

Retos para el poder militar aéreo en Europa: una exploración sobre el futuro de los sistemas aéreos no tripulados

Javier Jordán

Profesor Titular de Universidad

Universidad de Granada, España

jjordan@ugr.es

Resumen: Son varias las fuerzas aéreas y las empresas de Defensa que están invirtiendo en el desarrollo de aviones de combate de sexta generación con un horizonte temporal aproximado de 2035-2040. En el caso de Europa hay dos proyectos en marcha: el BAE Systems Tempest, impulsado por Reino Unido, Italia y Suecia, y el Future Combat Air System, impulsado por Francia, Alemania y España. Este comunicación explora el futuro de los unmanned aerial combat vehicle (UCAV). El artículo emplea como herramienta prospectiva el marco de los tres horizontes ya que facilita la comprensión del proceso de cambio en el que actualmente se encuentra la aviación de combate como consecuencia de los avances tecnológicos asociados a la cuarta revolución industrial. De acuerdo con este marco, el primer horizonte se corresponde con el de la aviación de combate tripulada cuya situación efectividad estratégica comienza a estar en cuestión. El segundo horizonte está poblado de distintas innovaciones actualmente en curso que pueden ser interpretadas como un respaldo al primer horizonte pero también como innovación disruptivas que conduzcan a un cambio del modelo dominante. La comunicación explora un tercer horizonte hipotético donde los UCAV asumen el protagonismo de las misiones de combate, e identifica los drivers que impulsarían este futuro alternativo y disruptivo.

Introducción

Son varias las fuerzas aéreas y las empresas de Defensa que están invirtiendo en el desarrollo de aviones de combate de sexta generación con un horizonte temporal aproximado de 2035-2040. En el caso de Europa hay dos proyectos en marcha: el BAE Systems Tempest, impulsado por Reino Unido, Italia y Suecia, y el Future Combat Air System, impulsado por Francia, Alemania y España. A diferencia de las generaciones previas de aviones a reacción, los nuevos programas se diferencian por el protagonismo del ‘sistema de sistemas’ sobre la plataforma aérea. De entrada todos los programas asumen que la sexta generación contará con una plataforma de combate tripulada y que esta operará en equipo con diversos sistemas aéreos no tripulados de combate (UCAV), algunos de ellos con un elevado grado de autonomía. Sin embargo, observando el progreso tecnológico surge los siguientes interrogantes: ¿la plataforma tripulada será realmente un avión de combate o más bien un centro de mando avanzado de los UCAV? ¿reemplazarán los UCAV a los aviones de combate tripulados en las principales misiones de combate aéreo aire-aire y aire-suelo?

Este artículo explora la respuesta a ambas preguntas utilizando el marco de los tres horizontes. La elección de esta herramienta prospectiva se justifica por su utilidad para estructurar la reflexión sobre procesos de innovación disruptivos. El artículo toma como caso de estudio la fuerza aérea de los Estados Unidos (USAF) que al igual que la de otros países europeos está desarrollando un

sistema aéreo de combate de sexta generación a través del Next Generation Air Dominance Program (NGAD). Se ha elegido el caso la USAF al existir mayor información disponible sobre sus programas tecnológicos y los debates asociados a ellos. Al mismo tiempo, teniendo en cuenta el liderazgo tecnológico de Estados Unidos es lógico pensar que sus implicaciones afectarán a los dos sistemas de combate aéreo de sexta generación europeos. El artículo se basa en un vaciado documental sobre el futuro de la aviación de combate en la USAF a partir de documentos oficiales, declaraciones públicas de altos cargos civiles y militares, artículos en revistas profesionales y sitios web de divulgación especializada.

La cuestión de los UCAV en general, y particularmente de los sistemas de armas letales autónomos (LAWS), ha recibido la atención de numerosos trabajos desde una perspectiva legal, ética y de control de armamento (Johnson & Axinn, 2013; Bhuta, Beck, Geiß, Liu & Kreß, 2016; Scharre, 2016). También es objeto de preocupación social y política, como puso en evidencia la carta abierta de la ONG The Future of Life Institute (2015), respaldada entre otros por Elon Musk y Stephen Hawking pidiendo la prohibición de los LAWS o la petición por parte del Parlamento Europeo de una estrategia europea para lograr la prohibición de dichos sistemas de armas (News European Parliament, 2021). Aclarando de entrada que los UCAV actuales no son LAWS, son menos sin embargo los trabajos que indagan sobre esta cuestión desde los estudios de futuro. A partir de la información recopilada y empleando el enfoque prospectivo de los tres horizontes, el artículo explora y trata de identificar los principales factores que afectarán al protagonismo futuro de los UCAV en las misiones de combate aéreo y ataque a tierra.

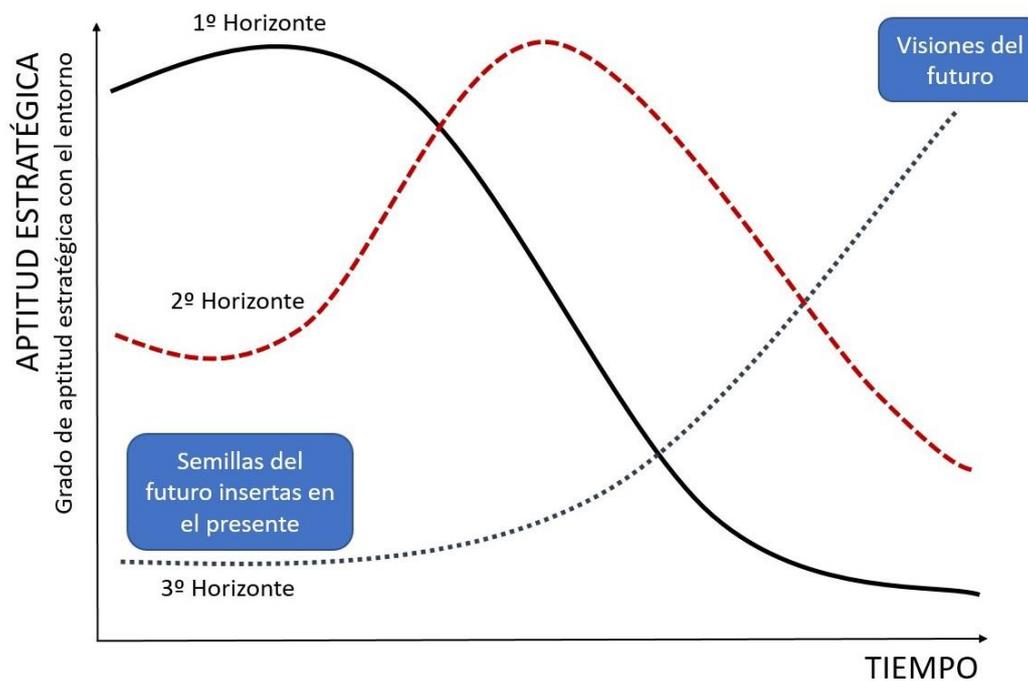
La estructura del artículo es la siguiente. En primer lugar se presenta el marco prospectivo de los tres horizontes. A continuación se aplica dicho marco a la evolución de la aviación de combate, a los programas en curso y a las intuiciones sobre el futuro de los UCAV, proponiendo como hipótesis –no contrastable– que el tercer horizonte se corresponde con un futuro donde los sistemas autónomos asumirán la mayor parte del protagonismo como plataformas aéreas en misiones de ataque a suelo y de combate aéreo, dentro de un ‘sistema de sistemas’ caracterizado por el *human-machine teaming*. A partir de esta propuesta, el artículo identificando los principales drivers que impulsarán y condicionarán la materialización de ese hipotético tercer horizonte.

El marco de los tres horizontes

El enfoque de los tres horizontes es una herramienta prospectiva de carácter cualitativo que estructura la reflexión sobre procesos de cambio profundo a lo largo del tiempo. Parte de la premisa de que los modos de proceder de numerosas organizaciones, tecnologías y políticas públicas nacen, se desarrollan, alcanzan cierto grado de éxito y entran en declive. Los ciclos aparentan ser olas de cambio que se desplazan unas a otras sucesivamente. Una imagen que subyace en la representación gráfica de los tres horizontes.

Como muestra el Gráfico 1, los tres horizontes no aluden simplemente al corto, medio y largo plazo sino a los procesos de transformación necesarios para mantener la efectividad estratégica en un contexto cambiante. En función del caso, el tiempo abarcado por cada horizonte puede referirse a unos pocos años o abarcar décadas. Lo relevante desde la perspectiva estratégica no es tanto el tiempo como la diferencia cualitativa del cambio estructural en cada uno de los horizontes. El enfoque de los tres horizontes presta atención a la efectividad estratégica del sistema (eje vertical) a medida que el entorno evoluciona a lo largo del tiempo (eje horizontal). El enfoque contempla la existencia simultánea de los tres horizontes a partir del presente. Esto permite visualizar futuros alternativos y articular opiniones distintas respecto a continuidad, innovación y visiones transformadoras.

