Adopción de la Autonomía

La Clave para el Desarrollo de la Nueva Generación de Aeronaves a Control Remoto para Operaciones en Entornos Aéreos Disputados

Caitlin H. Lee

EL 22 DE MARZO DE 2011, dos pilotos de la Fuerza Aérea estadounidense se eyectaron de un F-15E Strike Eagle que se estrelló en Libia, dándose comienzo a una compleja misión de rescate con consecuencias de vida o muerte. La Infantería de Marina estadounidense envió un grupo de búsqueda y rescate de dos aviones Osprey V-22, dos helicópteros CH-53E Super Stallion, y dos aviones a reacción AV/8B Harrier. Un Osprey rescató a uno de los pilotos después que los Harrier arrojaron dos bombas para mantener alejados a los pobladores locales. Las fuerzas rebeldes rescataron al otro piloto, y eventualmente lo entregaron a las fuerzas estadounidenses.[1]

Varios meses después, el 21 de junio de 2011, una batería de artillería antiaérea pesada derribó un helicóptero a control remoto de la Marina estadounidense sobre Libia, sus restos quedaron desparramados en torno a un bastión de Muamar Gadafi, el objeto de su vigilancia.[2] Esta vez, en lugar de lanzar una compleja misión de búsqueda y rescate, los oficiales de la Marina simplemente expresaron su desencanto por la pérdida del video en movimiento del Fire Scout. "La pérdida de tripulantes hubiera sido mucho peor si hubiera sucedido, pero nos impactó operativamente", dijo el Capitán Patrick Smith, administrador de programa de la Marina y la Infantería de Marina estadounidense para Sistemas Aéreos No Tripulados Tácticos Multimisión. "Siempre deseamos que nuestros vehículos vuelvan a nosotros. La desventaja de ello es la pérdida de capacidad. . . . Tiene impacto en el material a disposición de los combatientes de guerra para continuar las operaciones."[3]

El contraste entre estos dos incidentes resalta la ventaja política y militar de las aeronaves a control remoto (ACR) y la necesidad crítica de su evolución para que continúen proporcionando una ventaja operativa en un entorno aéreo cada vez más complejo. El Pentágono debe

adoptar a cabalidad el concepto de autonomía, permitiendo así que las ACR realicen las tareas más complicadas que se esperan de las aeronaves en las décadas venideras. No hacerlo sería perder una oportunidad de buscar una nueva generación de ACRs que podrían ahorrar vidas estadounidenses; superando potencialmente a sus contrapartes tripuladas en espacio disputado; y multiplicar las opciones políticas, ofreciendo a los líderes estadounidenses la flexibilidad de elegir entre un sistema tripulado o uno a control remoto para misiones de vigilancia y ataque, dependiendo de las circunstancias políticas y de seguridad.

Hoy corremos el riesgo de perder las ventajas ofrecidas por las ACR autónomas. El Plan de Vuelos de los Sistemas de Aeronaves No Tripuladas de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, 2009-2047 pronostica que la autonomía comprimirá los ciclos de decisión en combate hasta "micro o nano segundos", percibiendo una situación y actuando independientemente con intervención humana mínima o limitada.[4] La toma de decisiones rápida podría permitir a las ACR autónomas una ventaja operativa decisiva en entornos aéreos en rápido cambio y saturados de información (es decir, complejos). Sin embargo, para que las ACR avancen hasta este punto, el plan de vuelo sugiere que deben lograr "un nivel de confianza que se aproxime al de los humanos encargados de ejecutar las misiones", confianza desarrollada fundamentalmente con el tiempo.[5]

En la actualidad, las ACR aún no inspiran confianza. El General Norton Schwartz, jefe de estado mayor de la Fuerza Aérea, ha declarado claramente que los sistemas autónomos no están listos para apoyar el desarrollo de un bombardero a control remoto de próxima generación.[6] El Teniente Coronel Deptula, USAF, retirado, que reveló el plan de vuelo en 2009, se preguntó si las ACR podrían reunir algún día suficiente confianza del liderazgo estadounidense para ejecutar las misiones de mayor amenaza y políticamente sensibles: "Tecnológicamente, podemos avanzar mucho [la autonomía de la ACR], pero el factor limitante no será la tecnología; será normativo. . . . Por ejemplo, ¿aceptará el liderazgo enviar una aeronave con 12 a 20 bombas de 2.000 libras y hacer que éste seleccione los blancos y arroje independientemente las bombas? ¿Qué pasaría con las armas nucleares? Pienso que no será así."[7] La comunidad internacional y el público estadounidense también han mostrado desconfianza en la autonomía de la ACR. El Museo Nacional del Aire y el Espacio en Washington, DC, fue cerrado el 8 de octubre de este año cuando un grupo de manifestantes trató de ingresar al edificio para oponerse a una exposición de ACR.[8] Un informe de las Naciones Unidas de mayo de 2010 concluyó que las ACR promueven una mentalidad "Playstation" de aniquilación.[9] Las interrogantes acerca de confiar en la tecnología a control de remoto también traen a colación el tema más amplio de la dirección en que las ACR puedan llevar a la Fuerza Aérea. Adoptar una nueva generación de sistemas a control remoto altamente autónomos puede eventualmente requerir de una reinterpretación exhaustiva de lo que significa ser piloto o incluso oficial de la Fuerza Aérea, un tema digno de mayor exploración.

Aunque es difícil, desarrollar la confianza de las partes interesadas en la autonomía es esencial ya que, para que las ACR continúen siendo una opción altamente efectiva, necesitarán actuar de manera más independiente. Este artículo sugiere que el Pentágono tome la iniciativa en desarrollar confianza en la autonomía mediante una inversión sostenida y sistemática en el desarrollo y prueba de sistemas autónomos nuevos para las ACR. Comienza describiendo por qué estas aeronaves necesitarán más autonomía para operar en el contexto de seguridad emergente. El artículo dedica después considerable atención a definir más ampliamente el concepto de autonomía, sosteniendo que un mejor entendimiento de la autonomía como un asunto de libertad, más que una proposición de "todo o nada", puede mitigar algunas dudas sobre las operaciones de ACR independientes. También sostiene que debido a que las ACR actuales no han sido probadas lo suficientemente en entornos aéreos dinámicos para determinar sus límites reales, el Pentágono debe financiar agresivamente el desarrollo de nuevos procedimientos de verificación y validación para lograr la confianza necesaria que asegure la continuación del impulso de desarrollo de la tecnología autónoma. En especial, el artículo señala que el plan de la Fuerza Aérea para cons-

truir un bombardero de largo alcance ofrece una oportunidad única para desarrollar y probar ayudas de decisión autónomas que pueden "utilizar" varios niveles de autonomía, dependiendo de la misión.

