

La evolución de las tecnologías hacia los cazas de 6^o generación

Por Alejandro Moresi.

Esta publicación, proveniente de la revista argentina Pucará, ha sido autorizada por el Autor.

“Proficimus more irretenti” (progresamos cuando no nos aferramos a las costumbres) - Lema de la Escuela Táctica del Cuerpo Aéreo del ejército de los EE.UU.



Acerca de las diferentes generaciones de cazas.

Este concepto de generaciones de cazas será aplicado en este ensayo a los aviones de caza con motor a reacción, una breve introducción a las distintas generaciones de aeronaves permitirá dar contexto a la definición propuesta:

1. **1ra. Generación:** es la de los primeros cazas con motores a reacción, la aerodinámica comenzó con alas rectas y los más modernos de la época ya mostraban configuraciones en flecha, llegando algunos modelos a poder romper la barrera del sonido ejecutando picadas con ángulos superiores a los 60°, los comandos de vuelo a cable son paulatinamente reemplazados por comandos hidráulicos rudimentarios que exigen mayor fineza al pilotaje. En armamentos se muestran armas axiales de alto calibre, aparecen los primeros misiles infrarrojos y se pueden ver versiones con radares de telemetría.

Las miras para lanzamiento de armas podían ser fijas y la más modernas denominadas móviles, poseían un giróscopo que ayudaba a predecir el punto a apuntar con alto número de gravedades en combate. Algunos representantes de esta generación pueden ser del Messerschmitt Me-262 o el Gloster Meteor, al North American F-86 Sabre, el MiG-19 y nuestro Pulqui II, entre otros.

2. 2da. Generación: se caracterizó por la capacidad supersónica, surgida de la integración de un estatorreactor a continuación de la turbina, estos ingenios producen un segundo quemado del aire expedido, dando un porcentaje de impulso adicional que, sumado a configuraciones aerodinámicas de alas en delta o planos de diedro negativo y perfiles aerodinámicos muy delgados, les permitía alcanzar velocidades supersónicas en vuelo recto y nivelado.

Estas aeronaves se diseñaron con el objetivo de poder interceptar a los bombarderos estratégicos de gran altitud y su aviónica, si bien más moderna que la 1ra generación, estaba adaptada fundamentalmente al vuelo supersónico mediante el empleo de comandos electro-hidráulicos, orientadas a generar ayudas al pilotaje y sistemas que amortigüen el pasaje de subsónico a supersónico y viceversa.

En su capacidad de combate, comienza a aparecer el concepto de interceptor todo tiempo, ya que podían operar y lanzar sus armas tanto en condiciones diurnas como nocturnas e incluso volar en condiciones meteorológicas marginales^[1], es por ello que su aspecto más destacado es la presencia de radares de onda continua, que permitían el lanzamiento de misiles semiactivos^[2] (R-530, Sky Flash, Sparrow, entre otros).

Los primeros sistemas computarizados de vuelo ya son parte de esta generación, con inerciales, computadores de datos de aire y la aparición del Head Up Display, un dispositivo de asistencia al piloto que, sumado a los nuevos ingenios, permite mayor precisión en las navegaciones y en el lanzamiento de armas, donde los errores circulares promedio de los escuadrones de cazabombarderos (CEP) se reducen de 40 mrd a valores inferiores a 14 mrd, con lo cual el esfuerzo de guerra decremента sus costos de manera significativa.

Algunos representantes de esta generación pueden ser el Lockheed Martin F-104 Starfighter, la familia Dassault Mirage III, Convair F-106 Delta Dart, el McDonnell Douglas F-4 Phantom , el MiG-21 y otros modelos.



3. **3ra. Generación:** Esta generación se caracteriza por incorporar saltos tecnológicos que dan origen al concepto de multirol[3] en las capacidades del grupo motopropulsor, permite alcanzar relaciones de peso-empuje superiores a 1[4], parte de esta capacidad se debe a los progresos en materiales compuestos que reducen el peso de las aeronaves y permiten llevar la resistencia de las células en el combate aéreo a valores del orden de 9 G's (gravidades).

El sistema computarizado avanzó en la simplificación de pilotaje y en la precisión de la navegación, con la aparición de inerciales lásericos integrados con información de posicionamiento satelital (GPS), una tecnología basada en capacidades espaciales que otorgan altos niveles de precisión tanto para la navegación como para el lanzamiento de armas, donde los radares de estado sólido, pulsados con Doppler, logran un efecto de mejora en las imágenes (*sharpening*[5]), permitiendo designar blancos por radar, siendo también posible hacerlo por video, láser, infrarrojo, en el último período con la estandarización del protocolo 1760[6], incluso cambiar las coordenadas GPS de los blancos preseleccionados en las denominadas bombas JDAM[7].

Los comandos eléctricos (Fly by Wire[8]), también fruto de los avances en computación, han permitido incluso el adecuado control de vuelo de aeronaves aerodinámicamente inestables, permitiendo una serie de maniobras hasta estos momentos poco compatibles con la aerodinámica tradicional, también han sido de amplia aplicación en la aviación comercial y general. Algunos representantes de esta generación son: el Lockheed Martin F-16 Fighting Falcon, el Boeing F-15 Eagle; el MiG-29 y el Dassault Mirage 2000.

4. **4ta. generación:** esta generación se ha caracterizado por la mayor reversión de carga de trabajo en la cabina de vuelo, simplificando el pilotaje y poniendo el foco en el control situacional (situation awareness [SA] [9]).

En esta generación la tecnologías de las comunicaciones son la que producen el salto principal, donde las plataformas aéreas trabajan como una red WAN entre todos los integrantes de la misión, completamente integrados con los aviones de apoyo, vigilancia y reconocimiento y como parte de un concepto de network centric warfare (NCW)[10], a través de la optimización de

sistemas como el Data Link, permitiendo optimizar la interoperabilidad entre sistemas de iguales características y también la interacción con otros sistemas.

Los avances en los sistemas moto-propulsores presentan las características de empuje vectorial, sistema que admite que las toberas de escape adquieran ángulos que permiten maniobras mucho más cerradas sin incrementar las gravedades requeridas de manera convencional. Los armamentos van hacia misiles Aire -Aire y Aire Superficie con mayor radio de acción, menor posibilidad de interferencia y capacidades de navegación autónoma.

Finalmente, en estos aviones ya pueden encontrarse algoritmos avanzados de selección de armas en relación con los blancos y el empleo de contramedidas y contra-contra medidas electrónicas. Algunos representantes de esta generación son: el Gripen NG, el Dassault Rafale, Eurofighter Typhoon, el MiG-30 al 35 y el Sukhoi Su-27.

5. 5ta. Generación: es la que domina en la actualidad, en ella se aprecian los máximos niveles de desarrollo de todas las tecnologías aeroespaciales previas, apenas un puñado de aeronaves son producidas solo por tres potencias (EE.UU., Rusia y China), esta generación sin bien conjuga la sublimación de todas las tecnologías presentadas en este ensayo, se puede afirmar que aún no ha madurado tecnológicamente como generación.

El salto de esta generación vino de la mano de la furtividad al radar convencional y el empleo de armamentos en una bahía interior que se opera de manera imperceptible para evitar delatar su presencia y de la excelente capacidad de diseño e incremento de los grupos moto-propulsores, permitiendo hacer realidad algo aún no logrado de manera completa: el concepto de *super-crucero*. Su representante más sólido es el Lockheed Martin F-22 Raptor, el primero en entrar en servicio operacional.

La contrapartida de este es el Lockheed Martin F-35 Lightning II, un modelo destinado a la venta internacional, con versiones de uso aeronaval y una de aterrizaje vertical, que ha presentado múltiples problemas tanto en el país del fabricante como en muchos de sus compradores internacionales.



En el sitio <https://www.defensenews.com/smr/hidden-troubles-f35> puede encontrarse una compilación bastante completa con referencia a este aspecto (Defences News, s.f.). Los otros miembros de este selecto grupo son mucho menos conocidos en sus detalles, pero respetan las características salientes de esta generación, ello son: el Shenyang J-35 (en desarrollo) y el Chengdu J-20 chinos y el Sukhoi Su-57 Felon ruso, estos dos últimos ya en servicio limitado.

Los cazas de la sexta generación.

La quinta generación de cazas ha despertado en muchas potencias y organizaciones internacionales la posibilidad de producir un salto que de alguna manera pretendería dejar a la quinta generación como un mero pasaje entre la cuarta y la sexta, apareciendo una serie de requerimientos tecnológicos en diferentes estados de madurez, algunos ya presentes en cazas de quinta generación y otros en los cuales las tecnologías de base aún deben madurar desde la frontera del conocimiento en la cual se encuentran, por lo cual en algunos casos parecieran de ciencia ficción.

Se han explorado requerimientos genéricos que involucran a la Unión Europea, la Fuerza Aérea de los EE.UU., el Reino Unido de Gran Bretaña, la República Popular China, así como algunos análisis de publicaciones especializadas, de donde surge un listado de capacidades o requerimientos generales, donde algunos de los detectados hasta el momento son:

1. Volar de manera tripulada y/o no.
2. Poseer capacidad de sigilo.
3. Desarrollar velocidades hipersónicas y volar en el espacio cercano a la tierra.
4. Mutar su forma en vuelo, pudiendo alcanzar amplios rangos de acción, desde emplear velocidad hipersónica a mantenerse en estación por largos períodos de tiempo, para ello empleará motores reajustables para velocidad o persistencia.

5. Incorporar nuevas tecnologías de control de vuelo (fly-by-wireless, fly-by-optics, power-by-wire).
6. Operar con armas de nueva generación.
7. Controlar y comandar operaciones de guerra en enjambre.
8. Volar en “súper-crucero”.
9. Poseer elevados factores de supervivencia.



Evolución de las tecnologías concurrentes.

Los requerimientos generales o capacidades de la sexta generación pueden implicar una o varias tecnologías concurrentes para cada caso. La denominada 4ta revolución industrial poseerá un impacto de consideración para esta generación de aeronaves, particularmente las tecnologías referidas a Inteligencia Artificial (IA), computación cuántica, nanotecnología y robótica. Sobre la base de lo establecido en el título anterior se tratará de establecer el estado del arte y la evolución que se podría esperar en cada caso.

1. **Volar de manera tripulada y/o no, “súper-crucero”:** en el estado del arte actual, existen aeronaves tripuladas que mediante una modificación pueden ser voladas sin piloto presente en cabina, en general son para vuelos sencillos y el comando es ejercido a distancia. Por otra parte, programas del tipo *Loyal wingman* (Navarro García, 2021) australiano buscan generar numerales no tripulados basados en drones de combate.

Lo más avanzado en la materia quizás sea el programa de DARPA ACE (Air Combat Revolution) que tecnológicamente implica: (1) Aumentar el rendimiento de la autonomía del combate aéreo en aviones individuales y tácticos en equipo; (2) Construir y calibrar la confianza en los comportamientos en combate aéreo; (3) Escalar el rendimiento en comportamientos globales con varios tipos de aviones heterogéneos; (4) Construir infraestructura para la experimentación de combate aéreo a gran escala. (Hefron, s.f.)

De las varias tecnologías se destacarán los desarrollos en inteligencia artificial (IA)[\[11\]](#) no solo como parte del vuelo no tripulado, sino también como compañero de vuelo del piloto, ya que esta capacidad implica un comportamiento distinto en vuelo no tripulado (similar a loyal wingman) y otro para el tripulado, donde la IA debe ser entrenada con el piloto al mando durante vuelos reales y simulados que permitan conformar equipos de trabajo aptos para manejar un escenario como el que propone John Clark, actual líder de Skunk Works:

En los próximos años, creando nuevos escuadrones totalmente diferentes a los actuales que estarán formados por pilotos humanos y grandes constelaciones de aviones pilotados por inteligencia artificial, totalmente independientes y con objetivos específicos en cada misión. Su plan, aseguran, les permitirá mantener una supuesta superioridad aérea incontestable contra potencias tradicionales como China y Rusia, pero también contra enemigos modestos equipados con grandes cantidades de misiles tierra-aire portátiles y drones baratos. (Diaz, 2022)

Un aspecto tecnológico a resolver es la reversión de cabina, hoy conocido pero que aún debe desarrollarse industrialmente. Las necesidades del vuelo tripulado y no tripulado son diferentes en el tipo de requerimientos de diseño y construcción. El tripulado requiere aviónica, comandos de vuelo interfase hombre máquina y asientos eyectables, mientras que el no tripulado exige comandos de control y telemetría. Las diferencias de volumen para instalar unos y otros es apreciable, siendo menor en el segundo caso, lo que permite su empleo, por ejemplo, para aumentar de manera sensible la autonomía.

Los aspectos aquí volcados involucran también las tecnologías críticas para cumplir con los requerimientos de poder navegar en “súper-crucero”[\[12\]](#). De cumplirse todos los aspectos descriptos, la capacidad de supervivencia también se verá incrementada más allá de las posibilidades que en este sentido otorguen las armas de energía dirigida.

2. Poseer capacidad de sigilo y supervivencia: el estado del arte en la materia posee en la actualidad un elevado grado de desarrollo orientado a la evasión de radares convencionales. En el futuro, con la computación cuántica, no sólo se desarrollarán sistemas de vuelo más complejos, sino que radares de vigilancia basados en este tipo de tecnología probablemente analicen la evolución de los flujos atmosféricos, con lo cual este tipo de invisibilidad desaparecería o poseería la característica de imitar a otros. No obstante, el sigilo puede también basarse en la capacidad de mimetizarse con el medio ambiente, desapareciendo de la vista[\[13\]](#) en cuestiones relacionadas a emisión de calor y radiación electromagnética, ya hoy se aprecian aplicaciones varias.

En tal sentido, con buen nivel de desarrollo los denominados IRST (Infrared Search and Tacking), como sistemas auxiliares para la localización y traqueo de posibles blancos, con la ventaja de ser pasivos, les permitirá en el futuro poseer capacidades similares a las de un radar, pero de manera totalmente pasiva.



3. Desarrollar velocidades hipersónicas y vuelo trans-atmosférico: el estado del arte en la materia se encuentra en un estado de desarrollo preliminar con los denominados *scramjets* [\[14\]](#). Actualmente proyectos como *ATREX (Air-Turbo Ramjet EXpander-cycle)*, es un turbo estado-reactor de ciclo expansivo, experimental de ciclo variable del tipo de los turbo-estado-reactores, ideado para vuelo trans-atmosférico a muy alta velocidad, del orden de Mach 6 o superior. El proyecto tiene como objetivo validar en vuelo algunas de las tecnologías clave de vuelo hipersónico (hasta Mach 8) trans-atmosférico de empleo en aviones y cápsulas espaciales y jets hipersónicos también para transporte comercial y civil (Sato, Tanatsugu, Hatta, & Goto, 2001).

En el estado del arte, el desarrollo y avance tecnológico son concurrentes con el requerimiento en el aspecto de vuelo hipersónico y trans-atmosférico. Dicho requerimiento también solicita que pueda “mutar su forma en vuelo”, “transformarlo”, pudiendo alcanzar amplios rangos de acción y emplear velocidad hipersónica o bien mantenerse en estación por largo períodos de tiempo, cambiando velocidad por persistencia, a través de motores “reajustables”, cuyo desarrollo no solo tiene que ver con la tecnología de propulsión, sino que debe incorporar un desarrollo de la configuración aerodinámica, ya que estar en estación requiere planos rectos de gran alargamiento y bajos *números de Reynolds* para altos niveles de sustentación, mientras que la configuración hipersónica requiere de alas delta de más de 80° de flecha.

Estas incompatibilidades deberán ser resueltas aplicando tecnologías con materiales compuestos y diseños aerodinámicos de avanzada, entre otros.

4. Incorporar nuevas tecnologías de control de vuelo (fly-by-wireless, fly-by-optics, power-by-wire): el área de comandos de vuelo quizás posea uno de los cambios operativos más significativos en el peso de las aeronaves. El desarrollo de este aspecto pasó de comandos mecánicos a hidráulicos y de estos a los electro hidráulicos y actualmente los comandos de cable y computadora (fly by wire). Cada generación mejoró capacidad, redujo peso y lo que se espera del futuro es que los comandos se manejen por fibra óptica o sin cables, lo cual es un desafío para la compatibilidad electromagnética y la redundancia, pero también significa la reducción de varios cientos de kilogramos de cables y computadores que pueden convertirse en carga portante o capacidad de combustible.

5. Operar diferentes tipos de Armas: las armas aerotransportadas en la actualidad presentan una amplia panoplia de opciones Aire-Aire, que van desde el tiro de cañón (250 a 600 metros), y con los misiles de corto a largo alcance se cubre el rango de los 900 metros a los 250/300 kilómetros.

En lo que hace a armamentos Aire-Superficie, se pueden emplear desde bombas de propósitos generales (vuelo balístico), bombas de sub-munición y rompe-pistas de variados pesos, que pueden ser equipadas con kits de precisión basados en apuntadores láser, infrarrojos o por información de posicionamiento satelital, a misiles anti-buque, anti-radiación, antitanque, antipersonales, incluidos misiles de tipo crucero. (USAF, s.f.)

Todos estos sistemas requieren de designadores, el principal actualmente es el radar de barrido electrónico^[15], otros sensores que emplean diferentes tecnologías (IR, Láser, GPS), como fuera descrito en la ML-STD 1760 (Excalibur Systems, s.f.), permitieron un paso avanzado en este sentido donde podría casi hablarse en un *plug and play* de armas y sensores.

En el futuro caza se espera que todas estas tecnologías se encuentren integradas y puedan controlar armas de nueva generación, como son las de energía dirigida y de efecto controlable^[16]. Si bien hoy existen sistemas de abordaje antimisil basados en láser para encguecer los auto-directores de los misiles atacantes, los niveles requeridos para los cazas de sexta generación necesitan de avances de consideración en áreas como generación de energía, demanda actualmente lejos de ser satisfecha en los cazas más modernos.

En el caso de las municiones de efecto variable, hoy ya podemos encontrar misiles como el *Helfire RX9* (Foreman, 2022) de muy alta precisión que solo emplea el efecto cinético, pero lo que solicita este aspecto es poder producir efectos, como por ejemplo atontar al piloto con un pulso electromagnético o generar pérdidas de potencia, sin llegar a derribos en los casos de combate aéreo o interceptación. Respecto de las armas hipersónicas (Tiwari, 2022), hoy no se ha podido comprobar de manera fehaciente, tal sería el caso de los misiles *Kinzal* rusos lanzados desde el MiG-31K. (Aljazeera, 2022)



6. Controlar y comandar operaciones de guerra en enjambre: este es otro de los aspectos más sobresalientes de las capacidades requeridas a la futura generación y que mayor desarrollo requerirá en tecnologías como IA, computación cuántica tecnologías de la información, las mismas deberán asociarse adecuadamente para lograr una correcta evaluación en tiempo real de la situación operacional, a la vez que se concibe un adecuado análisis de *targeting* y *weaponeering*^[17] para establecer la mejor configuración de enjambre que permita alcanzar el efecto deseado, si bien como fuera expuesto en el punto 1, ya existen desarrollos en tal sentido.

El aspecto más condicionante será definir y establecer en tiempo real el comportamiento de enjambres de diferente naturaleza; hoy se piensa en drones de los denominados UCAV^[18], pero es probable que drones de transporte y acompañamiento posean pequeños drones para trabajar en enjambres contra diferentes tipos de blancos o acciones de saturación. Ello requerirá de un fuerte desarrollo de capacidades de comando y control, de numerosos móviles en tiempo real y capacidad de redireccionar la misión.

Conclusiones.

La tecnología será el factor clave para el desarrollo de los cazas de la nueva generación, los requerimientos que a veces parecen de ciencia ficción, en realidad se basan sobre capacidades tecnológicas incipientes en la frontera del conocimiento, pero cuya prospección permite entrever la posibilidad de su disposición en un futuro próximo.

El objetivo del ensayo se ha cumplido en la medida que cada requerimiento de base ha sido contrastado con el estado del arte y se intentó establecer la posible evolución de las principales tecnologías asociadas a la concreción de las mismas.

La incesante búsqueda de “Ir más alto, más lejos y más rápido”, se nutre y alimenta de la certeza de que: “Domina tu cielo y poseerás la tierra”^[19]



Bibliografía:

- Aljazeera. (18 de ago de 2022). *russia-says-it-moved-hypersonic-missiles-to-kaliningrad-region*. Obtenido de <https://www.aljazeera.com>:
<https://www.aljazeera.com/news/2022/8/18/russia-says-it-moved-hypersonic-missiles-to-kaliningrad-region>
- Bae Systems. (s.f.). *Qué son los sistemas fly-by-wire?* Obtenido de <https://www.baesystems.com>: <https://www.baesystems.com/en-us/definition/what-are-fly-by-wire-systems>
- Defences News. (s.f.). *hidden-troubles-f35/*. Obtenido de <https://www.defensenews.com>:
<https://www.defensenews.com/smr/hidden-troubles-f35/>
- Diaz, J. (25 de jul de 2022). *El gran cambio de los futuros escuadrones de combate de EEUU*. Obtenido de <https://www.elconfidencial.com>:
https://www.elconfidencial.com/tecnologia/novaceno/2022-07-13/eeuu-lockheed-martin-skunk-works-top-gun_3460473/
- Domínguez, C., Vidulich, M., Vogel, E., & McMillan, G. (1994). *Conciencia de la situación. bibliografía comentada. Laboratorio Armstrong, Centro del Sistema Humano, ref. AL/CF-TR-1994-0085*. Edwards, CA.
- Ecured. (s.f.). *supercrucero*. Obtenido de <https://www.ecured.cu>:
<https://www.ecured.cu/Supercrucero>
- Endsley. (1998). *Un análisis comparativo de SAGAT y SART para evaluaciones de conocimiento de la situación*. Santa Mónica,, CA:, EEUU: Sociedad de factores humanos . *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 42nd Annual Meeting*. Obtenido de https://skybrary.aero/articles/situational-awareness#cite_note-1
- Excalibur Systems. (s.f.). *MIL-STD-1760*. Obtenido de <https://www.mil-1553.com>:
<https://www.mil-1553.com/mil-std-1760>
- Foreman, T. (4 de Ago de 2022). Obtenido de <https://edition.cnn.com>:
<https://edition.cnn.com/videos/us/2022/08/04/flying-ginsu-hellfire-missile-foreman-newday-vpx.cnn>
- Gladwell, M. (2022). *El clan de los bombarderos*. BsAs: Taurus.

- Güiraldes, J. J. (1979). El poder Aéreo de los Argentinos . En J. J. Güiraldes, *El poder Aéreo de los Argentinos* (pág. 210). Buenos Aires : Círculo de la Fuerza Aérea.
- Hefron, L. C. (s.f.). *Air-combat-evolution*. Obtenido de <https://www.darpa.mil>:
<https://www.darpa.mil/program/air-combat-evolution>
- Law Insider. (s.f.). *UCAV*. Obtenido de <https://www.lawinsider.com>:
<https://www.lawinsider.com/dictionary/unmanned-combat-aerial-vehicle-ucav>
- Moresi, A. (2011). LOS ÁMBITOS NO TERRESTRES EN LA GUERRA FUTURA: AEROESPACIO. En CESEDEN, *LOS ÁMBITOS NO TERRESTRES EN LA GUERRA FUTURA: ESPACIO* (pág. 57 169). Madrid: Ministerio de Defensa de España. Obtenido de https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/m/o/monografia_128.pdf
- Navarro García, J. (12 de mar de 2021). *loyal-wingman-avion-no-tripulado-escoltara-cazas-australianos*. Obtenido de <https://www.defensa.com>: <https://www.defensa.com/africa-asia-pacifico/loyal-wingman-avion-no-tripulado-escoltara-cazas-australianos>
- Pachón, & Baron, R. (ene de 2012). *PROPULSION AIR-BREATHING, SCRAMJET*. Obtenido de <https://www.researchgate.net>:
https://www.researchgate.net/publication/348849210_PROPULSION_AIR-BREATHING_SCRAMJET
- PEN 457/21 DPDN. (2021). *Directiva Política de Defensa Nacional (DPDN 2021)*. BsAs: Boletín Oficial.
- Pintado Rodríguez, C. (20 de oct de 2018). *Armas de energía dirigida: del mito a la realidad*. Obtenido de <http://www.uajournals.com>: <http://www.uajournals.com/cisdejournal/journal/6/3.pdf>
- Radar Tutorial. (s.f.). *Doppler Beam Sharpening*. Obtenido de <https://www.radartutorial.eu>:
<https://www.radartutorial.eu/20.airborne/ab05.en.html>
- RT. (23 de dic de 2015). *El lado oscuro de los cazas de sexta generación de EE.UU*. Obtenido de <https://actualidad.rt.com>: <https://actualidad.rt.com/actualidad/195052-caza-sexta-generacion-eeuu-retos>
- Sato, Tanatsugu, Hatta, & Goto. (abr de 2001). *Development study of the ATREX engine for TSTO spaceplane*. Obtenido de <https://www.researchgate.net>:
https://www.researchgate.net/publication/269218768_Development_study_of_the_ATREX_engine_for_TSTO_spaceplane
- Tiwari, S. (1 de may de 2022). *1st-fighter-jet-to-host-hypersonic-missiles-us-air-force/*. Obtenido de <https://eurasianimes.com>: <https://eurasianimes.com/1st-fighter-jet-to-host-hypersonic-missiles-us-air-force/>
- USAF. (12 de nov de 2021). *TARGETING*. Obtenido de <https://www.doctrine.af.mil>:
https://www.doctrine.af.mil/Portals/61/documents/AFDP_3-60/3-60-AFDP-TARGETING.pdf
- USAF. (s.f.). *NAVEDTRA 14014A Ch. 9 Aircraft Ordnance*. Obtenido de https://www.usna.edu/Training/_files/documents/References/2C%20MQS%20References/NAVEDTRA%2014014A%20Ch.%209%20Aircraft%20Ordnance.pdf
- weaponeering. (s.f.). Obtenido de <http://www.weaponeering.com>:

<http://www.weaponeering.com/>

[1] Ello estaba asociado con el nivel de adiestramiento de los pilotos y las ayudas en tierra, como radares de control de aproximación GCA (Ground Control Approach), en general exigían un pilotaje mucho más pulido que sus generaciones precedentes porque su aerodinámica adaptada

al vuelo supersónico no era adecuada en bajas velocidades para la aproximación y aterrizaje, exigiendo altas velocidades y elevados ángulos de ataque en esta fase del vuelo.

[2] El concepto de misil semiactivo se debe a que el misil se monta sobre la onda del radar que mantiene el blanco “enganchado” y hasta el momento en que la espoleta del misil detecta el blanco y detona el mismo.

[3] Multi-rol, son plataformas aéreas de combate que pueden ser empleadas como interceptores o caza bombarderos indistintamente.

[4] El caso más emblemático lo constituye el Boeing F-15 Eagle cuya relación peso-empuje superior a 1,6.

[5] La nitidez del haz Doppler es un método para procesar los retornos de radar recibidos en imágenes de radar. Hoy en día, es un modo de escaneo aéreo, que depende del ángulo y distancia, en el que los ecos del haz real de escaneo son [Doppler](#) y son procesados para producir una mayor resolución de rango cruzado que la proporcionada por el haz real solo. (Radar Tutorial, s.f.)

[6] MIL-STD-1760 Aircraft/Store Electrical Interconnection System define una interfaz eléctrica estandarizada entre una aeronave militar y sistemas de armamento y cargas portantes. (Excalibur Systems, s.f.)

[7] Bombas JDAM: es un arma aire-superficie guiada que utiliza la familia de bombas de propósito general MK (de 500 a 2000 libras) como carga útil de armas aire-superficie precisas contra objetivos fijos y reubicables de alta prioridad desde aviones de combate y bombarderos. La guía se facilita a través de un sistema de control de cola y un INS asistido por GPS. El sistema de navegación se inicializa mediante la transferencia de alineación desde la aeronave que proporciona vectores de posición y velocidad desde los sistemas de la aeronave.

[8] Los sistemas de control de vuelo mecánicos e hidro-electromecánicos tradicionales utilizan una serie de palancas, varillas, cables, poleas y más, que los pilotos mueven para ajustar las superficies de control a las condiciones aerodinámicas. Su diseño "práctico" les da a los pilotos una sensación táctil directa de cómo el avión maneja las fuerzas aerodinámicas mientras vuela. Por otro lado, los sistemas mecánicos también son complicados de operar, necesitan un monitoreo constante, son pesados y voluminosos y requieren un mantenimiento frecuente. El fly-by-wire es electrónico, más liviano y menos voluminoso que los controles mecánicos, ello permite aumentar la eficiencia del combustible y la flexibilidad del diseño de aeronaves, incluso en aeronaves heredadas. Y para evitar fallas críticas de vuelo, la mayoría de los sistemas fly-by-wire también tienen respaldos de redundancia triple o cuádruple incorporados (Bae Systems, s.f.).

[9] **SA**: es la percepción de los elementos del entorno dentro de un volumen de tiempo y espacio, la comprensión de su significado y la proyección de su estado en un futuro próximo (Endsley, 1998, págs. 82-86). Debe incluir los siguientes cuatro elementos específicos: (1) Extraer información del entorno; (2) Integrar información con el conocimiento interno relevante para crear una imagen mental de la situación actual; (3) Emplear esta imagen para dirigir una mayor exploración porcentual en un ciclo perceptivo continuo; (4) Anticipar eventos futuros (Domínguez, Vidulich, Vogel, & McMillan, 1994).

[10] **NCW: guerra centrada en la red**, es una doctrina militar o teoría de la guerra que busca traducir una ventaja de información, habilitada en parte por la tecnología de la información, en una ventaja competitiva a través de la sólida red informática de fuerzas dispersas geográficamente bien informadas. Fue iniciado por el Departamento de Defensa de los Estados

Unidos en la década de 1990. El término “guerra centrada en la red” describe ampliamente la combinación de tácticas, técnicas y procedimientos emergentes que una fuerza totalmente o incluso parcialmente conectada en red puede emplear para crear una ventaja decisiva en la guerra.

[11] Un aspecto interesante a revisar puede verse en

<https://www.defensa.com/industria/inteligencia-artificial-vence-pilotos-combate-usaf>

[12] Súper-crucero: Es la capacidad de una aeronave para mantener el vuelo supersónico a plena carga, de forma eficiente y sin usar la postcombustión. (Ecured, s.f.)

[13] Si bien no se ha conseguido un apoyo objetivo sobre el tema, es una realidad que aviones como el F-22 poseen un recubrimiento de piel y que los avances en nanotecnología, podrían hacer que el avión no requiera pintura, sino que directamente asuma el paisaje exterior como recubrimiento visual del mismo, a partir de sensores manipulados a través de computación cuántica, alcanzando un efecto camaleón.

[14] Es una variación de un estatorreactor con la distinción de que una parte o la totalidad del proceso de combustión se lleva a cabo supersónicamente. A mayores velocidades, es necesaria combustión supersónica para maximizar la eficiencia del proceso de combustión. Las proyecciones para la velocidad de un motor scramjet, sin aporte adicional de oxidante, varían entre Mach 12 y Mach 24 (velocidad orbital) (Pachón & Baron, 2012).

[15] Radar de Barrido Electrónico: es activo, también conocido como AESA (Active Electronically Scanned Array), es un tipo de radar de antenas en fase cuyo elemento transmisor y receptor del eco de la señal de radar enviada se compone de numerosos módulos independientes instalados en una superficie plana.

[16] Las armas de energía dirigida son aquellas capaces de transmitir energía en una dirección concreta sin usar un proyectil, pueden clasificarse en función del tipo de energía transmitida (ondas electromagnéticas, partículas atómicas o subatómicas). Actualmente, los esfuerzos se dirigen al desarrollo de los láseres de alta energía y las microondas de alta potencia. Si bien al comienzo acumularon fallos, su desarrollo se centra de momento en la autoprotección contra ataques de baja intensidad, ambas presentan suficientes avances para contemplar su uso operativo (Pintado Rodríguez, 2018)

[17] *Targeting & Weaponeering: se entiende por **targeting** al proceso de seleccionar y priorizar objetivos y hacer coincidir las respuestas adecuadas teniendo en cuenta los objetivos del mando, requerimientos y capacidades de los SArm, en un proceso sistemático, integral y continuo. Combinando los requisitos operativos, capacidades y limitaciones, el proceso de focalización identifica, selecciona y explota vulnerabilidades críticas dentro de los sistemas específicos para lograr el estado final deseado por los comandantes. La selección de objetivos es una función de comando que requiere la supervisión y participación del comandante para garantizar una correcta ejecución. No es competencia exclusiva de una especialidad o división, como inteligencia u operaciones, sino que combina la experiencia de muchas disciplinas. (USAF, 2021)- Se entiende por **weaponeering** como el proceso para determinar la cantidad de un tipo particular de arma requerida para lograr un nivel específico de daño en un objetivo considerando los efectos de la vulnerabilidad del objetivo, el mecanismo de daño de la ojiva, los errores de lanzamiento, el criterio de daño y la confiabilidad del arma. (weaponeering, s.f.)*

[18] Vehículo Aéreo de Combate No Tripulado (UCAV) es una aeronave militar no tripulada de cualquier tamaño que lleva y lanza un arma, o que puede usar tecnología a bordo para dirigir tal arma a un objetivo. (Law Insider)

[19] Lema del Comando Aeroespacial Conjunto EMCFFAA de la República Argentina

Santiago, 17 de julio de 2023