Gráfico 1. Marco de los tres horizontes



Adaptado de Curry & Hodgson (2008: 2)

El gráfico representa la erosión paulatina de un sistema dominante (H1), conviviendo con procesos de innovación (H2) y de transformación que culminan con la emergencia de un nuevo sistema dominante (H3) que aprovecha mejor las oportunidades ofrecidas por la evolución del entorno. El marco de los tres horizontes ayuda a así a comprender el desarrollo de procesos de cambio profundo, identificando patrones estructurales que subyacen en acontecimientos de la superficie.

Hechas estas aclaraciones, los tres horizontes son los siguientes:

El Horizonte 1 (H1) se refiere a un sistema dominante en un ámbito determinado y en el momento actual. Posee una efectividad estratégica elevada e incluso es posible que haya alcanzado la cúspide. El sistema es en buena medida congruente con los valores y resto de sistemas e instituciones dominantes en el entorno. Algunos sistemas H1 acaban siendo tan importantes para el funcionamiento de una sociedad que alcanzan el estatus de ‘infraestructura crítica’ o ‘empresas estratégicas’, recibiendo especial atención por parte del gobierno: por ejemplo las compañías energéticas (Curry & Hodgson, 2008: 3). En otros casos un sistema es un segmento de una determinada política pública (por ejemplo, el empleo militar del poder aéreo, objeto de estudio de este artículo). Su aparente solidez depende de anclajes de distinta naturaleza que favorecen el statu quo, beneficiándose de éxitos pasados que corroboran su aptitud estratégica. Esto no es negativo en sí mismo: la vida diaria resulta posible gracias a la continuidad de políticas públicas y de organizaciones que interactúan con los ciudadanos, sin que convenga cambiar drásticamente su modo de operar.

Al mismo tiempo, los sistemas del Horizonte 1 se encuentran abiertos a innovaciones sostenidas, a aquellas que suponen una mejora con modos y medios ya probados por parte de los actores habituales sin asumir grandes riesgos. De hecho, sus recursos y experiencia consolidada permiten asumir ese crecimiento incremental. Sin embargo, con la evolución del entorno a lo largo del tiempo esa adaptación se vuelve en algunos casos auto-confirmatoria, obedeciendo más a la inercia que a la efectividad real. Se cae así en la ‘captura del regulador’: la gestión de cambio se

subordina a determinados intereses particulares, limitando otras opciones de cambio que proporcionarían ganancias más generalizadas. En tales casos ese sistema H1 va defraudando expectativas, no es capaz afrontar nuevas amenazas y tampoco aprovecha las oportunidades que ofrece el contexto. En definitiva, pierde paulatinamente la adecuación a su propósito (*fitness for purpose*) y, a la vez, desde su posición dominante dificulta la aparición de nuevos sistemas mejor adaptados al contexto. Es en esas circunstancias cuando la situación dominante del H1 (que tiempo atrás fue un H3, respondiendo a una determinada visión de cambio positivo) se convierte en un problema (Sharpe, 2013). Y si las adaptaciones incrementales no logran mejorar su aptitud estratégica, el sistema entrará en declive, quizás no desapareciendo por completo pero sí pasando a ocupar una posición secundaria.

El Horizonte 2 (H2) es una fase transitoria caracterizada por la innovación e interpuesta entre dos paradigmas. La evolución del entorno genera nuevos desafíos y oportunidades, lo que plantea dilemas sobre la conveniencia de responder con los modos ya conocidos o apostar por vías radicalmente diferentes que superen las limitaciones del H1. Es un periodo ambiguo, donde conviven elementos del sistema dominante con propuestas del H3. Estas últimas son en muchos casos hipótesis pendientes de contrastar. Abunda la creatividad, la experimentación, la negociación y los debates entre las coaliciones a favor y en contra del cambio. Se ponen en marcha innovaciones que preparan el camino al Horizonte 3 pero que a la vez se presentan de manera confusa, difícil de articular.

El H2 es a menudo una etapa turbulenta, donde se mira en las dos direcciones. Resulta acorde con lo que Clayton Christensen (2016) denomina el ‘dilema del innovador’: la duda ante seguir apostando por el antiguo sistema dominante aparentemente en declive o invertir una mayor cantidad de recursos en un nuevo camino cuya efectividad real está todavía por demostrar. Dicho dilema puede verse constreñido por los intentos de cooptación del sistema H1, que de conseguirlo absorberá el potencial de las innovaciones y extenderán su vigencia. En tal caso, el resultado sería un ‘Horizonte 2 menos (H2-)’.

Pero, si no es así, según se vaya demostrando la efectividad de las innovaciones disruptivas, es probable que estas terminen consolidándose, ganando más partidarios y recursos, logrando así ventaja competitiva sobre otras opciones, incluidas las del H1. Este sería el ‘Horizonte 2 más (H2+)’ conducente al H3.

El Horizonte 3 (H3) es la visión transformadora. Para acabar imponiéndose, además de demostrar una efectividad superior a la del H1, debe vencer las resistencias a abandonarlo. Desde la perspectiva del presente, cuando el sistema H1 es dominante, el H3 constituye una posibilidad apenas percibida o incluso descartada. Algunos de sus elementos permanecen hibernados hasta que el nuevo sistema se desarrolla por completo, mientras que otros comienzan a manifestarse en el presente como anticipos del futuro. Es un nuevo paradigma que se mantiene en segundo plano pero que paulatinamente se convierte en alternativa frente a las deficiencias del sistema dominante. Poco a poco van entrando en escena nuevos actores y se van consolidando innovaciones del H2. En el largo plazo el Horizonte 3 acaba convirtiéndose en el sistema dominante. Es resultado de una transformación de gran calado que incorpora innovaciones exitosas del Horizonte 2.

Gracias a su sencillez, el marco de los tres horizontes resulta útil para pensar de manera estructurada sobre los desafíos a largo plazo que enfrenta el sistema dominante actual (H1). Amplía la visión al contemplar los cambios como potencialmente transformacionales en lugar de meramente adaptativos. El marco de los tres horizontes presta atención a fuerzas emergentes y semillas de innovación susceptibles de generar un nuevo sistema (H3) que pasarían desapercibidas si la búsqueda de soluciones quedase atrapada en el H1. La técnica también ayuda a diferenciar las innovaciones sostenidas, que mejoran y refuerzan el sistema presente, de las

disruptivas que van abren la puerta a nuevos modelos. Unas y otras conviven en los periodos de transición (H2).

Al mismo tiempo, la ambigüedad inherente al proceso de transformación invita a la flexibilidad mental, evitando caer en debates simplificadores (conservadores/progresistas, bondad/maldad de los cambios). El marco ayuda a discutir sobre la contribución positiva de cada uno de los tres horizontes. Todo proceso de cambio entraña pérdidas y ganancias; además que el paso de un horizonte a otro va acompañado a menudo de transiciones de poder. El H1 fue en su día un H3 y es posible que a pesar de los cambios en el entorno haya cosas que conservar y de las que aprender. También puede ocurrir que algunas innovaciones disruptivas aparentemente prometedoras se acaben demostrando fallidas. La técnica asume la existencia simultánea de cada uno de los tres horizontes (aunque con diferentes grados de efectividad estratégica a lo largo del tiempo) por lo que la exploración del futuro ha de considerar qué puede aportar cada uno de ellos.

El futuro de la aviación de combate en la USAF a través del marco de los tres horizontes

La revisión documental refleja que la aviación de combate se encuentra en un momento de profunda transición. Pero al mismo tiempo no existe una imagen clara y consensuada sobre el lugar exacto al que dirigen las innovaciones en curso. Ante esta situación poco definida la técnica de los tres horizontes ayuda a articular la exploración del futuro.

Con el fin de incentivar el debate el artículo asume como hipótesis la visión más disruptiva: el tercer horizonte se corresponde con un desplazamiento de la aviación de combate tripulada como plataforma protagonista por los sistemas aéreos de combate no tripulados como plataformas pero dentro de un sistema de sistemas donde prevalecerá el *human-machine teaming* . Por ello el artículo examina los factores profundos que pueden provocar la sustitución del actual H1 (plataforma protagonista: aviación de combate tripulada) por el hipotético H3 (plataforma protagonista: aviación de combate no tripulada). En los siguientes apartados se analizan los patrones que subyacen en cada uno de los tres horizontes.

