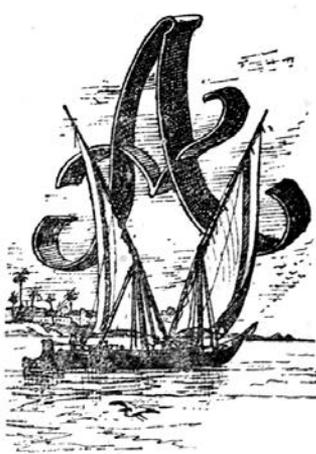


ASPECTOS A TENER EN CUENTA A LA HORA DE EVALUAR LA AMENAZA HIPERSÓNICA

Yago FERNÁNDEZ NOVO



Introducción



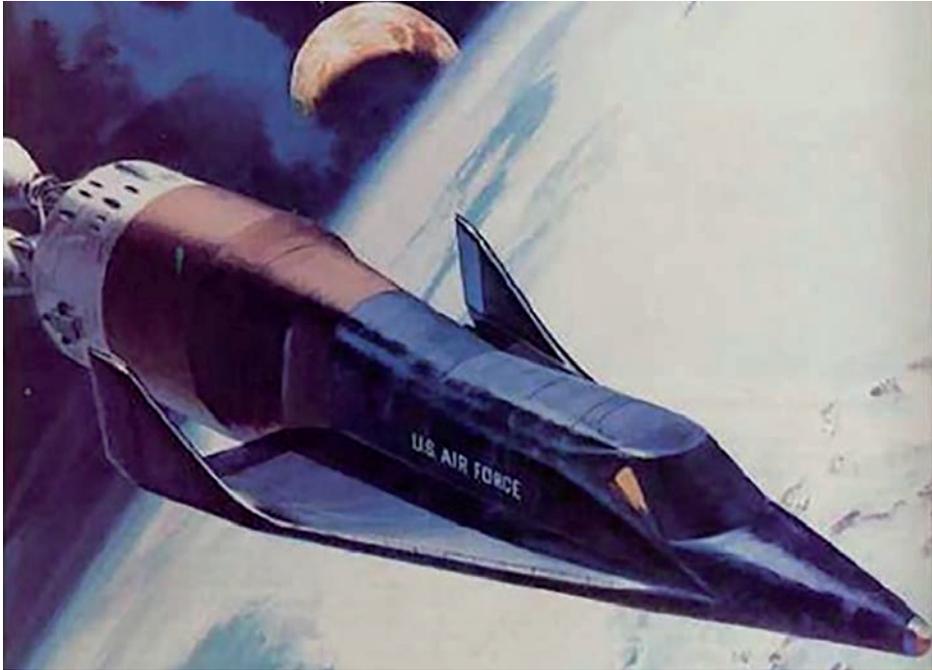
CTUALMENTE, grandes potencias como Estados Unidos, Rusia o China se encuentran en una batalla tecnológica por las ventajas de disponer de armamento que viaje a velocidad hipersónica. Con ese fin, estas naciones han decidido trasladar su competencia geoestratégica al campo de la investigación de las armas hipersónicas (Wats, Trotti & Massa, 2020).

Sin embargo, el término «hipersónico» puede llevar a confusiones a la hora de describir un grupo heterogéneo de sistemas de armas de los diferentes actores que dicen poseer esta capacidad (Brockmann & Markus, 2022).

A continuación, se expondrán las características técnicas de este tipo de misiles. Tras ello, se presentarán las limitaciones técnicas en cuanto a diseño, detección e interceptación de esta amenaza y, por último, se analizarán las consecuencias estratégicas de la aparición de esta clase de armamento.

Características y clasificación de la amenaza hipersónica

Los vehículos hipersónicos son aquéllos que viajan a una velocidad superior a Mach 5 (aproximadamente 3.300 nudos). Los límites superiores que alcanzan las armas hipersónicas están por encima de Mach 25 (16.670 nudos). Sin embargo, los condicionantes de las leyes físicas en ese rango de velocidad tienen diferentes implicaciones a la hora de clasificar los sistemas hipersónicos (Wats, Trotti & Massa, 2020).



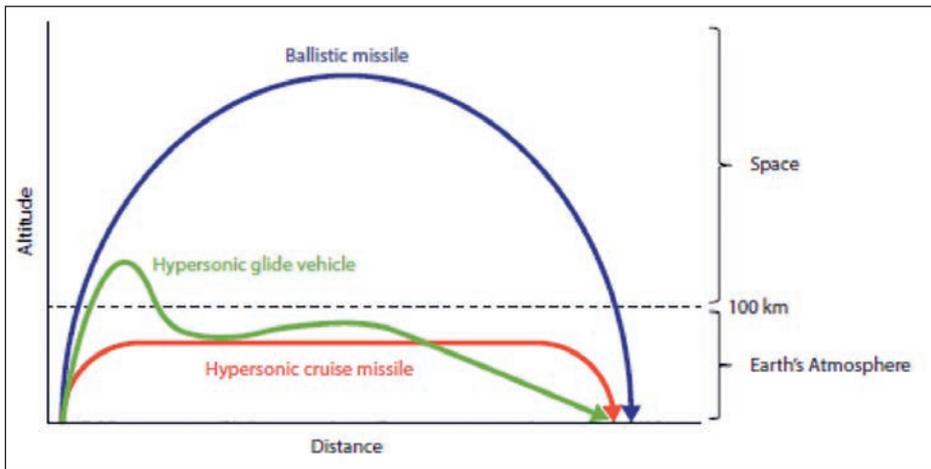
X-20 *Dyna-Soar*, desarrollo de vehículo hipersónico por la Fuerza Aérea de los Estados Unidos (USAF). (Fuente: DORR, 2018)