Evaluación de la amenaza: Un entorno aéreo más complejo

El Predator MQ-1 de la General Atomics Aeronautical Systems, Incorporated (GA-ASI) se convirtió en la primera ACR portadora de armas del mundo después de las pruebas de tiro real en 2001. Desde entonces, tanto el Predator como el Reaper MQ-1 de GA-ASI, más grande y mejor armado, han realizado misiones de ataque. La Agencia Central de Inteligencia (CIA) también utiliza el Predator para realizar operaciones encubiertas contra presuntos objetivos al-Qaeda. Las ACR realizaron 117 ataques contra objetivos en Paquistán en 2010, en comparación a sólo 53 en 2009.[10] Aunque capaces de llevar armas, estos vehículos teledirigidos pasaron la mayor parte del tiempo realizando misiones de inteligencia, vigilancia y reconocimiento; detectando objetivos y alertando a otras aeronaves de ataque sobre su presencia; o identificando amenazas para las fuerzas de tierra, tales como dispositivos explosivos improvisados. Estas ACR llamadas cazadores-exterminadores, con una capacidad de sobrevuelo furtivo de larga duración, han demostrado ser idóneas para llevar a cabo acciones de vigilancia de baja altura en Afganistán e Irak.[11]

Sin embargo, las ACR actuales tendrían dificultades en espacio aéreo controlado por el enemigo debido a su poca capacidad de supervivencia e insuficiente capacidad para responder a contingencias tales como amenazas y cambios en las condiciones del tiempo. La experiencia operacional sugiere otro tanto: Estados Unidos y los aliados de la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) perdieron cuando menos 15 ACR en Kosovo ante misiles con sistema de localización infrarrojo y fuego de artilleros de helicópteros volando a lo largo de su ruta.[12] Algunas de las aeronaves perdidas en el conflicto fueron modelos iniciales del Predator.[13] Kosovo representa la última vez que las ACR aliadas enfrentaron un entorno aéreo altamente disputado, y la naturaleza de las misiones con ACR armadas en Irak y Afganistán no ha impuesto una necesidad urgente para adaptarse a nuevas amenazas.

Para seguir siendo parte integral de las operaciones aéreas estadounidenses en el futuro, las ACR deben evolucionar para operar en entornos aéreos más peligrosos. En efecto, el espacio de batalla será más difícil para la generación actual de ACRs. Sin entrar en el tema peligroso de predecir la naturaleza de los conflictos futuros, aún se puede hacer inferencias sobre el carácter cambiante del entorno aéreo global (inferencias esenciales para la planificación de la fuerza). El Ministro de Defensa del Reino Unido (UK) pinta una imagen inquietante de un espacio aéreo "congestionado, desordenado, disputado y restringido".[14] Una breve evaluación de este entorno destaca la necesidad de que la generación actual de ACRs evolucione.

Algo muy importante, las ACR tendrán que operar en espacio aéreo más disputado. A medida que los conflictos actuales llegan a su fin, los militares estadounidenses están cambiando su foco de planeamiento desde operaciones en espacio aéreo benigno a entornos aéreos disputados en una escala global -un cambio encarnado en el convenio de la Fuerza Aérea con la Marina para desarrollar un plan operativo conocido como Batalla AireMar. Este plan se deriva de la creciente inquietud estadounidense que las potencias en desarrollo con acceso a nuevos sistemas de armas -como China, Irán y Corea del Norte- pueden tratar de negar acceso al aire, mar y el espacio.[15] Los misiles superficie-aire (SAM) de "dos dígitos" ahora ampliamente disponibles y que presentan una seria amenaza a las aeronaves estadounidenses, como los SA-10 y SA-20 rusos, tienen mayor alcance y velocidad de ataque así como mayor probabilidad de destrucción que los sistemas SAM más antiguos.[16] La OTAN estaba tan temerosa de estos sistemas que decidió no enviar aeronaves del Sistema de Advertencia y Control Aerotransportado a Georgia durante el conflicto

con Rusia en 2008 debido a que los rusos desplegaron el SA-20.[17] China posee misiles SA-10 y SA-20.[18] Otros clientes pueden incluir Irán, Siria, Libia y Argelia.[19] También parece posible que el reciente derribo del Fire Scout haya sido causado por un SAM, a juzgar por la descripción de eventos de la Marina. Aunque están en las etapas de desarrollo, las amenazas aire-aire de próxima generación también representan un desafío nuevo. China develó recientemente su nuevo caza furtivo J-20, e India y Rusia se han asociado para fabricar un caza de "quinta generación" conocido como PAK-FA. Estos programas de desarrollo de cazas apunta a incorporar tecnología furtiva y radares sofisticados que permitan que un piloto apunte a un adversario más allá del alcance visual, destruyendo al enemigo antes que éste lo vea. Por el momento Estados Unidos tiene la ventaja en este sector, pero la investigación y desarrollo en curso en China y Rusia podrían cambiar ese estado. Por último, los misiles de corto y mediano alcance presentan una amenaza a las bases de ultramar estadounidenses que estacionan aeronaves de corto alcance y les proporcionan instalaciones de aterrizaje y reabastecimiento de combustible.

Todos estos peligros desafían el dominio aéreo estadounidense. Durante un discurso en la Academia de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos en marzo de este año, el ex secretario de defensa Robert Gates confirmó que los militares estadounidenses ya no pueden dar por hecho el dominio de los cielos en conflictos futuros: "Sería irresponsable asumir que un futuro adversario–con suficiente tiempo, dinero y tecnología- no podría algún día disputar directamente el dominio estadounidense de los cielos".[20] El General Schwartz confirmó la necesidad de producir una nueva aeronave capaz de operar en espacio aéreo disputado en 2010 cuando dijo que la Fuerza Aérea debe equilibrar su presupuesto entre activos para luchar las guerras de hoy "mientras que reconoce que la proliferación de capacidades de negación de área y acceso ponen en duda cada vez más nuestra capacidad de penetrar espacio aéreo disputado".[21]

Adicionalmente, como se mencionó anteriormente, el Ministro de Defensa del Reino Unido advirtió que el espacio de batalla se verá más congestionado, desordenado, conectado y restringido. El espacio aéreo congestionado ya es un problema importante en términos de armonizar las rutas de vuelo de plataformas tripuladas y a control remoto, no solo en el territorio continental de los Estados Unidos sino también en las zonas de combate–como es el caso de la destrucción de un RQ-7 Shadow del Ejército que colisionó con un C-130 de la Fuerza Aérea sobre Afganistán el 15 de agosto de 2011.[22] El hecho de que los adversarios se escondan entre la población civil también complica el espacio de batalla, presentando un reto impresionante para los sistemas de vigilancia con aeronaves tripuladas y a control remoto, que tendrán que filtrar grandes cantidades de datos para identificar blancos de interés. Además, la importancia de la aeronave para establecer enlaces de comunicaciones y conciencia de situación en el espacio de batalla refleja la nueva característica de interconexión en el entorno aéreo. Las ACR necesitan gran ancho de banda para comunicaciones satelitales bidireccionales, y no pueden operar sin enlaces a sus operadores. En general, es claro que las ACR actuales no pueden acomodar estas realidades del espacio de batalla. Incluso si ya tuvieran la autonomía necesaria para superar estos desafíos, estarían muy limitadas por aspectos legales y éticos importantes sobre sus operaciones en escenarios de combate más exigentes, como se anota en el informe del Ministerio de Defensa del Reino Unido.[23]

Superar esta desconfianza fundamental de autonomía es más fácil decirla que hacerla. No obstante, si el Pentágono da pasos deliberados para desarrollar y probar nuevos asistentes de decisión autónoma, es probable que se desarrolle con el tiempo confianza en ACR autónomas. Después de realizar pruebas cuidadosas y permitir que maduren los sistemas autónomos, encontraríamos que su uso a bordo de las ACR casi con certeza dará a los Estados Unidos y a sus aliados una considerable ventaja operativa. De hecho, una nueva generación de estas aeronaves podría superar a sus contrapartes tripuladas en el entorno peligroso antes descrito.

Autonomía: Clave para la evolución de la aeronave a control remoto

La autonomía será la fuerza impulsora que apoye el desarrollo de una nueva generación de ACRs optimizadas para entornos aéreos más complejos, y la desconfianza humana en la autonomía será el centro de las limitaciones de diseño y despliegue de estas aeronaves. Dado el papel importante que la autonomía jugará en determinar la medida en que los militares estadounidenses incorporen efectivamente nuevas ACR en su inventario, es esencial definir este concepto. El hacerlo permitirá una discusión práctica de cómo los sistemas autónomos podrían mejorar el diseño de las ACR en una forma que resuelva preocupaciones serias y legítimas sobre sus operaciones en el espacio de batalla.

Actualmente no existe ninguna definición de autonomía aceptada universalmente, pero se está llegando a consenso en la comunidad de ingeniería y científica en que un buen punto de partida incluye visualizarla como grados de independencia de la ACR en relación al control humano. En 1978 Thomas Sheridan y William Verplank sentaron las bases para describir la autonomía en términos de un continuo de interacción entre hombre y máquina más que un concepto de todo o nada (véase la tabla en la página siguiente).[24] Un extremo del espectro representa control manual total sin asistencia de computadoras, y el otro representa control total de máquina en que las máquinas hacen todo e ignoran la interacción humana.

Mark Maybury, científico principal de la Fuerza Aérea, puso estos grados de autonomía en el contexto del diseño de la ACR, describiendo cuatro niveles de control humano: (1) "ninguna autonomía" (es decir, control manual total de la ACR); (2) "automatización parcial", con un humano "en el circuito" que realiza manualmente algunas tareas; (3) "control de supervisión", con un humano en el circuito supervisando o guiando tareas, o seleccionando entre acciones alternativas posibles; y (4) "autonomía total", sin intervención humana distinta de iniciar o cancelar la acción.[25]

La comunidad científica reconoce ampliamente los niveles de automatización de Sheridan y Verplank como punto inicial para describir la autonomía en términos de grados de control hu-

Tabla. Niveles de automatización en la toma de decisiones de hombre-computadora

Nivel de automatización	Descripción de la automatización
1	La computadora no ofrece ninguna asistencia: un humano realiza todo el trabajo hasta el punto de transferirlo a la computadora para que lo implemente.
2	La computadora ayuda determinando las opciones.
3	La computadora ayuda a determinar las opciones y sugiere una, que el humano no tiene que seguir.
4	La computadora selecciona la acción, y el humano puede hacerla o no.
5	La computadora selecciona la acción y la implementa si el humano la aprueba.
6	La computadora selecciona la acción e informa al humano con bastante anticipación para que la detenga.
7	La computadora realiza todo el trabajo y necesariamente le informa al humano lo que hizo.
8	La computadora hace todo el trabajo e informa al humano lo que hizo solo si el humano lo pide explícitamente.
9	La computadora realiza todo el trabajo e informa al humano lo que hizo si decide que le debe informar.
10	La computadora decide si debe hacer o no todo el trabajo. Si decide hacer el trabajo, puede determinar si debe o no informarle al humano sobre ello.

Fuente: Adaptada de Thomas B. Sheridan y William L. Verplank, Human and Computer Control of Undersea Teleoperators (Control Humano y por Computadora de Teleoperadores Submarinos) (Cambridge, MA: Man-Machine Systems Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 1978), tabla 8.2, páginas 8-17 a 8-19.

mano. Ver la autonomía como un continuo libera a los diseñadores y operadores de la ACR para desarrollar y emplear ayudas de decisión para estas aeronaves en variados niveles de autonomía, caso por caso, dependiendo de la misión.[26] En el contexto de una nueva generación de ACRs, la existencia de tales distinciones invalida la noción de tener que elegir sólo entre una aeronave tripulada de "control manual" y una ACR "totalmente autónoma".

Aunque la definición de Sheridan y Verplank es útil para entender que la autonomía representa algo más que todo o nada, no proporciona información completa de otras dos dimensiones muy importantes de la autonomía: complejidad de misión y complejidad ambiental (véase la figura en la página siguiente). La complejidad de misión mide la capacidad de un sistema autónomo para realizar varias misiones y tareas, variando desde aquellas en el nivel inferior (es decir, sensores y accionadores simples que apoyan el control y guía básicos de vuelo, como por ejemplo, mantener la altitud) hasta aquellas en el nivel de campaña más alto (es decir, planeamiento u operación de acciones de ACR multiunidad, como búsqueda distribuida, rastreo y ataque con armas).[27] La complejidad ambiental mide la capacidad de un sistema autónomo para adaptarse y responder a los cambios en el entorno, como variaciones del terreno y clima así como la disponibilidad de comunicaciones.

La definición multidimensional es importante porque comunica le hecho que las ACR deben hacer más que la simple operación independiente del control humano; después de todo, también lo puede hacer una lavadora de ropas.[28] La autonomía de ACR efectiva incluye desarrollar asistentes de decisión que puedan trabajar independientemente, entender el entorno aéreo, y operar efectivamente en ese entorno con otros sistemas.

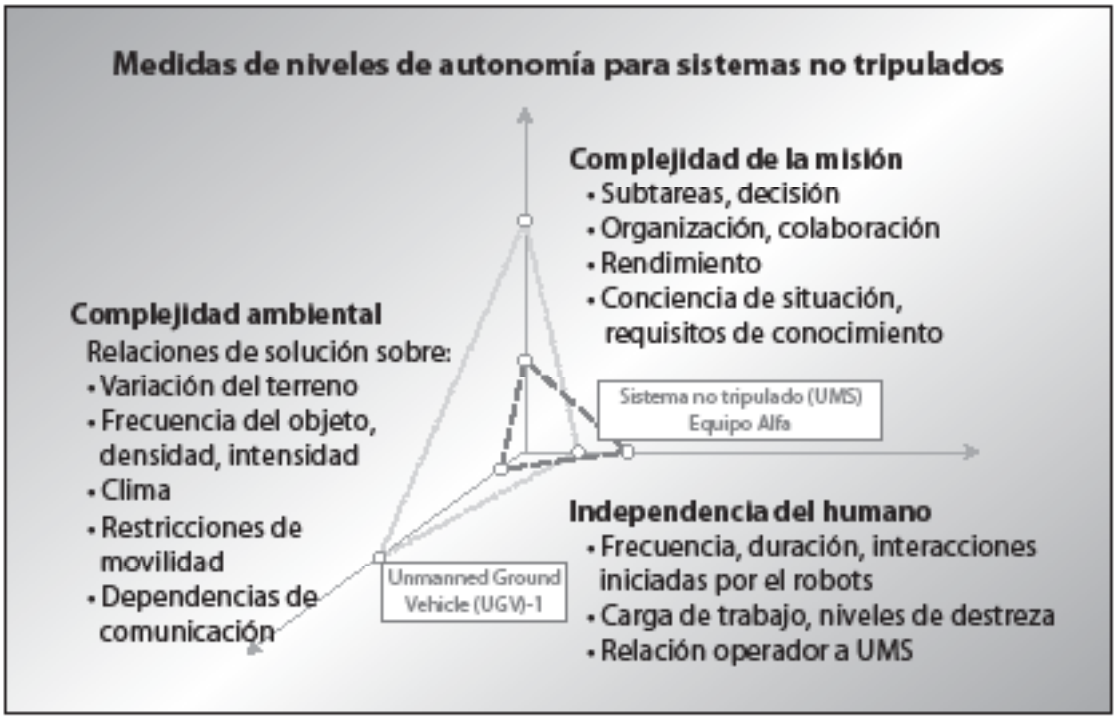

Figura. Las tres dimensiones de la autonomía. (Adaptado de Hui Min-Hang, "Autonomy Levels for Unmanned Systems [ALFUS] (Niveles de autonomía para sistemas no tripulados)", National Institute of Standards of Technology, ALFUS Working Group, diapositiva 8, consultada el 23 de julio de 2011, http://www.nist.gov/el/isd/ks/upload/ALFUS-BG.pdf.)

Esta visión multifacética de autonomía se presta a describir las operaciones de ACR en entornos aéreos complejos. Estas plataformas pueden requerir un alto grado de independencia del humano para operar rápidamente en respuesta a cambios en tales entornos, desde patrones de clima hasta nuevas amenazas como un SAM móvil. La complejidad de misión se volvería también importante si, por ejemplo, un enjambre de ACRs estuviera operando en conjunto para realizar identificación, rastreo y persecución distribuida de ese SAM.

Revelando aún más la definición multidimensional de autonomía, podemos identificar formas específicas en que las ayudas de decisión habilitarían las operaciones de ACR. La actividad en el espacio aéreo congestionado, por ejemplo, se beneficiaría de los nuevos sistemas de evitamiento de colisiones basados en aire y tierra. Después de la reciente colisión entre un RQ-7 y un C-130, mencionado anteriormente, el Ejército indicó que una tecnología de detección y evitamiento en desarrollo actual podría haber evitado el accidente.[29]

El Pequeño Sistema de Detección y Evitamiento (SSAAS), en desarrollo por el Ejército en asociación con AAI, una unidad operativa de Textron Systems, que fabrica el RQ-7 Shadow del Ejército, incluye tres cámaras electroópticas montadas en la nariz del Shadow, diseñadas para recopilar imágenes de video directas del espacio aéreo. Unos procesadores de alta velocidad identifican los objetos en movimiento en el video y luego envían esa información al sistema de control de vuelo y a los operadores de tierra. El concepto inicial de operaciones para la tecnología incluye los datos recibidos por el operador de tierra sobre un objeto en la trayectoria de vuelo del Shadow y lo redirige a la ACR. Sin embargo, en el largo plazo entrarán en juego ayudas de decisión autónomas. En última instancia, SSAAS busca primero maniobrar la aeronave y luego informar al operador.[30]

La actividad de las ACR en escenarios operativos desordenados, en los que las fuerzas amigas y enemigas están entremezcladas, también podría beneficiarse de nuevas ayudas de decisión que mejoren la conciencia de situación. Por ejemplo, la Marina está instalando el radar marítimo Telephonics RDR-1700B en el Fire Scout, que permitirá que una ACR rastree embarcaciones a una mayor distancia. Capaz de pasar la señal a una cámara electroóptica/infrarroja, el radar puede rastrear varias naves a la vez, por lo que los operadores del Fire Scout necesitarán nuevas ayudas de decisión autónomas que los ayude a determinar qué objetivo debería seleccionarse para incrementar el rastreo electroóptico/infrarrojo.[31]

Además, la autonomía mejorada de la ACR permitirá más interconexión–otro ingrediente esencial para operar en entornos aéreos complejos. El programa Demostración del Sistema Aéreo de Combate No Tripulado de la Marina se basará en el éxito del sistema de despegue y aterrizaje automatizado instalado en el avión de caza F/A-18 Hornet tripulado para desarrollar una ACR, el X-47B, que puede despegar y aterrizar en la cubierta de un portaaviones.[32] Sin piloto en la cabina de mando, la ACR necesita enlaces de comunicaciones más robustos para mantener el contacto con el portaaviones durante la trayectoria del vuelo, en lugar de solo durante el acercamiento, de manera que la aeronave pueda tratar de aterrizar nuevamente si se salta el gancho de contención en la cubierta del portaaviones. Adicionalmente, un nuevo sistema de mensajería automatizado permitirá que el control de tráfico aéreo del portaaviones envíe mensajes al X-47B sobre sus operaciones en espacio aéreo congestionado alrededor del portaaviones.[33] Aunque la mensajería automatizada incrementará la interconexión, es también importante hacer notar que otras ayudas de decisión autónomas reducirán los requisitos de interconexión de la ACR, eliminando su enlace a los vínculos de datos vulnerables satelitales y del Sistema de Posicionamiento Global (GPS). (Las alternativas al GPS que se están investigando en el Instituto de Tecnología de la Fuerza Aérea incluyen radiobalizas y señales de oportunidad creadas por el hombre que ocurren naturalmente, tales como campos magnéticos y ayudas visuales.)[34]

Por último, y quizás más importante, dado el surgimiento de nuevas amenazas basadas en el aire, la autonomía será esencial para la operación de las ACR en espacio aéreo disputado. En este entorno dinámico, la autonomía permitirá que las armas de las ACR respondan a amenazas como

los SAM, rápida y eficazmente sin tener que esperar que un operador humano tome cada decisión incremental. En un ejemplo extremo, las ayudas de decisión autónomas podrían habilitar a un sistema de interferencia electrónica para detectar una señal del enemigo, determinar una respuesta electrónica e interferir la señal antes de que un operador humano de ACR tenga tiempo de reaccionar. En el corto plazo, las ayudas de decisión autónomas podrán simplemente identificar las frecuencias entrantes y transferir la decisión de cómo responder al operador humano.

Todas estas innovaciones en autonomía tienen el potencial de incrementar dramáticamente la velocidad de decisión. De acuerdo con el mapa de ruta de ciencia y tecnología de 2010 de la Fuerza Aérea, en un entorno aéreo disputado y en rápido cambio, la toma de decisiones autónoma podría permitir "ventajas operativas sobre adversarios que están limitados a las velocidades de planeamiento y decisión humanas".[35] La autonomía de la ACR puede también proporcionar una ventaja clave al volverse la guerra "demasiado compleja para que la dirija un humano", requiriendo que las ayudas de decisión autónomas manejen el exceso de información.[36] El general retirado James Cartwright, ex vicepresidente del Estado Mayor Conjunto, indica que la ventaja "competitiva" proporcionada por las ACR "está en el poder cognoscitivo que podemos poner en esas plataformas para que operen e interoperen entre sí sin la intervención del ser humano".[37] En otras palabras, las ACR autónomas podrían permitir a Estados Unidos resolver las complejidades de la toma de decisiones en combate–un proceso descrito por el estratega militar John Boyd como el bucle observar, orientar, decidir, actuar- más rápidamente que un oponente, atacando antes que el adversario pueda responder.

Dificultades para la implementación de sistemas autónomos

Dadas las importantes ventajas ofrecidas por los sistemas autónomos, parece que, desde una perspectiva puramente tecnológica, deberíamos desarrollar y añadir una nueva generación de ACR al inventario de aeronaves estadounidense. La implementación de una flota de aeronaves robóticas altamente capaces mantiene la promesa de cumplir o superar los requisitos del Pentágono para operar en entornos aéreos complejos, reduciendo el riesgo para las vidas estadounidenses, y creando nuevas opciones para las autoridades de decisión. Sin embargo, hacerlo depende de que los elementos de decisión del Pentágono se pongan de acuerdo en el grado de autonomía necesario de los nuevos tipos de ACR y luego decidan si están dispuestos a hacer la inversión necesaria para financiar adecuadamente la investigación, desarrollo y pruebas de los sistemas autónomos apropiados.

Tal como se discutió anteriormente, autonomía es un concepto "ajustable" que se puede emplear en distintos grados, dependiendo de la función de la aeronave y la misión–un punto crítico debido a la tendencia de ver la autonomía como una proposición de todo o nada. Por ejemplo, un informe influyente sobre ataques de largo alcance del Centro para Evaluaciones Estratégicas y Presupuestarias afirmaba que sin autonomía total o que un humano tome todas las decisiones en tierra, un bombardero a control remoto sería un poquito mejor que un misil crucero (reutilizable).[38] El argumento mantiene que tal bombardero no ejercería una ventaja operativa en espacios aéreos disputados hasta que tenga la "verdadera autonomía" necesaria para responder como mínimo tan rápido y eficientemente como un ser humano. Así, el bombardero necesitaría ayudas de decisión autónomas cuando menos tan capaces de la misma conciencia de situación de 360 grados y tiempo de respuesta rápida que el piloto ofrece en la cabina de mando. Según este estándar, el bombardero debe tener sensores para entender una situación de amenaza dinámica y sistemas altamente autónomos para tomar decisiones sobre señalización de blancos y lanzamiento de armas tan rápido como podría hacerlo un humano.

Sin embargo, no se puede decir enfáticamente si solo la autonomía "verdadera" permitiría que un bombardero opere con eficacia en tal entorno. Aunque la autonomía verdadera puede exce-

der los límites de la tecnología actual, los bombarderos a control remoto capaces de operaciones altamente autónomas en algún nivel de espacio aéreo disputado están ciertamente al alcance.[39] La industria ya está creando prototipos de nuevas ayudas de decisión autónomas para habilitar el uso de estas plataformas en tales situaciones. De acuerdo con Michael Leahy, administrador del programa Sistemas de Gestión de Misiones Comunes en Northrop Grumman, "La capacidad [de una ACR] para entrar, encaminarse alrededor de amenazas como radares de tierra, sistemas de defensa aérea integrada y otras amenazas, para luego reconocer esas amenazas y reprogramarse, ya ha sido demostrada en algunos niveles y está actualmente en las etapas de prototipo".[40]

A medida que estas ayudas de decisión continúen madurando, la interrogante de cuánta confianza se puede poner en los sistemas a control remoto aumenta la urgencia. La CIA dudó en desplegar el primer Predator armado debido a asuntos de tecnología no demostrada, así como problemas éticos y legales.[41] Una ACR más autónoma optimizada para entornos de alto riesgo atizará preocupaciones similares. La posibilidad de que las ACR tengan que operar con una mezcla de plataformas tripuladas y a control remoto plantea el tema del fraticidio, tal como la posibilidad de un bombardero a control remoto que lleve armas nucleares (en cuyo caso los requisitos de garantía y seguridad entrarán en juego) trae consigo interrogantes sobre la confiabilidad de la misión.

Para avanzar en el desarrollo de una nueva generación de ACR, los elementos de decisión deben reconocer que es posible ajustar el grado de autonomía de acuerdo con la función y la misión, y que pruebas robustas pueden aumentar la confianza en las ayudas de decisión autónomas. Si se desea avanzar más allá de la creación de prototipos, los funcionarios del Pentágono tienen que determinar si están listos para fomentar un entorno de investigación y desarrollo que promueva avances importantes en los sistemas a control remoto. En particular, debemos utilizar simulaciones de computadora exhaustivas y programas de prueba real para establecer confianza en la seguridad y confiabilidad de las operaciones de ACR autónomas.

Los procedimientos de prueba institucionalizados se harán incluso más importantes a medida que la innovación permita la toma de decisión más rápida e independiente de la ACR. Un informe del Ministerio de Defensa del Reino Unido sobre el futuro de las ACR pronostica que la implementación de ACR con inteligencia artificial–totalmente independiente del control humano-podría ocurrir dentro de 5 a 15 años y que esta capacidad probablemente hará surgir no solo problemas éticos y legales con su despliegue operativo. El informe cuestiona si tal ACR podría tomar decisiones de selección de objetivos basada en los principios rectores de las Leyes del Conflicto Armado, tales como proporcionalidad y distinción.[42]

Claramente, el despliegue de una nueva generación de ACR más autónomas depende de su capacidad para ofrecer a los Estados Unidos una ventaja militar sin arriesgar vidas. Sin procedimientos de prueba robustos, tales plataformas optimizadas para uso en espacios de batalla complejos probablemente perderán apoyo político y financiero ante opciones de aeronaves tripuladas tecnológicamente más maduras o diseños "con tripulación opcional". Por cierto, tales opciones podrían completar la decisión, pero no ofrecen algunas de las ventajas principales de las ACR autónomas.

Requisitos del bombardero de largo alcance: La importancia de la innovación en los sistemas autónomos

Las inquietudes sobre el desarrollo de sistemas autónomos están influenciando la decisión del Pentágono de construir un bombardero de largo alcance con tripulación opcional. Este diseño parece representar un compromiso entre aquellos que creen que las ACR autónomas están listas para operar en entornos aéreos complejos y aquellos que no. El Dr. Mark Lewis, ex científico principal de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, comparó esta configuración con "la era de

la vela", refiriéndose a la práctica del siglo diecinueve de poner máquinas de vapor y velas en los barcos, la vela servía como reserva en caso de que fallara la máquina.[43]

Por un lado, como se mencionó anteriormente, el General Schwartz no cree que la tecnología de ACR haya evolucionado lo suficiente como para permitir operaciones efectivas en espacio aéreo disputado: "La tecnología actual no permite el tipo de sistemas dinámicos y totalmente autónomos que se requieren en un entorno disputado y de red degradada".[44] Por otro lado, hace tan poco como el verano de 2011, el General Cartwright afirmó el grado de preparación de un bombardero a control remoto para despliegue operativo: " 'Nadie me ha mostrado algo que requiera una persona en esa aeronave', dijo. Eso es cierto, también, si el bombardero del futuro realiza la misión nuclear, añadió. 'No recuerdo la última vez que asigné tripulación a un ICBM o SLBM o un misil crucero, por lo que no estoy seguro si entiendo esa lógica'."[45]

Un diseño con tripulación opcional permite que el Pentágono comience a explorar las posibilidades de ACR más autónomas sin comprometerse totalmente a su uso en entornos aéreos disputados. En su informe, el Centro para Evaluaciones Estratégicas y Presupuestarias dice que un bombardero con tripulación opcional proveerá "flexibilidad de misión", volando sin tripulación por períodos de tiempo largos en áreas de alta amenaza y volando con tripulación cuando las amenazas emergentes, objetivos transitorios, y objetivos nucleares exijan la presencia humana.[46]

Dada la necesidad de aumentar el desarrollo y las pruebas de sistemas autónomos para entornos de amenaza, quizás este enfoque cauto tiene sentido (aunque ciertamente se puede debatir los beneficios financieros de adoptar un diseño híbrido). Dicho esto, un diseño con tripulación opcional podría fácilmente convertirse en poco más que una posición política mientras que en la práctica el bombardero es optimizado para un piloto en la cabina de mando y vuela la mayoría de misiones en una configuración tripulada. Este escenario representaría una importante oportunidad perdida para desarrollar y probar ayudas de decisión autónomas que incrementen la seguridad y efectividad de los sistemas a control remoto.

Un examen más detallado de los beneficios de un bombardero a control remoto–equipado con suficientes ayudas de decisión autónomas-demuestra la importancia de mantener el impulso para el desarrollo y prueba de ACR altamente autónomas. Los oficiales del Pentágono han descrito los requisitos sólo en términos generales: un 'bombardero penetrante de largo alcance capaz de misión nuclear", que "tendrá la opción de ser controlado remotamente".[47] Dicho eso, podemos aún identificar algunos requisitos generales para el bombardero, basados en el escenario operativo Batalla AireMar del Pentágono y el análisis del Ministerio de Defensa del Reino Unido de entornos aéreos cada vez más complejos.

Con estas suposiciones, el bombardero probablemente necesitará una capacidad importante cuando menos en cuatro áreas: alcance y persistencia, capacidad de supervivencia, independencia de acción y asequibilidad. Un análisis de estos atributos indica que, cuando la tecnología esté lista, un bombardero a control remoto, altamente autónomo podría ser como mínimo tan capaz que una versión tripulada, y quizás más.

En alcance y persistencia, quizás el requisito más crítico, encontramos la mayor ventaja de las ACR sobre las plataformas tripuladas.[48] Debido a que las bases militares de ultramar enfrentan amenazas de misiles balísticos, el nuevo bombardero tendrá que volar grandes distancias desde lugares en el territorio continental de los Estados Unidos. La ausencia de limitaciones humanas en tiempo de vuelo (como la necesidad de comer, dormir e ir al baño) incrementa el alcance de un sistema a control remoto. Las innovaciones en el reabastecimiento de combustible en vuelo crean también la posibilidad de extender aún más estos alcances.[49]

Una vez que el bombardero llegue al área de operaciones, la persistencia se hace muy importante. En 2010 el General Schwartz dijo que los activos de ataque de largo alcance deben ser capaces de "ganar acceso a, y luego sobrevolar en, espacio aéreo negado o disputado, con el fin de encontrar, fijar y rastrear objetivos de alto valor".[50] Un bombardero a control remoto podría sobrevolar durante largos períodos de tiempo para identificar objetivos, posiblemente reprogra-

marse dinámicamente para atacar nuevos blancos, y llevar a cabo evaluación de daños de batalla después de un ataque. Al igual que el bombardero tripulado, podría también volver si se cancelara la misión.

La proliferación de nuevas amenazas aéreas como los SAM de dos dígitos exige que el nuevo bombardero tenga alta capacidad de supervivencia. Obviamente la opción a control remoto elimina los riesgos para las tripulaciones aéreas. Por cierto, para completar su misión de manera efectiva, la aeronave aún necesitaría características furtivas, la aptitud de cambiar su ruta de vuelo para evitar a los SAM, y sistemas de autoprotección. En términos de capacidad furtiva, un diseño a control remoto elimina la cabina de mando, reduciendo el tamaño de la aeronave y posiblemente tener una sección transversal de radar menos detectable.[51] Aunque quedan algunas interrogantes sobre el grado de reducción en esa sección transversal, es claro que una ACR autónoma tiene el potencial de adoptar las ayudas de decisión necesarias que le permitan cambiar de ruta para evitar los SAM y también emplear interferencias y misiles aire-aire, y hacerlo más rápidamente de lo que podría hacerlo cualquier humano.

La independencia de acción permitiría que el bombardero emplee rápida y eficazmente la autoprotección y vuele evitando las amenazas en espacio aéreo hostil. Tal independencia exige avances importantes, pero obtenibles, en autonomía que la industria de la aviación ya está demostrando por partes, como se describió anteriormente. Si se probara e integrara efectivamente en un diseño a control remoto, las ayudas de decisión autónomas podrían habilitar el desarrollo de un bombardero con capacidad "cognoscitiva" y rapidez de decisión que supere a la humana. Eventualmente, los sistemas autónomos podrían permitir la independencia en la medida que quizás un solo hombre en el circuito podría operar varias ACR volando en un "enjambre". Los investigadores del Instituto de Tecnología de Massachusetts están investigando tales conceptos de enjambre, como también el personal de General Atomics, fabricante del MQ-1 Predator y MQ-9 Reaper.[52]

Finalmente, en estos tiempos de austeridad fiscal (se espera que el presupuesto del Pentágono no aumente en la próxima década), mantener los costos al mínimo se vuelve una consideración importante.[53] Un bombardero a control remoto, que se hace más pequeño por la eliminación de la cabina de mando, podría también ofrecer ventajas. Sin embargo, la mayor parte de los ahorros vendrían en la forma de reducciones en los costos de ciclo de vida asociados con horas de vuelo porque los piloto no tendrían que mantenerse actualizados en el bombardero, y en gastos asociados con misiones y tasas de desgaste, cuyo número declinaría debido a la mayor resistencia del bombardero a control remoto.

Conclusión

A pesar de las claras ventajas operativas de ACR más autónomas, este artículo no insiste en que el Pentágono desarrolle un bombardero totalmente independiente. Más bien insta a que adoptemos la autonomía en las ACR reconociendo la naturaleza ajustable de las ayudas de decisión autónomas y entendiendo la importancia de invertir más tiempo y atención en procedimientos de prueba que podrían aumentar la confianza en estos sistemas. El desarrollo de un bombardero a control remoto ofrece una excelente oportunidad para aliviar cualquier desconfianza persistente–asumiendo un compromiso sincero para tal opción variable- ya que el proceso necesariamente involucrará la evolución y prueba de nuevas ayudas de decisión autónomas. Además, desarrollar un bombardero con tripulación opcional podría disipar la visión de autonomía de "todo o nada" y validar su capacidad de ajuste al conjunto de misión.

Debemos mantener el momento para desarrollar y probar ayudas de decisión autónomas. Si no adoptamos plenamente los avances en autonomía, perderemos una oportunidad de desarrollar una nueva generación de ACRs que podrían ahorrar vidas estadounidenses sacando al piloto

de la cabina de mando, con potencial de superar a la aeronave tripulada, y crear nuevas opciones militares para los líderes estadounidenses. El Pentágono deberá garantizar que el bombardero con tripulación opcional tenga un buen plan de desarrollo y pruebas "a control remoto". Además, la Fuerza Aérea y otros servicios deberán tomar en serio la necesidad de desarrollar nuevos procedimientos de verificación y validación para ACRs altamente autónomos a pesar de que representen "un desafío importante" . . . que se puede tardar una década o más para resolver".[54]

Sin embargo, dar atención, tiempo y fondos a esta importante área de investigación contribuirá al desarrollo de una ACR totalmente capaz de realizar algunas de las misiones más riesgosas y sensibles del poderío aéreo de manera más efectiva que una aeronave tripulada–respaldada por la confianza total de los líderes militares y civiles y el pueblo estadounidense. ❑

Notas

1. Luis Martínez y otros, "Inside the Rescue Mission: U.S. Air Force Pilots Eject from Malfunctioning F-15E Jet (Dentro de la misión de rescate: Pilotos de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos se eyectan de un avión a reacción descompuesto F-15E)", ABC News, 22 de marzo de 2011, http://abcnews.go.com/International/us-fighter-jet-crashes-benghazi/story?id=13191505.

2. Sam LaGrone, "AUVSI 2011: Fire Scout Was Shot Down by Ghadaffi Forces, Says NAVAIR (AUVSI 2011: Fire Scout fue derribado por fuerzas de Gadafi, dice NAVAIR)", Jane's Defence Weekly, 18 de agosto de 2011, http://search.janes.com/Search/documentView.do?docId=/content1/janesdata/mags/jni/history/jni2011/jni74578.htm@current&pageSelected=janesNews&keyword=fire%20scout&backPath=http://search.janes.com/Search&Prod_Name=JNI&.

3. Capitán Patrick Smith (Administrador de Programa de la Marina y la Infantería de Marina de los Estados Unidos para Sistemas Aéreos No Tripulados Tácticos Multimisión), entrevista telefónica por el autor, 25 de agosto de 2011.

4. Cuartel General de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, United States Air Force Unmanned Aircraft Systems Flight Plan, 2009–2047 (Plan de Vuelo de Sistemas de Aeronaves No Tripuladas de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos) (Washington, DC: Cuartel General de la Fuerza Aérea, 18 de mayo de 2009), http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA505168&Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf.