Primer horizonte: protagonismo de la aviación de combate tripulada y rol secundario de los sistemas aéreos no tripulados

La aviación tripulada es el sistema predominante en el ámbito del combate aéreo desde la Primera Guerra Mundial, conflicto en el que se desarrollan las principales misiones del poder militar aéreo: reconocimiento, combate aire-aire, apoyo aéreo cercano, interdicción operacional, bombardeo estratégico. Durante el periodo de entreguerras y la Segunda Guerra Mundial los avances tecnológicos mejoraron significativamente las prestaciones, el alcance y la capacidad armamentística de las plataformas. Al mismo tiempo, se implementaron distintas innovaciones tanto en los aviones como en los sistemas terrestres de apoyo en materia de navegación, detección a distancia, comunicaciones, mando y control (Van Creveld, 2011).

Al final de la Segunda Guerra Mundial y en los primeros años de la posguerra apareció la primera generación de aviones a reacción (iniciada por el alemán Me-262). Su empleo se generalizó en la Guerra de Corea (1950-1953), con el F-86 norteamericano y el MIG-15 soviético como exponentes más conocidos. Los avances tecnológicos y la experiencia de aquella guerra dieron lugar a una segunda generación con capacidades mejoradas en la aviónica, uso generalizado de radar y misiles, capacidad de volar de manera continuada por encima de la velocidad del sonido, etc. Durante la Guerra de Vietnam apareció una tercera generación que siguió mejorando las prestaciones y polivalencia de los aviones de combate. Los avances continuaron de manera sostenida dando lugar a una cuarta generación desde finales de la década de 1970. Los modelos

de cuarta generación modernizados y los de cuarta plus constituyen a día de hoy la columna vertebral de las fuerzas aéreas de la mayoría de los países europeos. En las últimas dos décadas han entrado en servicio aviones de quinta generación: fundamentalmente los norteamericanos F-22 y F-35, este último sustituto de aviones de cuarta generación en varios países europeos. También se está a la espera de la operatividad plena otros modelos de quinta generación como el Su-57 ruso y el J-20 chino.

La cuarta plus y la quinta generación de aviones de combate deben mucho a los avances tecnológicos en materia de computación, alta sensorización y conectividad con otras y plataformas aéreas, navales y terrestres. Al mismo tiempo, al igual que los modelos avanzados de aviación civil, las últimas generaciones de aviones de combate utilizan sistemas avanzados de control de vuelo (fly-by-wire) que mantienen estabilizado el avión al margen de las maniobras ordenadas por el piloto. En el caso de los aviones de combate –como por ejemplo, el Eurofighter– el fly-by-wire no solo alivia la carga de trabajo del piloto (*'carefree' handling*) sino que resulta indispensable para controlar el aparato ya que algunas de las características aviónicas que le proporcionan agilidad para el combate dificultan en extremo su vuelo en circunstancias normales. Es decir, la aviación de combate tripulada resulta viable gracias a la asistencia de la inteligencia artificial (AI) de los propios aparatos. Algo parecido ocurre con la asistencia a la toma de decisiones. La creciente sensorización del avión y su actuación en red, recibiendo datos de otras plataformas tripuladas y no tripuladas, requiere cada vez más del procesamiento previo y la recomendación de opciones a través de AI para no sobrecargar al piloto. Todas ellas son innovaciones sostenidas que refuerzan el sistema H1.

Durante estos más de cien años de historia la aviación de combate ha sido tripulada. Aunque es poco conocido, el inicio del desarrollo de los vehículos aéreos no tripulados (UAV) fue casi paralelo. Los primeros prototipos se remontan a la Primera Guerra Mundial. En la Segunda Guerra Mundial hubo un uso limitado de ellos, dirigiendo por control remoto aviones cargados de explosivos para estrellarlos en bombardeos de alta precisión. Durante la Guerra Fría continuó el desarrollo limitado de los UAV en tareas secundarias al servicio de la aviación de combate tripulada. Su función consistía fundamentalmente en actuar como blancos aéreos y ocasionalmente realizar misiones de intelligence, surveillance, target acquisition, and reconnaissance (ISTAR) de elevado riesgo (Singer, 2009).

En las últimas dos décadas se ha acelerado el desarrollo de los UAV con fines militares. Ha tenido mucho que ver en ello su empleo en la lucha contra grupos terroristas e insurgentes en los conflictos que siguieron a los atentados de septiembre de 2001. Los drones armados ofrecen ventajas en términos de persistencia sobre el área de operaciones, acortamiento de la cadena *sensor to shooter* y menor coste político en comparación con la aviación tripulada. Al mismo tiempo, su protagonismo en la polémica campaña de asesinatos selectivos por parte de Estados Unidos ha puesto en cuestión desde el punto de vista ético la idea general de los drones armados. Este es un asunto sobre el que existen marcadas diferencias políticas en los propios países europeos, algunos de los cuales han armado a sus drones (Reino Unido, Francia e Italia), mientras que en otros (por ejemplo, Alemania) se mantiene el debate político al respecto (Sprenger, 2021).

Fuera de Europa la adquisición de drones armados se está generalizando como consecuencia de la diversificación de las empresas productoras (destacando las de Israel, China y Turquía). Por lo que su empleo en combate ha dejado de ser predominantemente norteamericano, tal como ilustran los conflictos recientes en Siria, Libia y Nagorno-Karabaj. Aun así, la experiencia en estos conflictos es parcial y ha demostrado las limitaciones que todavía pesan sobre esta tecnología de cara a un conflicto entre ejércitos avanzados, donde probablemente ambos contendientes neutralizarían los drones adversarios mediante guerra electrónica, sistemas antiaéreos convencionales o sistemas específicos anti-drone (Bryen, 2020).

Más allá de los drones armados (UCAV), se ha aceptado sin especiales problemas la utilización de sistemas no tripulados para otros cometidos militares. En particular las misiones de *intelligence, surveillance and reconnaissance* (ISR), un ámbito donde el desarrollo tecnológico creciente de los drones convive cada vez más con la aviación tripulada. Hasta el punto de que los UAV han sustituido prácticamente por completo a la tripulada en el reconocimiento en profundidad sobre espacios aéreos contestados (por ejemplo, Irán). No obstante, estas funciones, al igual que otras como el reabastecimiento en vuelo son misiones de apoyo a la misión nuclear de cualquier fuerza aérea: el combate y ataque. Son por tanto innovaciones que no desafían el H1.

Sin embargo, hay tres razones que generan serias dudas de la efectividad estratégica del H1 en el largo plazo.

En primer lugar, los costes cada vez mayores de desarrollo, adquisición, operación y sostenimiento de las plataformas aéreas tripuladas. El salto tecnológico y en efectividad entre cada generación de aviones de combate exige gigantescas inversiones económicas, lo que a la postre lleva a la reducción de los flotas y a costes de oportunidad para otras partidas del presupuesto de Defensa por la imposibilidad de cuadrar las cuentas. En las circunstancias actuales la multiplicación de los precios afectará también a la próxima generación de aviones de combate. En diciembre de 2018 la Congressional Budget Office advirtió que el próximo avión de superioridad aérea (programa Penetrating Counter Air, que más tarde evolucionó al actual NGAD) supondría un coste de 300 millones de dólares la unidad, más del doble de un F-22 y más del triple de cualquiera de las variantes del F-35 (Insinna, 2018).

La tendencia al alza en los precios y la consiguiente reducción de números genera incertidumbre sobre la efectividad del H1 en un conflicto armado de alta intensidad entre fuerzas armadas avanzadas. Como afirma el dicho: “la cantidad tiene una calidad propia”. Teniendo en cuenta que la tasa de disponibilidad es siempre menor al número real de aparatos, así como el previsible desgaste que sufrirían en cuestión de días las fuerzas aéreas, es razonable preguntarse hasta qué punto la mejora en efectividad asociada a avances tecnológicos compensa la reducción en términos absolutos del número de plataformas aéreas tripuladas.

En segundo, lugar la mejora de los sistemas de defensa antiaéreos sigue representando una amenaza para la aviación de combate. No es un obstáculo insalvable ya que una constante en la historia del armamento es la competición entre distintas armas para contrarrestarse mutuamente. Los sistemas de defensa antiaéreos han supuesto un desafío para la aviación de combate desde sus inicios y una de las características de la quinta generación (la furtividad al radar) tiene como propósito, junto a otras medidas, permitir que el avión opere dentro del alcance de sistemas de defensa aérea avanzados. Esto es algo que actualmente los aviones de cuarta generación difícilmente podrían hacer sin sufrir graves pérdidas tanto en vidas de pilotos como de aviones que cuestan decenas de millones la unidad y muy escasos en número. Y ello a pesar de las mejoras doctrinales y tecnológicas para misiones de *suppression of enemy air defenses* (SEAD). Al mismo tiempo, la carrera tecnológica continúa y tanto Rusia como China están desarrollando sistemas antiaéreos cada vez más sofisticados y de mayor alcance con diversos sistemas en una defensa de capas integradas, con el límite exterior de 400km contra aviones que vuelan a gran altura. También están mejorando los métodos de detección (radares pasivos combinados con sistemas de detección y seguimiento infrarrojo, y en el futuro radares cuánticos) con el fin de reducir la furtividad de los actuales aviones de quinta generación. La mejora de los sistemas de defensa antiaérea se enmarca en una estrategia más amplia para generar burbujas *anti-access/area denial* (A2/AD) que priven a las fuerzas aéreas de Estados Unidos y de sus aliados europeos de la superioridad que han disfrutado desde la Guerra del Golfo de 1991.

La tercera razón es la progresiva expansión de los UAV, lo cual es interpretado en este artículo como el hipotético tercer horizonte. Los avances tecnológicos asociados a inteligencia artificial,

internet de las cosas, impresión aditiva, robótica, etc. ya están haciéndose sentir en la mejora de las capacidades tanto de los UAV en general como de los UCAV en particular. Este es un aspecto que se desarrolla a continuación en el segundo horizonte.

Segundo horizonte: innovaciones y sinergias entre aviación de combate tripulada y no tripulada.

El momento actual el segundo horizonte resulta claramente observable. Desde hace una década se ha intensificado la exploración de nuevos conceptos y la experimentación con diferentes tecnologías relacionadas con la aviación de combate y los UCAV. Algunas de ellas se pueden interpretar como innovaciones sostenidas que pretenden mejorar el H1 de la aviación de combate tripulada. Sin embargo, este periodo también puede entenderse como una fase de transición a un nuevo modelo de aviación de combate, protagonizado por las plataformas no tripuladas (H3). A continuación se exponen algunas innovaciones y proyectos en curso que ilustran la ambigüedad e indefinición propias del H2.

Por un lado, la utilidad demostrada por los UAV militares ha incentivado nuevas inversiones y desarrollos, lo que refuerza su maduración tecnológica. Se ha avanzado sustancialmente en autonomía a la hora de despegar, seguir parámetros de vuelo previamente establecidos, repostar en el aire (desde otro UAV) y aterrizar, incluso en portaviones como hizo por primera vez en 2013 el X-47B (Freedberg, 2014). Como ya se ha señalado, estos avances permiten a los UAV asumir cada vez más protagonismo en las misiones de ISR donde paulatinamente van desplazando a la aviación tripulada. En el caso del RQ-170 su tecnología stealth y vuelo completamente autónomo le ha permitido operar desde hace más de una década en espacios aéreos contestados como Irán o Pakistán. Lo cual lleva a preguntarse por qué este modelo concreto –o una variante mejorada– no ha sido armado, convirtiéndose en un UCAV. Del mismo modo que puede realizar un vuelo para tomar imágenes sobre una instalación nuclear iraní podría hacerlo lanzar una bomba guiada por GPS desde su bodega interna (Rogoway, 2016b).

Una posible explicación es que las resistencias culturales y burocráticas por parte de la USAF –no existe constancia de vetos al respecto por el nivel político– lo hayan impedido hasta hace pocos años. Esto explicaría la suspensión del programa X-45 liderado por la Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) con la empresa Boeign. El primer vuelo del demostrador del X-45 tuvo lugar en 2002. Era un demostrador de UCAV con un sistema de inteligencia artificial que le permitía un alto grado de autonomía, no solo a la hora de volar autónomamente sino para decidir y ejecutar opciones tácticas. En 2005 un par de X-45 completaron con éxito una misión de prueba en la que de forma completamente autónoma y trabajando en equipo atacaban objetivos que se presentaban de manera inesperada. Sin embargo, cuando DARPA transfirió el programa X-45 a la USAF, esta lo suspendió sin una razón clara. Otra explicación es que sí se esté armando drones stealth como el RQ-170 en el marco de los programas clasificados de la USAF. Hasta que aparecieron las primeras fotografías operando desde Afganistán en 2007, el RQ-170 era un UAV desarrollado en un programa clasificado. No es descartable que la USAF haya continuado desarrollando un programa de UCAV clasificado para mantener ventaja competitiva frente a potencias extranjeras rivales y también para evitar su suspensión por condicionantes políticos y sociales de carácter interno (Rogoway, 2016b).

En cualquier caso, desde finales de la década pasada la USAF ha vuelto a mostrar de manera pública su interés por potenciar los UCAV a través de diversos programas, impulsados en su mayoría por el Air Force Research Laboratory (AFRL). Uno de los más relevantes es el programa Skyborg, un sistema de inteligencia artificial capaz de pilotar UCAV de manera completamente autónoma, aunque normalmente se presenta en un marco de actuación en equipo con aviones de combate tripulados. El sistema Skyborg es de arquitectura abierta con el fin de que se le pueda ir

dotando progresivamente de la capacidad de realizar nuevas conductas complejas de manera autónoma. De entrada, un UCAV dirigido por Skyborg no hará nada que no pueda hacer también un avión de combate tripulado, pero lo hará más rápido al procesar y explotar la cantidad ingente de información que proporcionan los sensores avanzados de los aviones de combate y, sobre todo, la que reciben a través del resto de plataformas y sensores de la red de la que forma parte el UCAV. A un humano le llevaría mucho más tiempo procesar todos esos datos situacionales. La intención del AFRL es disponer de un primer UCAV autónomo capaz de realizar una misión específica y a partir de él iterar en desarrollos más complejos de AI (Trevithick, 2019b).

En paralelo se está aceptando paulatinamente el concepto de ‘loyal wingman’ orientado al trabajo en equipo entre aviones de combate tripulados y no tripulados. La USAF ya está experimentando este concepto con el XQ-58A Valkyrie, al igual que está haciendo la Fuerza Aérea de Australia (RAAF) con un programa similar desarrollado por Boeing (Lee, 2020). Los dos sistemas de sexta generación europeos, el Tempest y el FCAS, también lo incluyen (Stevenson, 2019; Newdick, 2021). Con este concepto se pretende que las plataformas tripuladas vayan acompañadas de uno o varios UAV/UCAV para realizar distintas misiones (sensor avanzado, guerra electrónica, ataque, señuelo), suponiendo un multiplicador de fuerza que aumentan el alcance y número de sus sensores y sistemas de armas. Los UAV acompañantes serán ‘attritable’, diferentes por tanto de los misiles de crucero o señuelos actuales de un solo uso. La idea es reutilizarlos en distintas misiones pero, gracias a su coste relativamente reducido y al hecho de no ir tripulados, poder sacrificarlos si es necesario en tareas de alto riesgo evitando exponer los aviones tripulados.

Un concepto asociado al de ‘loyal wingman’ es emplear drones acompañantes de bajo coste y de un solo vuelo. Lo cual difumina la frontera entre UCAV y munición inteligente, como ocurre por ejemplo con el programa Golden Horde, impulsado por la USAF para emplear municiones inteligentes en red. Este concepto es complementario a su vez con el de ‘flying missile rail’ de Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), donde un avión tripulado lanzaría varios UCAV que a su vez portarían misiles y municiones inteligentes lo que ampliaría sustancialmente su alcance y su flexibilidad táctica (Rogoway, 2017). En enero de 2021 DARPA contrató a varias empresas para avanzar en el diseño del programa LongShot que lleva a la práctica este concepto con un drone furtivo lanzado desde aviones de combate tripulados y que portará misiles aire-aire de largo alcance (Trevithick & Rogoway, 2021). De nuevo se trata de un concepto que podría entenderse como una innovación sostenida que amplía las capacidades del sistema H1. Pero también se puede interpretar como un avance más en la dirección del H3 hipótesis de este artículo. De hecho, la USAF ha expresado su intención de integrar el del sistema Skyborg en sus ‘loyal wingman’ manteniendo abierta la opción a que en el futuro ese *computer brain* controle UCAV autónomos. Al mismo tiempo, planea introducir los ‘loyal wingman’ en ejercicios militares a gran escala –también en el rol de adversarios– con el fin ir mejorando los algoritmos de la AI de Skyborg antes de emplearlos en misiones reales (The War Zone Staff, 2021).

Igualmente, se está experimentando con UCAV que trabajen en enjambre de manera semi-autónoma, recibiendo instrucciones a distancia por un operador humano a mitad de misión. Desde al menos 2014 DARPA está desarrollando el programa Collaborative Operations in Denied Environment (CODE) permitiendo por ejemplo que un equipo de UCAV busque y ataque objetivos siguiendo parámetros establecidos por controladores humanos. Aunque en principio necesitarían recibir permiso antes de atacar, también podrían hacerlo de manera completamente autónoma.