Los ingenieros llevan décadas intentando diseñar vehículos que sean capaces de alcanzar tales velocidades. Ya en la década de los años 30 del siglo xx, el austriaco Eguen Sänger y la alemana Irene Bredt proyectaron el primer *glider* hipersónico. Se trataba de un sistema que iba a ser lanzado por un cohete para volar dentro de los límites de la atmósfera gracias a la sustentación aerodinámica. Sin embargo, el Gobierno nazi no escogió desarrollar el proyecto porque era complejo y muy costoso de construir (Wright & Tracy, 2021).

Los descubrimientos de los Estados Unidos tras la Segunda Guerra Mundial le empujaron a investigar en armamento hipersónico durante las décadas de 1950 y 1960. Como resultado de ese proceso, se desarrolló el diseño del *glider Dyna-Soar*, un bombardero espacial con alcance mundial finalmente nunca construido. Dicho programa continuó en los 70 y en los 80, pero encontró limitaciones tecnológicas, especialmente respecto a la velocidad que podían alcanzar los diseños propuestos (Acton, 2015).

Por tanto, el desarrollo de este tipo de armamento no constituye una novedad en el ámbito militar. Además, desde mediados del siglo xx han existido

sistemas de armas capaces de alcanzar Mach 25: los misiles balísticos. Sin embargo, el cambio radical de las armas hipersónicas radica en la capacidad de maniobra durante todas las fases del vuelo, haciendo su trayectoria menos predecible (Aarten, 2020). Por ello, aparte de la velocidad que este tipo de armas puede alcanzar, habría que añadir otras dos condiciones para caracterizar a los misiles hipersónicos. En primer lugar, que en su trayectoria el arma transite, en su mayor parte, por las capas bajas de la atmósfera (inferiores a los 100 km de altura). En segundo lugar, el arma debe tener la capacidad de realizar maniobras en su trayectoria tanto en el eje vertical como en el horizontal (Brockmann & Markus, 2022).



Diferentes tipo de trayectorias de las armas hipersónicas. (Fuente: AARTEN, 2020)

La clasificación de los vehículos hipersónicos atendiendo al tipo de trayectoria de vuelo se pueden organizar en tres grandes grupos (Wats, Trotti & Massa, 2020):

- *Boost-Glider (HGV)*: se trata de armamento que emplea un motor cohete en su etapa inicial, que eleva a un planeador o *glider* hasta una órbita baja sobre la Tierra. Posteriormente, este *glider* ejecuta una maniobra de reentrada en la atmósfera hasta el objetivo deseado. Son capaces de alcanzar velocidades superiores a Mach 25 durante alguna fase de vuelo.
- *Airbreathing (HCMS)*: son sistemas cuyas trayectorias tienen lugar en las capas bajas de la atmósfera. Emplean un motor de combustión específico denominado *scramjet*. Este tipo de armas no son tan veloces como los *glider* y apenas han obtenido velocidades superiores a Mach 9.

TEMAS PROFESIONALES

- Artillería hipersónica: consiste en proyectiles que alcanzan velocidades hipersónicas. Todavía no se encuentran en fase operacional. Además, este tipo de sistema no se suele clasificar como arma hipersónica debido al menor alcance y a las velocidades inferiores que alcanza respecto a los dos anteriores. Los sistemas de cañón de riel son un ejemplo de esta clase de sistemas de armas.

Respecto a los retos físicos que deben superar los sistemas de armas hipersónicas, uno de los principales problemas a los que se enfrentan los investigadores es el del *drag*, es decir, la resistencia que un fluido (en este caso, el aire) ofrece a todo objeto que vuela a través de él.

El *drag* al cual debe vencer cualquier objeto moviéndose por el aire es función del cuadrado de la velocidad (Nichols & Carter, 2023):

$$D = \frac{1}{2} * Cd * \rho * A * (v^2)$$

donde:

D = drag soportado por el cuerpo del arma.

Cd = coeficiente de *drag*.

ρ = densidad del aire.

A = área de referencia (área frontal del misil).

v = velocidad relativa del misil en el aire.

Esto tiene implicaciones claras a la hora de estudiar la forma del objeto y las tensiones internas que un cuerpo necesita soportar para alcanzar dichas velocidades. Un *glider* que viaje a Mach 5 debe soportar una fuerza de oposición 25 veces superior a la de un misil transónico (Mach 1) (Wright & