Ingeniería Electrónica de Buques (舰船电子工程), 2021 (11).

[70]Wang Xiaomeng (王笑梦). ""Nuevas características de las operaciones de defensa aérea contra vehículos aéreos no tripulados"反无人机空防作 战新特点), 中国国防报,26 de julio de 2022. http://military.people.com.cn/n1/2022/0726/c1011-32485825.html.

[71]Zhou Mo y otros, *Investigación sobre la guerra de enjambres anti-UAV extranjeros*, 2023.

[72]Zhang Bangchu (张邦楚),Liao Jian (廖剑),Kuang Yu (匡宇),et al., “Estado de la investigación y tendencia de desarrollo del campo de batalla de enjambre de UAV de los Estados Unidos” (美国无人机集群作战的研究现状与发展趋势),*Armamento aéreo*(航 空兵器),2020, 27 (6).

[73]Zhou Mo y otros,*Investigación sobre la guerra de enjambres anti-UAV extranjeros*, 2023.

[74]Ibídem.

[75]Ibídem.

[76]Huang Yu (黄宇),Ding Dong (丁东),Wang Feng (王峰),et al. “Ilustración sobre el apoyo a los equipos logísticos” de la operación integrada “Tres Modernizaciones” en el conflicto de Nagorno-Karabaj” (纳卡冲突对“三化”融合 作战后装保障的启示),*Tecnología de Defensa Nacional*(国防科技),2022, 43 (1); Wang Changhai (王昌海), “Revisión de las capacidades de combate no tripulado en el conflicto de Nagorno-Karabaj” (纳卡冲突中无人作战能力评述), *Revista de misiles aerodinámicos*(飞航导弹),2021 (1); Feng Yang (冯杨),Jiang Chao (蒋超),y Cui Yuwei (崔玉伟), “Operaciones con vehículos aéreos no tripulados y esclarecimientos en el conflicto entre Rusia y Ucrania (俄乌冲突中无人机作战运用及启示), *Conversión de la industria de defensa en China*(中国军转民),2022 (23).

[77]Chen Li (陈黎). “Del conflicto de Nagorno-Karabaj: el desarrollo futuro de los vehículos aéreos no tripulados y la guerra anti-UAV”从纳卡冲突看无人机 / 反无人机作战的未来发展),*Industria de Ciencia y Tecnología de Defensa Nacional* (国防科技工业),2021 (1); (Feng Yang et al., 2022).

[78]Jian Dao (剑道), “El uso de drones en el conflicto de Nagorno-Karabaj” (纳卡冲突中的无人机运用),*Compendio militar*(军事文摘),2021 (1).

[79]Wang Changhai,*Análisis de las capacidades de combate no tripulado en el conflicto de Nagorno-Karabaj*, 2021

[80]Jiandao,*El uso de drones en el conflicto de Nagorno-Karabaj*, 2021.

[81]Zhu Tao y otros,*Uso de vehículos aéreos no tripulados en combate y perspectivas en la guerra de Siria*, 2018; Wang Yuanhang (王远航), “Investigación sobre la aplicación en combate de micro-UAV y su estrategia de respuesta”小微型无人机作战应用及其应对策略研究),Ingeniería electrónica a bordo (舰船电子工程),2022, 42 (7).

[82]Los objetivos LSS generalmente se refieren a UAS con una altitud de vuelo inferior a 1 kilómetro, una velocidad de vuelo de menos de 200 kilómetros por hora y un área de reflexión de radar de menos de 2 metros cuadrados.

[83]Zhang Jiajun y otros,*Análisis exploratorio basado en simulación de un ataque aéreo con drones en yacimientos petrolíferos saudíes*, 2020

[84]Zhu Tao y otros,*Uso de vehículos aéreos no tripulados en combate y perspectivas en la guerra de Siria*, 2018.

[85]Han Changxi y otros,*Desarrollo de un sistema de defensa aérea de campaña ante la amenaza de vehículos aéreos no tripulados (UAV) de baja velocidad y de pequeño tamaño*, 2023

[86]Hao Yannan (郝雅楠),Kong Chao (孔超),y Guan Xiaohong (关晓红), “Análisis del empleo en combate y tendencia de desarrollo de vehículos aéreos no tripulados extranjeros: reflexiones sobre el conflicto de Nagorno-Karabaj” (国外无人机作战运用与 发展态势分析——关于纳卡冲突事件的思考),*Industria de Ciencia y Tecnología de Defensa Nacional*(国防科技工业), 2021 (2).