La cuestión de los distintos niveles de autonomía requiere una breve explicación. Por un lado, sigue habiendo UAV sin autonomía donde el operador humano controla a distancia el funcionamiento completo del dron. Y desde ese escalón inferior se pueden distinguir tres niveles de autonomía (Scharre, 2016: 9). El primero es *Human-in-the-Loop* o *semi-autonomous operation*, donde el humano asigna una tarea, o varias, al UAV para que este las realice

automáticamente, al tiempo que otras son controladas por un operador humano. El UCAV MQ-9 Reaper responde por ejemplo a esta categoría. El segundo es *Human-on-the-loop* o *supervised autonomous operation*, donde el UAV sigue unos parámetros de misión establecidos previamente, o actualizados a mitad de vuelo por operadores humanos, y consulta a esos controladores para que ellos tomen las decisiones clave. El UAV RQ-170 Sentinel pertenece a esta segunda categoría. Este nivel de autonomía permite que un único operador humano supervise a varios UAV a la vez, por lo que progresivamente se irá generalizando en distintos tipos de drones. El tercer nivel es *Human-out-of-the-loop* o *fully autonomous operation*, donde el UCAV posee autonomía plena a la hora de operar, buscar y designar objetivos y tomar decisiones tácticas en base a parámetros preprogramados. Esta tercera posibilidad es la que genera mayor preocupación ética, legal y política porque convierte los UCAV en LAWS. Exceptuando el campo de las municiones, con ejemplos como el misil merodeador y antirradar Harpy, en el ámbito aéreo los LAWS son solo una idea en desarrollo de programas experimentales en el marco del H2. No existe actualmente ningún UCAV que pueda ser considerado LAWS. De hecho, tampoco existe constancia pública de que se encuentra operativo en la actualidad ningún UCAV (con C de combate) con autonomía de segundo nivel (*human-on-the-loop*).

Otra innovación propia del H2 es el programa Air Combat Evolution (ACE), impulsado por DARPA, que incluye el desarrollo de AI para el combate aire-aire cercano. En el marco de ACE se celebran los AlphaDogfight Trials donde en la final de 2020 una AI derrotó cinco a cero a un piloto altamente experimentado en combate simulados virtualmente de F-16. La intención del ARLF de la USAF es celebrar un duelo con aviones reales entre una AI y un piloto humano en 2024 (The War Zone Staff, 2021). Según DARPA (2019), ACE pretende favorecer la confianza de los operadores humanos en el *human-machine teaming*, creando un sistema jerárquico donde las funciones cognitivas de más alto nivel (por ejemplo, diseñar una estrategia completa de enfrentamiento, seleccionar y priorizar objetivos, determinar las armas más adecuadas, etc.) serían efectuadas por los humanos, mientras que se dejarían a los UCAV las funciones cognitivas menos demandantes (ejecución de maniobras tácticas durante el enfrentamiento). Serían por tanto UCAV con autonomía *human-on-the-loop*.

En una línea similar la USAF está experimentando con ‘co-pilotos AI’ en aviones de combate tripulados. En diciembre de 2020 se realizó el primer vuelo real con un avión de ISR U-2 que empleaba un algoritmo denominado ARTUμ como co-piloto. La AI se ocupó del control de los sensores y de la navegación táctica teniendo como prioridad la búsqueda de lanzadores de misiles adversarios mientras que el piloto humano atendía posibles amenazas aéreas. Según el Air Force Chief of Staff Gen. Charles Q. Brown, Jr, la intención de la USAF es exportar esta innovación a otros aviones para mantener la ventaja tecnológica frente a potenciales adversarios (Secretary of the Air Force Public Affairs, 2020).

Desde el marco utilizado por este artículo todas estas innovaciones se encuadran en el H2. La ambigüedad propia de este horizonte impide saber con certeza el tipo de futuro hacia el que se encaminan. Una posibilidad es que actúen como meros potenciadores del H1 actual. De hecho la visión de los programas de sistemas de sexta generación es un H3 donde la piedra angular no será tanto el avión tripulado como el propio ‘sistema de sistemas’, integrado por una red de plataformas aéreas tripuladas, diferentes tipos de no tripuladas (acompañantes, sistemas completamente autónomos, UAV para ISR), municiones inteligentes actuando en enjambre, satélites y sistemas terrestres. En ese sistema los aviones tripulados continuarían realizando misiones de combate directo, además de otras de apoyo y mando y control pero estarían apoyados por toda una gama de sistemas no tripulados con mayor o menor nivel de autonomía (Trevithick, Joseph, Rogoway, 2019). Este H3 supone una transformación respecto al H1 actual pero es menos disruptivo desde el punto de vista institucional, político, cultural e incluso ético.

Sin embargo, a partir de todo lo expuesto también resulta plausible un H3 aún más disruptivo donde la piedra angular es también el sistema de sistemas y la guerra en red (*network centric warfare*) pero donde el protagonismo en la ejecución de las misiones de combate y ataque recaería prioritariamente en los UCAV. Los planes oficiales de la USAF (2009: 50) sobre el futuro empleo de los UCAV reconocen explícitamente el impacto revolucionario que a largo plazo tendrán sobre el rol de los humanos en el combate aéreo aunque no lo concretan. En este H3 el sistema de sistemas se caracterizaría por *human-machine teaming* donde el planeamiento general y la supervisión sería responsabilidad de los humanos, mientras que el procesamiento de información y la ejecución recaería predominantemente en la AI a través de plataformas no tripuladas. Este H3 alternativo se desarrolla como hipótesis en el siguiente epígrafe.

Tercer horizonte (exploratorio): protagonismo de los sistemas no tripulados en las misiones de combate y ataque

Una transformación de semejante calado, como la sustitución de la aviación de combate tripulada por sistemas autónomos, ha de responder a una visión que entrañe una mejora sustancial respecto a la situación previa o a una exigencia ineludible de la evolución del entorno. La mera disponibilidad tecnológica no sería suficiente para superar las barreras institucionales, culturales y políticas que probablemente se levantarían ante una innovación tan disruptiva. Por tanto, para que este H3 resulte plausible es preciso identificar fuerzas de cambio que apunten en esa dirección. Este artículo identifica tres: ventajas operativas, economía de adquisición y sostenimiento, y equilibrio de poder.

El primer conjunto de fuerzas favorables al cambio son las ventajas operativas que ofrecerían los sistemas de combate aéreos autónomos, una vez que alcancen un grado de madurez tecnológica que les equipare en prestaciones a los aviones de combate tripulados.

Una ventaja evidente es la velocidad de procesamiento y la eliminación del cansancio de la AI frente a un humano a la hora de procesar la enorme cantidad de información que generarán los ‘sistemas de sistemas’ de la sexta generación y posteriores al conectar múltiples sensores. Esa mayor velocidad es un factor relevante a la hora de superar el ciclo de decisión adversario y responder a un campo de batalla futuro cada vez más poblado y dinámico, con proyectos en desarrollo como las armas hipersónicas, los enjambres de municiones inteligentes, los enjambres de señuelos reales o generados mediante guerra electrónica, o incluso contra los UCAV de una fuerza aérea adversaria que lleve la delantera en este H3 (Singer, 2009: 64; Byrne, 2014: 56-57). De esta manera, es plausible pensar que la autonomía se convertirá a la vez en causa y efecto del incremento de velocidad –en términos de decisión– de los enfrentamientos relacionados con el dominio aéreo (Leys, 2018: 51).

Hay otras ventajas operativas que ya se aprecian en los UCAV actuales. Al no poner en riesgo la vida de pilotos, los UCAV aportan mayor flexibilidad táctica, siendo susceptibles de acometer misiones más arriesgadas como por ejemplo actuar contra, o dentro del alcance, de la burbuja A2/AD de un adversario avanzado. De este modo, los UCAV permitirían alcanzar objetivos de otro modo inaccesibles. Los sistemas no tripulados también hacen innecesarias las peligrosas misiones de *Combat Search and Rescue* de pilotos derribados sobre territorio enemigo, además de ahorrar la disponibilidad y preparación de recursos aéreos y humanos que exigen dichas misiones.

Por otro lado, al no llevar en su interior un humano y al no requerir el espacio del *cockpit* y los sistemas vitales asociados al piloto, los UCAV pueden operar durante más tiempo, aumentando significativamente su alcance y persistencia en el teatro de operaciones. El alcance en particular es una ventaja frente a las burbujas A2/AD ya que permite enfrentarlas lanzando los UCAV desde

distancias más seguras y con el apoyo de aviones de reabastecimiento en vuelo (probablemente también no tripulados) que operen fuera del alcance adversario. La ausencia del piloto también permite que los UCAV puedan realizar maniobras más extremas pues la estructura del avión aguanta mayor fuerza G que un piloto (Rogoway 2016b). Estas ventajas hay que sumarlas a los avances tecnológicos de las municiones inteligentes. De este modo, el *air combat maneuvering*, donde a día de hoy el humano tiene ventaja frente a los UCAV, puede ser igualado con el empleo de misiles de corto alcance altamente maniobrables como, por ejemplo, el AIM-9X Sidewinder.