5. Ibíd., 41.

6. General Norton A. Schwartz, "Discurso Inaugural" (Poderío Aéreo, Espacial y Ciberespacial en el Siglo 21: Conferencia IFPA-Fletcher sobre Estrategia y Política de Seguridad Nacional, Medford, MA, 20 de enero de 2010), 9, http://www.ifpafletcherconference.com/2010/transcripts/Gen_Schwartz_Opening-Keynote_Jan20.pdf.

7. Teniente General David Deptula, USAF, retirado, entrevista por e-mail con el autor, 20 de julio de 2011.

8. Associated Press, "Air and Space Museum Closed After Guards Mace Anti-War Protestors (Museo del Aire y el Espacio cerrado después que los guardianes rechazan a los manifestantes contra la guerra)", 8 de octubre de 2011, http://www.wjla.com/articles/2011/10/air-and-space-museum-closed-after-guards-mace-protesters-67636.html.

9. Asamblea General de las Naciones Unidas, Informe del relator especial sobre ejecuciones extrajudiciales, sumarias o arbitrarias, Philip Alston, Adendum, Study on Targeted Killings (Estudio sobre asesinatos premeditados), A/HRC/14/24/Add.6, 28 de mayo de 2010.

10. Ian S. Livingston y Michael O'Hanlon, Pakistan Index: Tracking Variables of Reconstruction and Security (Índice de Paquistán: Seguimiento de las Variables de Reconstrucción y Seguridad) (Washington, DC: Brookings Institution, 26 de septiembre de 2011), 6, http://www.brookings.edu/~/media/Files/Programs/FP/pakistan%20index/index.pdf. Obsérvese que otras fuentes ponen el número total de ataques en 118. Véase, por ejemplo, "The Year of the Drone: An Analysis of U.S. Drone Strikes in Pakistan, 2004–2011 (El año del vehículo teledirigido: Un análisis de los ataques de vehículos teledirigidos estadounidenses en Paquistán, 2004-2011)", New America Foundation, consultado el 22 de julio de 2011, http://counterterrorism.newamerica.net/drones.

11. Los tiempos típicos de sobrevuelo son de 24 horas para el Predator y aproximadamente 30 horas para el Reaper sin cargas explosivas. "El Predator MQ-1B y RQ-1A de GA-ASI (Estados Unidos)," Jane's Unmanned Aerial Vehicles and Targets, consultado el 21 de julio de 2011, http://search.janes.com/Search/quickSearchResults.do?searchTerm=Predator+endurance&searchTermOption=Full+Text&pageSelected=janesReference&type=quickSearchResults&allContent=subscription.

12. "Declaración Conjunta Sobre la Revisión de Acciones Después de Kosovo", comunicado de prensa No. 478-99 (Washington, DC: Oficina del Subsecretario de Defensa [Asuntos Públicos], 14 de octubre de 1999), http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/kosovoaa/jointstmt.htm.

13. "Global Hawk and Predator: Operational Experience (Global Hawk y Predator: Experiencia Operativa)", Jane's Electronic Mission Aircraft, consultado el 22 de julio de 2011, http://search.janes.com/Search/documentView.do?docId=/content1/janesdata/binder/jema/jaem1030.htm@current&pageSelected=allJanes&keyword=Kosovo%20Predator&backPath=http://search.janes.com/Search&Prod_Name=JEMA&.

14. Nota de Doctrina Conjunta de febrero de 2011, The UK Approach to Unmanned Aircraft Systems (Enfoque del Reino Unido a los Sistemas de Aeronaves No Tripuladas), 30 de marzo de 2011, 7-3, http://www.parliament.uk/deposits/depositedpapers/2011/DEP2011-1514.pdf.

15. Jan van Tol con Mark Gunzinger, Andrew Krepinevich, y Jim Thomas, AirSea Battle: A Point-of-Departure Operational Concept (Batalla AireMar: Un Concepto Operativo de Punto de Partida) (Washington, DC: Centro para Evaluaciones Estratégicas y Presupuestarias, 2010), http://www.csbaonline.org/wp-content/uploads/2010/05/2010.05.18-AirSea-Battle.pdf.

16. Jane's Strategic Weapon Systems, 26 de enero de 2011, http://search.janes.com/Search/documentView.do?docId=/content1/janesdata/binder/jsws/jsws0179.htm@current&pageSelected=janesReference&keyword=SA-20&backPath=http://search.janes.com/Search&Prod_Name=JSWS&.

17. Centro para una Nueva Seguridad Estadounidense, Contested Commons: The Future of American Power in a Multipolar World (Espacios Disputados: El Futuro del Poderío Estadounidense en un Mundo Multipolar) (Washington, DC: Centro para una Nueva seguridad Estadounidense, enero de 2010), 25.

18. "HQ-9-15 y HHQ-9 (RF-9/-15, FD-20000 y FT 2000)," Jane's Strategic Weapon Systems, consultado el 24 de julio de 2011, http://search.janes.com/Search/documentView.do?docId=/content1/janesdata/binder/jsws/jsws9065.htm@current&pageSelected=allJanes&backPath=http://search.janes.com/Search&Prod_Name=JSWS&keyword=.

19. "S-300/Favorit (SA-10 'Grumble'/SA-20 'Gargoyle')," Jane's Strategic Weapon Systems, consultado el 16 de octubre de 2011, http://search.janes.com/Search/documentView.do?docId=/content1/janesdata/binder/jsws/jsws0179.htm@current&pageSelected=janesReference&keyword=SA-20&backPath=http://search.janes.com/Search&Prod_Name=JSWS&.

20. "Comentarios del Secretario Gates en la Academia de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos", copia de prensa (Washington, DC: Oficina del Subsecretario de Defensa [Asuntos Públicos], 4 de marzo de 2011), http://www.defense.gov/transcripts/transcript.aspx?transcriptid=4779.

21. Senado, Presentación ante el Comité Sobre los Servicios Armados, Senado de los Estados Unidos, Honorable Michael B. Donley, Secretario de la Fuerza Aérea, y General Norton Schwartz, Jefe de Estado Mayor, Fuerza Aérea de los Estados Unidos, Declaración de Posición de la Fuerza Aérea del Año Fiscal 2012, primera sesión del 112avo Congreso, 17 de febrero de 2011, 12, http://armed-services.senate.gov/statemnt/2011/03%20March/Donley-Schwartz%2003-17-11.pdf.

22. "Accident Description (Descripción del Accidente)", Aviation Safety Network, 22 de agosto de 2011, http://aviation-safety.net/database/record.php?id=20110815-0.

23. Nota de Doctrina Conjunta de febrero de 2011, Approach to Unmanned Aircraft Systems (Enfoque a los Sistemas de Aeronaves No Tripuladas), capítulo 5.

24. Thomas B. Sheridan y William L. Verplank, Human and Computer Control of Undersea Teleoperators (Control Humano y por Computadora de Teleoperadores Submarinos) (Cambridge, MA: Man-Machine Systems Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 1978), 8-17.

25. Mark Maybury (científico principal de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos), entrevista por e-mail por el autor, 24 de junio de 2011.

26. John A. Tirpak, "Confessions of a 'Bomber Hater,' (Confesiones de un 'Cínico de Bombarderos') " airforce–magazine.com, 15 de julio de 2011, http://www.airforce-magazine.com/Features/modernization/Pages/box071511cartwright.aspx.

27. Maybury, entrevista por e-mail.

28. Hui Min-Hang, "Autonomy Levels for Unmanned Systems (ALFUS) [Niveles de Autonomía para Sistemas No Tripulados]," Instituto Nacional de Normas de Tecnología, Grupo de Trabajo ALFUS, consultado el 23 de julio de 2011, http://www.nist.gov/el/isd/ks/upload/ALFUS-BG.pdf.