[87]Jiandao,*El uso de drones en el conflicto de Nagorno-Karabaj*, 2021; Wang Changhai,*Análisis de las capacidades de combate no tripulado en el conflicto de Nagorno-Karabaj*, 2021.

[88]Zhang Hao y otros,*Resumen de los requisitos de desarrollo de equipos de contramedidas para UAV “bajos, lentos y pequeños” y tecnologías clave*, 2022.

[89]Chen Li,*Del conflicto de Nagorno-Karabaj: el desarrollo futuro de los vehículos aéreos no tripulados y la guerra anti-UAV*, 2021.

[90]Chen Li,*Del conflicto de Nagorno-Karabaj: el desarrollo futuro de los vehículos aéreos no tripulados y la guerra anti-UAV*, 2021; Wang Xiaomeng, *Nuevas características de las operaciones de defensa aérea contra vehículos aéreos no tripulados*, 2022.

[91]Zhang Hongbi (张洪碧),Canción de Meng Fan (孟凡松),et al., “Aplicación operativa de UAV y su ilustración” en un determinado conflicto regional” (某局部冲突中无人机作战运用及启示),*Control de mando y simulación*(指挥控 制与仿真),2022, 44 (4).

[92]Zhou Mo y otros,*Investigación sobre la guerra de enjambres anti-UAV extranjeros*, 2023.

[93]Zhu Tao y otros,*Uso de vehículos aéreos no tripulados en combate y perspectivas en la guerra de Siria*, 2018; (Feng Yang et al., 2022).

[94]Hao Yannan,*Análisis del empleo en combate y la tendencia de desarrollo de vehículos aéreos no tripulados extranjeros: reflexiones sobre el conflicto de Nagorno-Karabaj*, 2021.

[95]Wang Yuanhang,*Investigación sobre la aplicación en combate de micro-UAV y su estrategia de respuesta*, 2022; Zhou Mo y otros, *Investigación sobre la guerra de enjambres anti-UAV extranjeros*, 2023.

[96]Wang,*Investigación sobre la aplicación en combate de micro-UAV y su estrategia de respuesta*; Zhou Mo y otros,*Investigación sobre la guerra de enjambres anti-UAV extranjeros*; y Sun Zhao et al.,*Investigación sobre tecnología anti-UAV estadounidense*, 2021.

[97]Zhang Hongbi y otros,*Aplicación operacional de vehículos aéreos no tripulados y su aplicación en un determinado conflicto regional*, 2022

[98]Li Liya y otros,*Construcción y desarrollo del sistema de prevención y control de objetivos LSS*, 2023; Zhang Jiajun y otros,*Análisis exploratorio basado en simulación de un ataque aéreo con drones en yacimientos petrolíferos saudíes*, 2020.

[99]Li Liya y otros,*Construcción y desarrollo del sistema de prevención y control de objetivos LSS*, 2023.

[100]Ling Hai Feng,*Desarrollos actuales e implicaciones del equipamiento anti-UAV ruso*, 2023.

[101]Li Liya y otros,*Construcción y desarrollo del sistema de prevención y control de objetivos LSS*, 2023.

[102]Zhang Hao y otros,*Resumen de los requisitos de desarrollo de equipos de contramedidas para UAV "bajos, lentos y pequeños" y tecnologías clave*, 2022.

[103]Hu Qiaolin y otros,*Investigación sobre el combate contra drones UAV estadounidenses*, 2021.

[104]Hu Leigang y Xu Yanyan,*Contramedida electrónica de colonias de abejas para UAS*, 2019.

[105]Wu Taotao (吴涛涛),Wang Qian (王茜),y Wu Xiaolong (武晓龙), "Mecanismo ganador y aplicación Características de las armas de energía dirigida en la guerra no tripulada" (定向能武器在无人化战争中的制胜机理及运用 特点), *Tecnología de Defensa Nacional*(国防科技),2022, 43 (5).

[106]Hu Leigang (胡雷刚)y Xue Jing (薛静), "Contramedida de energía dirigida de colonia de abejas para UAS" (无人 机蜂群定向能反制手段),*Vehículos no tripulados*(无人机),2019, 33 (4).

[107]Ling Hai Feng,*Desarrollos actuales e implicaciones del equipamiento anti-UAV ruso*, 2023.

[108]"Métodos de combate contra UAS en el conflicto entre Rusia y Ucrania" (俄乌冲突中的反无人机作战方式),*Noticias de aviación de China*(中国航空报),28 de junio de 2024.

[109]Hu Qiaolin y otros,*Investigación sobre el combate contra drones UAV estadounidenses*, 2021.