Todas estas ventajas operativas son además compatibles con UCAV *human-in-the-loop* y *human-on-the-loop*, que soliciten permiso a un decisor humano antes de atacar blancos de oportunidad. Ciertamente, un factor que impulsa la autonomía plena es la vulnerabilidad del vínculo entre el UCAV y el centro de mando que lo opera frente las interferencias de un adversario tecnológicamente avanzado. Por ejemplo, Rusia ha interferido de manera efectiva diversos tipos de drones en Ucrania y en Siria mediante sistemas avanzados de guerra electrónica (Trevithick, 2018). Dotar de autonomía plena para proteger de interferencias es un criterio pragmático que ya se emplea en misiles de crucero y antibuque actuales, y que será difícil de eludir en situaciones tácticas muy concretas y en un contexto de rivalidad entre grandes potencias donde Rusia y China están también desarrollando y experimentando sus propios programas de UCAV así como contramedidas para neutralizar sistemas no tripulados adversarios (Mayer, 2015: 771). Sin embargo, las interferencias enemigas no son tan problemáticas contra enlaces de datos robustos dentro del alcance visual (*line of sight*) utilizados por ejemplo entre los componentes de un enjambre, o entre un UCAV y un puesto de mando avanzado a bordo de un avión tripulado (Stillion, 2015: 43-44; Rogoway, 2016b).

Por ello, la autonomía plena (*human-out-of-the-loop*) sería en todo caso la excepción del H3 propuesto en este artículo. Lo más probable es que se limite a ciertos contextos tácticos que verdaderamente la exijan y donde se minimicen los enormes riesgos que entraña. En la práctica, circunstancias muy excepcionales como por ejemplo, la destrucción de elementos clave de un sistema antiaéreo protegido por avanzados sistemas de guerra electrónica que neutralicen las comunicaciones externas de los UCAV. Lo normal, sin embargo, será el *human machine-teaming*, donde las decisiones críticas estarán sometidas a la aprobación humana y la ejecución táctica se delegará mayoritariamente a sistemas autónomos *human-in-the-loop* o *human-on-the-loop*. En cierto modo, la autonomía que ya se ha cedido a los misiles aire-aire o a los misiles aire-superficie de distinto propósito se cederá también a plataformas que los disparan dentro de unos parámetros estrictamente acotados. Como resultado, el ‘sistema de sistemas’ del H3 sería un híbrido humano-máquina donde se crearían sinergias entre la inteligencia humana y la AI que se traducirían en mayores ventajas operativas frente al actual H1.

El segundo tipo de impulsor del cambio es de carácter económico. De entrada, se abaratarían los costes de desarrollo y fabricación de las plataformas aéreas, eliminando todos los sistemas asociados a su operación por parte del piloto y a la supervivencia de este. En función de lo sofisticado del UCAV, la ratio de coste entre el sistema autónomo y el tripulado podría ser de cuatro o incluso seis a uno (Rogoway, 2016b). Además, al trabajar en enjambre no sería necesario que todos los UCAV porten los mismos sensores (por ejemplo, radares avanzados o potentes sistemas de guerra electrónica). Puesto que están conectados a través de Data Link, la AI compartida puede recibir esa información, procesarla, tomar decisiones y distribuir tareas entre unos y otros. Todo ello permitiría optimizar recursos (Rogoway, 2016b). En cuanto a los costes de investigación y desarrollo, gran parte de las tecnologías relevantes para los UCAV se están desarrollando en el sector civil, lo que implica una reducción de costes y creación de economías de escalas muy diferente a la de los programas tradicionales de alta tecnología militar (Altmann & Sauer, 2017: 125)

Al mismo tiempo, el protagonismo de los UCAV eliminaría la inmensa mayoría de horas de vuelo dedicadas al adiestramiento de los pilotos. Aunque resulta muy difícil determinar los costes reales por hora de vuelo y las estimaciones varían según la fuente consultada, en el caso del F-35A la cifra es de aproximadamente 36,000\$ (ReIm, 2021). Según la OTAN el mínimo de horas de vuelo de cada piloto debería ser 180 al año (sin contar las horas requeridas para su formación al inicio de su carrera), cifra que no todos los países miembros cumplen por el coste que entraña.

A ello se añade el desgaste que las horas de vuelo suponen para las actuales plataformas tripuladas. En el caso del Eurofighter la vida de las plataformas es de aproximadamente 6.000 horas y en el F-35 el límite estimado es de 8.000 horas. Al ser pilotados por una AI el adiestramiento pasaría a ser virtual, por lo que el abaratamiento de los costes de sostenimiento sería muy significativo y los costes de fabricación experimentarían también notables ahorros al diseñar una plataforma que volaría un número de horas mucho más reducido (Rogoway, 2016). Como se ha señalado anteriormente, un desafío al actual H1 es el encarecimiento progresivo de los costes de adquisición, operación y sostenimiento de las sucesivas generaciones de aviones de combate. Lo cual está obligando a una reducción cuantitativa de las flotas aéreas, tanto norteamericana como especialmente europeas, que pone en cuestión su capacidad de contar con un número suficiente de aviones de combate en una situación de conflicto real frente a una potencia militar rival.

Por otra parte, el abaratamiento en los costes de adquisición de las plataformas permitiría iterar con más frecuencia. Las plataformas de combate tripuladas actuales tienen una vida media de aproximadamente tres o cuatro décadas –en función de la fuerza aérea que las opera– contando con pequeñas actualizaciones permanentes y modernizaciones más importantes a mitad de vida, que suponen un importante coste añadido. La transformación a una fuerza de combate autónoma facilitaría el objetivo expresado por Will Roper, cuando ocupaba el cargo de Assistant Secretary of the Air Force for Acquisition, Technology and Logistics, de replicar una ‘new Century Series’, aludiendo al rápido diseño y adquisición de distintos aviones de combate por parte de la USAF cuya designación comenzaba por F-100 en las décadas de 1950 y 1960. Esto permitiría producir nuevos modelos más avanzados a un coste económico asumible y con mayor frecuencia (Tirpak, 2019).

Una tercera fuerza de cambio tiene que ver con el equilibrio de poder. La competición entre países capaces de desarrollar UCAV autónomos verdaderamente efectivos generaría incentivos estructurales a favor de la adopción de esta tecnología. Una dinámica acorde con la perspectiva del realismo estructural y con la experiencia previa en otros procesos de difusión militar (Van Creveld, 1991: 311-320; Mearsheimer, 2003: 32-36; Horowitz, 2010: 23-60). Actualmente, esta carrera afecta particularmente a Estados Unidos y China en previsión de un conflicto armado de alta intensidad entre ellos. Lo que teniendo en cuenta los recursos económicos y tecnológicos que ambas potencias dedican a defensa supone un considerable impulsor de innovaciones como las señaladas en el H2.

En caso de que el H3 sea adoptado por algunos países, aquellos otros que mantengan el H1 pasarán a una situación de desventaja en el dominio militar aéreo. Por un lado, por la superioridad cualitativa de los UCAV sobre los aviones tripulados en el combate aire-aire. Por otro, por la ventaja numérica de los UCAV –gracias a la disminución de los costes de adquisición y sostenimiento– frente a unas plataformas tripuladas menores en número por sus elevados costes.

Este desequilibrio también podría afectar al ámbito comercial. Los UCAV se convertirán en un producto altamente atractivo, si a la efectividad militar suman la reducción en los costes de adquisición y sostenimiento. En ese escenario, las industrias aeronáuticas que decidieran seguir apostando por la producción de aviones de combate tripulados frente a sistemas más capaces –y más económicos– de carácter no tripulado pondrían en peligro su posición en el mercado. Ya

existe un precedente por analogía de esta dinámica: Estados Unidos ha mantenido una política de no exportar UCAV a los países de Oriente Medio, lo cual no ha impedido que Irak, Egipto, Irán y Emiratos Árabes Unidos los hayan terminado obteniendo gracias a las exportaciones de UCAV por parte de China (Milan & Tabrizi, 2020: 734-735).

En este contexto competitivo a escala global las barreras sociales, políticas e institucionales sufrirán una importante presión a la hora de frenar la emergencia del H3. La posibilidad de establecer un régimen legal que limite, o incluso prohíba, el desarrollo y adquisición de UCAV disminuyendo así la fuerza del driver equilibrio de poder, quedará supeditada a la buena voluntad de todos los países. Si uno o varios Estados desarrollan UCAV significativamente superiores en prestaciones a los aviones de combates tripulados, sus competidores tendrán un poderoso incentivo para dotarse de capacidades similares. Teniendo en cuenta la dificultad para verificar y hacer cumplir la legislación internacional en cuestiones previas relacionadas con los UCAV, como ha sucedido por ejemplo con la campaña de *targeted killings* por parte de Estados Unidos, las expectativas a ese respecto no son alentadoras (Bieri & Dickow, 2014).