29. Caitlin Harrington Lee y Dan Wasserbly, "RQ-7 Lost in Collision with C-130 over Afghanistan (Se pierde un RQ-7 al colisionar con un C-130 en Afganistán)", Jane's Defence Weekly, 18 de agosto de 2011, http://search.janes.com/Search/documentView.do?docId=/content1/janesdata/mags/jdw/history/jdw2011/jdw46887.htm@current&pageSelected=janesNews&keyword=unmanned%20collision&backPath=http://search.janes.com/Search&Prod_Name=JDW&.

30. Caitlin Harrington Lee y Dan Wasserbly, "RQ-7 Lost in Collision with C-130 over Afghanistan (Se pierde un RQ-7 al colisionar con un C-130 en Afganistán)", Jane's Defence Weekly, 18 de agosto de 2011, http://search.janes.com/Search/documentView.do?docId=/content1/janesdata/mags/jdw/history/jdw2011/jdw46887.htm@current&pageSelected=janesNews&keyword=unmanned%20collision&backPath=http://search.janes.com/Search&Prod_Name=JDW&.

31. Smith, entrevista telefónica.

32. "Para aterrizajes en portaaviones, en general es mejor que los humanos". Missy Cummings (profesora asociada de aeronáutica y astronáutica, Massachusetts Institute of Technology), entrevista con el autor, 19 de julio de 2011.

33. Capitán John Stamos, USN (oficial de requisitos del Sistema de Vigilancia y Ataque Aerotransportado Lanzado desde Portaaviones [UCLASS] y Demostración de Sistema Aéreo de Combate No Tripulado [UCAS-D]) y Capitán Donald J. "Jeff" Hurley (jefe, Rama de Funciones Aéreas de Inteligencia, Vigilancia y Reconocimiento No Tripuladas), entrevista por el autor, 19 de julio de 2011.

34. Mayor Kenneth A. Fisher, PhD, y Dr. John F. Raquet, "Precision Position, Navigation, and Timing without the Global Positioning System (Posición, Navegación y Cronometraje de Precisión sin el Sistema de Posicionamiento Global)", Air and Space Power Journal 25, No. 2 (Verano de 2011): 24–33.

35. Oficina del Científico Principal de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, Report on Technology Horizons: A Vision for Air Force Science and Technology during 2010–2030 (Informe sobre Horizontes de la Tecnología: Una Visión para la Ciencia y la Tecnología en la Fuerza Aérea Durante 2010-2030), vol. 1, AF/ST-TR-10-01-PR (Washington, DC: Oficina del Científico Principal de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, 15 de mayo de 2010), viii, http://www.af.mil/shared/media/document/AFD-101130-062.pdf.

36. Coronel Thomas Adams, USA, retirado, citado en P. W. Singer, Wired for War: The Robotics Revolution and Conflict in the Twenty-First Century (Cableado para la Guerra: La Revolución Robótica y el Conflicto en el Siglo 21) (New York: Penguin Press, 2009), 128.

37. Scott Hamilton, "Here's a Thought: The Pentagon Wants 'Thinking' Drones (He aquí un pensamiento: El Pentágono quiere aeronaves teledirigidas "que piensen")" National Defense, febrero de 2011, http://www.nationaldefensemagazine.org/archive/2011/February/Pages/Here'saThoughtThePentagonWants'Thinking'Drones.aspx.

38. Mark A. Gunzinger, Sustaining America's Strategic Advantage in Long-Range Strike (Mantener la Ventaja Estratégica de Estados Unidos en el Ataque de largo Alcance) (Washington, DC: Centro para Evaluaciones Estratégicas y Presupuestarias, 2010), http://www.csbaonline.org/wp-content/uploads/2010/09/2010.09.14-Sustaining-Americas-Strategic-Advantage-in-Long-Range-Strike.pdf.

39. Schwartz, "Discurso Inaugural".

40. Michael Leahy (administrador del programa Sistemas de Gestión de Misiones Comunes, Northrop Grumman), entrevista con el autor, 30 de junio de 2011.

41. Siobhan Gorman, "Drones Evolve into Weapon in Age of Terror (Vehículos teledirigidos se convierten en un arma en la era del terror)," Wall Street Journal, 8 de septiembre de 2011, http://online.wsj.com/article/SB10001424053111904836104576556952946952670.html.

42. Nota de Doctrina Conjunta de febrero de 2011, Approach to Unmanned Aircraft Systems (Enfoque a los Sistemas de Aeronaves No Tripuladas), 5-4 y capítulo 5.

43. Dr. Mark Lewis (ex científico principal de la Fuerza Aérea), entrevista telefónica con el autor, 20 de junio de 2011.

44. Schwartz, "Discurso Inaugural" 9.

45. Tirpak, "Confessions of a 'Bomber Hater' (Confesiones de un 'Cínico de Bombarderos') ".

46. Gunzinger, Sustaining America's Strategic Advantage (Mantener la Ventaja Estratégica de Estados Unidos), 45.

47. Secretario de Defensa Robert M. Gates, "Declaración sobre el Presupuesto y Eficiencias del Departamento" (discurso, Pentágono, 6 de enero de 2011), http://www.defense.gov/speeches/speech.aspx?speechid=1527.

48. Gunzinger, Sustaining America's Strategic Advantage (Mantener la Ventaja Estratégica de Estados Unidos).

49. Se tiene previsto que Northrop Grumman realizará un reabastecimiento aéreo de combustible autónomo de su X-47B en 2014. La empresa también se ha asociado con la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de Defensa para realizar un reabastecimiento aéreo de combustible autónomo entre los RQ-14 Global Hawk en el primer trimestre de 2012.

50. Schwartz, "Opening Keynote Address," 9.

51. Departamento de Defensa, Unmanned Systems Roadmap, 2007–2032 (Mapa de Ruta de Sistemas No Tripulados, 2007-2032) (Washington, DC: Departamento de Defensa, Oficina del Secretario de Defensa, [2007]), 19, http://www.fas.org/irp/program/collect/usroadmap2007.pdf.

52. "UAV SWARM Health Management Project Information (Información del Proyecto de Gestión de Condición de enjambres de UAV)", Laboratorio de Controles Aeroespaciales en el MIT, consultado el 7 de septiembre de 2011, http://vertol.mit.edu/prjinfo.html. Véase también Caitlin Harrington, "UAV Avenger Has 'Missile Defence Capabilities' (UAV Avenger también 'tiene capacidad de defensa antimisiles')", Jane's Defence Weekly, 9 de julio de 2010.

53. Gates, "Statement on Department Budget and Efficiencies (Declaración sobre el Presupuesto y Eficiencias del Departamento)".

54. Oficina del Científico Principal de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, Report on Technology Horizons (Informe sobre Horizontes de Tecnología), viii.

Caitlin H. Lee (BA, Northeastern University; MA, Georgetown University) es corresponsal de aviación militar para IHS/Jane's Information Group, donde ha tratado sobre asuntos del aire y el espacio en los niveles estratégico, operativo y táctico. Actualmente también se desempeña como directora académica en Fairbanks, Alaska, en el campus de Embry-Riddle Aeronautical University. La señora Lee cubrió asuntos de defensa en el Capitolio para Congressional Quarterly del 2002 hasta 2006. Se ha presentado como experta en defensa y aviación en numerosos programas de noticias y radio, incluyendo la serie documental Dogfights of the Future del History Channel (2008) y el documental 10 Ways to Kill Bin Laden (2010). La señora Lee reside en Eielson AFB, Alaska, con su esposo, el Mayor Jarrett S. Lee, y su perro bulldog, Charles Lindbergh Lee.