Sin embargo, esto no quiere decir que dichas barreras sociales, políticas e institucionales vayan a resultar irrelevantes. Actuarán más bien como variables intervinientes que afectarán en mayor o menor grado a la configuración última del H3, en particular limitando la deriva de los UCAV al ámbito de los LAWS. Como consecuencia de lo disruptivo de transferir en ciertas misiones la decisión letal a una AI (siempre dentro de unos parámetros de misión y targeting establecidos por decisores humanos), las resistencias actuales se traducirán en un mayor énfasis sobre los mecanismos de control y rendición de cuentas de los futuros LAWS aéreos. Sin la capacidad de ejercer control humano alguno, un UCAV completamente autónomo podría provocar un daño mucho más severo que un UCAV con *human-in/on-the-loop* (Scharre, 2016: 23). Al mismo tiempo, cuanto más complejo sea el entorno donde opere el UCAV autónomo más compleja también tendrá que ser su AI, dificultando la comprensión completa de su conducta y su previsibilidad desde el punto de vista humano. Y en un H3 (distópico) donde los UCAV autónomos operasen de manera generalizada sería inevitable que tarde o temprano estos acabasen cometiendo errores. Las múltiples comprobaciones, el adiestramiento del personal asociado, la verificación y validación de software disminuyen pero no evitan por completo la probabilidad de error en sistemas tan complejos. Y a ello ha de sumarse la acción de rivales que tratarán de hackear y hacer spoofing sobre dichos sistemas (Scharre, 2016: 23-24).

Por ello es plausible que garantizar el control último efectivo de los UCAV, evitando el empleo generalizado de UCAV con autonomía *human-out-of-the-loop*, sea una variable interviniente crucial para llegar al H3 propuesto en este artículo. De hecho, en Estados Unidos, toda decisión sobre letalidad conduce en último término a la responsabilidad de un decisor humano (Roff, 2014: 214). E igualmente se ha de mantener la capacidad de abortar la misión una vez que el LAWS la ha iniciado (US DoD, 2012). Resulta lógico pensar que el veto humano se mantendrá como condición asociada a la emergencia del H3 y que será esgrimida como argumento atenuante por quienes promuevan cambio. Expresado de otro modo, para que el H3 se materialice se deberá garantizar que el humano continuará siendo el agente moral y el freno de seguridad (*fail-safe*) estableciendo el límite máximo, como norma general, de autonomía en el nivel de *human-on-the-loop*.

Sin embargo, la prohibición completa de los UCAV con autonomías menores al nivel de *human-out-of-the-loop* resulta poco plausible como consecuencia de las ventajas operativas y económicas ya señaladas, y sobre todo por el equilibrio de poder. Un anticipo de la fuerza que ejercen las presiones sistémicas sobre la resistencia política a nivel interno resulta observable en la cuestión más general de los drones armados. La oposición a armar drones en algunos países europeos se debe por un lado a su asociación con la campaña norteamericana de *targeted killings* en lugares como Pakistán, Yemen o Somalia (donde el problema principal no son los drones sino la propia

legalidad de dichas acciones) y, por otro, por los reparos éticos a las ideas como la de los ‘killer robots’ y la ‘guerra por control remoto’ (Horowitz, 2016: 26). Pero a pesar del debate que esta cuestión sigue suscitando en países como Alemania, lo cierto es que los programas de sistemas de combate aéreos de sexta generación, como el Future Combat Air System, (impulsado por Francia, Alemania y España), dan por descontado la inclusión de drones acompañantes armados como un elemento natural del sistema de sistemas. No hacerlo supondría rebajar sus capacidades frente al resto de sistemas de sexta generación (Wachs, 2020).

Por último, para que los tres conjuntos factores anteriores (ventajas operativas y económicas, y equilibrio de poder) den lugar al H3 resultan indispensables, como variable no suficiente pero sí necesaria, los avances tecnológicos que en efecto otorguen ventaja competitiva a los UCAV frente a los aviones de combate tripulados. Esta es la gran incógnita. Los sistemas de combate aéreo norteamericano y europeos de sexta generación comenzarán a implantarse –si no lo impiden los habituales retrasos de estos grandes programas– a partir de 2035, alcanzando su madurez a la largo de la década de 2040. Resulta extremadamente difícil hacer predicciones específicas sobre el nivel de desarrollo de la AI, así como de otras tecnologías asociadas a los UCAV. De modo que el H3 hipotético no tendría un horizonte temporal claramente definido. En cualquier caso, las innovaciones expuestas en el H2 apuntan a una mejora tecnológica progresiva de los UCAV.

Conclusión

Los avances tecnológicos en sistemas aéreos no tripulados alimentan la especulación sobre el futuro de la aviación de combate tripulada. Este artículo ha encuadrado distintos avances en materia de UCAV utilizando la técnica de los tres horizontes, reconociendo el carácter ambiguo de numerosas innovaciones pertenecientes al H2. Muchas de ellas pueden ser interpretadas como innovaciones sostenidas, acordes con el H1, o bien como innovaciones disruptivas, coherentes con el H3. Al mismo tiempo, el artículo ha identificado los desafíos que se presentan al sistema actual de aviación de combate tripulada (H1). El principal es que las exigencias por mantener la ventaja cualitativa suponen unos costes económicos de adquisición y sostenimiento tan elevados y crecientes que ponen en peligro su utilidad estratégica al generar un déficit de disponibilidad cuantitativa del número real de plataformas aéreas.

Como alternativa al H1 actual, el artículo explora un H3 hipotético donde los avances tecnológicos permiten disponer de UCAV iguales o superiores en prestaciones a los aviones de combate tripulados, sustituyendo a estos como plataformas de combate de primera línea en el marco de un sistema de sistemas marcado por la colaboración humano-máquina.

En este H3 los avances tecnológicos que logren la superioridad de los UCAV sobre las plataformas tripuladas de combate constituyen una variable necesaria pero no suficiente. Como variables independientes añadidas, el artículo identifica tres conjuntos de fuerzas de cambio: ventajas operativas, ventajas económicas y presiones sistémicas derivadas de los equilibrios de poder. De manera combinada esos drivers ejercerán presión sobre las resistencias institucionales (dentro de las propias fuerzas aéreas), así como sobre las resistencias políticas, sociales, éticas y legales que comprensiblemente se alzarán en algunos países frente a un H3 tan disruptivo.

Debería ser objeto de futuros estudios analizar en qué medida la balanza se inclinará a favor o en contra del cambio en países concretos. Otra línea de investigación interesante consistiría en conocer el modo como las fuerzas aéreas europeas están adaptando su doctrina a las oportunidades y desafíos derivados de las innovaciones en el contexto ambiguo del H2. Por último, el contenido de este artículo invita también a reflexionar en futuros trabajos sobre las consecuencias del H3 planteado en la estabilidad estratégica durante las crisis, la credibilidad de la disuasión y la probabilidad mayor o menor de que los gobiernos recurran al empleo de la fuerza militar.

Referencias

- Aaron M. J. & Axinn, S. (2013). The morality of autonomous robots. *Journal of Military Ethics*, 12(2), 129-141. <https://doi.org/10.1080/15027570.2013.818399>.
- Altmann, J. & Sauer, F. (2017). Autonomous weapon systems and strategic stability. *Survival*, 59(5), 117-142. <https://doi.org/10.1080/00396338.2017.1375263>.
- Bhuta, N., Beck, S., Geiß, R., Liu, H., Claus, K. (Eds.) (2016). *Autonomous weapons systems. Law, ethics, policy*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bieri, M. & Dickow, M. (2014). Lethal autonomous weapons systems: future challenges. *Center for Security Studies ETH Zürich*. Retrieved from <https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/91585>. Accessed April 15, 2021
- Bryen, S. (2020). Russia knocking Turkish drones from Armenian skies. *Asia Times*. Retrieved from <https://asiatimes.com/2020/10/russia-knocking-turkish-drones-from-armenian-skies/>.
- Byrnes, M. W. (2014). Nightfall: machine autonomy in air-to-air combat. *Air and Space. Power Journal*, 28 (3): 48–75. Retrieved from <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a602090.pdf>. Accessed April 15, 2021
- Christensen, C. M. (2016). *The innovator's dilemma: when new technologies cause great firms to fail*. Harvard Business Publishing.
- Curry A., & Hodgson A. (2008). Seeing in multiple horizons. *Journal of Futures Studies*, 13(1), 1- 20.
- DARPA (2019). *AlphaDogfight Trials Foreshadow Future of Human-Machine Symbiosis*. Retrieved from <https://www.darpa.mil/news-events/2020-08-26>. Accessed April 15, 2021
- Milan, F. F. & Tabrizi, A. B. (2020). Armed, unmanned, and in high demand: the drivers behind combat drones proliferation in the Middle East, *Small Wars & Insurgencies*, 31(4), 730-750, <https://doi.org/10.1080/09592318.2020.1743488>.
- Freedberg, S. J. (2014). X-47B drone & manned F-18 take off & land together in historic test, *Breaking Defense*. Retrieved from <https://breakingdefense.com/2014/08/x-47b-drone-manned-f-18-take-off-land-together-in-historic-test/>. Accessed April 15, 2021
- Horowitz, M. C. (2010). *The diffusion of military power: causes and consequences for international politics*. Princeton University Press.
- Horowitz, M. C. (2016). The ethics & morality of robotic warfare: assessing the debate over autonomous weapons. *Dædalus*, 145(4), 25-36. https://doi.org/10.1162/DAED_a_00409.
- Insinna, V. (2018). Budget watchdog warns this fighter could cost three times that of the F-35. *Defense News*. Retrieved from <https://www.defensenews.com/air/2018/12/14/budget-watchdogs-warn-of-expensive-price-tag-for-next-air-force-fighter/>. Accessed April 15, 2021
- Lee, C. (2020). U.S., Australia make progress on robotic jets. *National Defense Magazine*. Retrieved from <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2020/3/27/us-australia-make-progress-on-robotic-jets>. Accessed April 15, 2021
- Leys, N. (2018). Autonomous weapon systems and international crises. *Strategic Studies Quarterly*, 12(1), 48-73.
- Mayer, M. (2015). The new killer drones: understanding the strategic implications of next-generation unmanned combat aerial vehicles, *International Affairs*, 91(4), 765-780. <https://doi.org/10.1111/1468-2346.12342>.
- Mearsheimer, J. J. (2003). *The tragedy of great power politics*. Norton.

- Newdick, T. (2021). The United Kingdom has chosen who will build its first prototype loyal wingman combat drone. *The Drive – The War Zone*. Retrieved from <https://www.thedrive.com/the-war-zone/38898/the-united-kingdom-has-chosen-who-will-build-its-first-prototype-loyal-wingman-combat-drone>. Accessed April 15, 2021
- News European Parliament (2021). Guidelines for military and non-military use of artificial intelligence. *Press Room*. Retrieved from <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20210114IPR95627/guidelines-for-military-and-non-military-use-of-artificial-intelligence>. Accessed April 15, 2021
- Relm, G. (2021). Lockheed Martin confident F-35 operating cost will be reduced to \$25,000 per hour. *Flight Global*. Retrieved from <https://www.flightglobal.com/locked-wing/lockheed-martin-confident-f-35-operating-cost-will-be-reduced-to-25000-per-hour>. Accessed April 15, 2021
- Roff, H. M. (2014). *The Strategic Robot Problem: Lethal Autonomous Weapons in War*, *Journal of Military Ethics*, 13(3), 211-227, <https://doi.org/10.1080/15027570.2014.975010>.
- Rogoway, T. (2016). Surprise, surprise! The USAF can't afford its fighter fleet past 2021. *The Drive – The War Zone*. Retrieved from <https://www.thedrive.com/the-war-zone/3629/surprise-surprise-the-usaf-cant-afford-its-fighter-fleet-past-2021> Accessed 15 Feb 2021. Accessed April 15, 2021
- Rogoway, T. (2016b). The alarming case of the USAF's mysteriously missing unmanned combat air vehicles. *The Drive – The War Zone*. Retrieved from <https://www.thedrive.com/the-war-zone/3889/the-alarming-case-of-the-usafs-mysteriously-missing-unmanned-combat-air-vehicles>. Accessed April 15, 2021
- Rogoway, T. (2017). DARPA's "flying missile rail" seems to be more about manufacturing than combat. *The Drive – The War Zone*. Retrieved from <https://www.thedrive.com/the-war-zone/14161/darpas-flying-missile-rail-seems-to-be-more-about-manufacturing-than-combat>. Accessed April 15, 2021
- Scharre, P. (2016). Autonomous Weapons and Operational Risk. *Center for a New American Security*. Retrieved from <https://www.cnas.org/publications/reports/autonomous-weapons-and-operational-risk>. Accessed April 15, 2021
- Secretary of the Air Force Public Affairs (2020). AI copilot: Air Force achieves first military flight with artificial intelligence. *US Air Force News*. Retrieved from <https://www.af.mil/News/Article-Display/Article/2448376/ai-copilot-air-force-achieves-first-military-flight-with-artificial-intelligence/>. Accessed April 15, 2021
- Sharkey, M. (2016). Staying in the loop: human supervisory control of weapons, In Bhuta, Nehal, Beck, Susanne, Geiß, Robin, Liu, Hin-Yan, Kreß, Claus (Ed.) (2016) *autonomous weapons systems. Law, ethics, policy* (pp. 23-38). Cambridge University Press.
- Singer P. W. (2009). *Wired for war: the robotic revolution and conflict in the 21st century* Penguin.
- Sprenger, S. (2021). German defense minister vows to keep fighting for armed drones. *Defense News*. Retrieved from <https://www.defensenews.com/global/europe/2021/04/16/german-defense-secretary-vows-to-keep-fighting-for-armed-drones/>. Accessed April 15, 2021
- Stevenson, B. (2019). 'Loyal wingman' part of the future of air combat. *Aviation International News*. Retrieved from <https://www.ainonline.com/aviation-news/defense/2019-06-13/loyal-wingman-part-future-air-combat>. Accessed April 15, 2021
- Stillion, J. (2015). Trends in air-to-air combat. Implications for future air superiority. *Center for Strategic and Budgetary Assessments*. Retrieved from <https://csbaonline.org/research/publications/trends-in-air-to-air-combat-implications-for-future-air-superiority>. Accessed April 15, 2021

The Future of Life Institute (2015). Autonomous weapons: an open letter from AI & robotics researchers. Retrieved from <https://futureoflife.org/open-letter-autonomous-weapons-full-list/>. Accessed April 15, 2021

The War Zone Staff (2021). Air force eyes drones for adversary and light attack roles as it mulls buying new F-16s. *The Drive – The War Zone*. Retrieved from <https://www.thedrive.com/the-war-zone/38847/air-force-eyes-drones-for-adversary-and-light-attack-roles-as-it-mulls-buying-new-f-16s>. Accessed April 15, 2021

Tirpak, J. A. (2019). USAF's dogfight power curve. *Air Force Magazine*. Retrieved from <https://www.airforcemag.com/article/USAFs-Dogfight-Power-Curve/>. Accessed April 15, 2021.

Trevithick, J. (2018). The Russians are jamming us drones in syria because they have every reason to be. *The Drive – The War Zone*. Retrieved from <https://www.thedrive.com/the-war-zone/20034/the-russians-are-jamming-us-drones-in-syria-because-they-have-every-reason-to-be>. Accessed April 15, 2021

Trevithick, J. (2019b). USAF plans for its "skyborg" AI computer brain to be flying drones in the next two years. *The Drive – The War Zone*. Retrieved from <https://www.thedrive.com/the-war-zone/27067/usaf-plans-for-its-skyborg-ai-computer-brain-to-be-flying-drones-in-the-next-two-years>. Accessed April 15, 2021

Trevithick, J. (2020). General Atomics avenger drone flew an autonomous air-to-air mission using an AI brain. *The Drive – The War Zone*. Retrieved from <https://www.thedrive.com/the-war-zone/37973/general-atomics-avenger-drone-flew-an-autonomous-air-to-air-mission-using-an-ai-brain>. Accessed April 15, 2021

Trevithick, J. & Rogoway T. (2019). B-21s with air-to-air capabilities drones, not 6th gen fighters to dominate future air combat. *The Drive – The War Zone*. Retrieved from <https://www.thedrive.com/the-war-zone/29690/b-21s-with-air-to-air-capabilities-drones-not-6th-gen-fighters-to-dominate-future-air-combat>. Accessed April 15, 2021

Trevithick, J. & Rogoway T. (2021). Northrop Grumman reveals its "longshot" air-launched missile-toting drone concept. *The Drive – The War Zone*. Retrieved from <https://www.thedrive.com/the-war-zone/39199/northrop-grumman-reveals-its-longshot-air-launched-missile-toting-drone-concept>. Accessed April 15, 2021

U.S. Department of Defense (2012). *DOD Directive 3000.09, Autonomy in weapon systems*. Retrieved from <http://www.dtic.mil/whs/directives/corres/pdf/300009p.pdf>. Accessed April 15, 2021

United States Air Force (2009). *United States Air Force Unmanned Aircraft Systems Flight Plan 2009-2047*, United States Air Force Headquarters. Retrieved from <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a504096.pdf>. Accessed April 15, 2021

Van Creveld, M. (1991). *Technology and War. From 2000 B.C to the Present*. The Free Press.

Van Creveld, M. (2011). *The Age of Airpower*. PublicAffairs.

Wachs, L. (2020). The Latecomer: Germany's Debate on Armed Drones. *Royal United Services Institute*. Retrieved from <https://rusi.org/commentary/germany-politics-armed-drones>. Accessed April 15, 2021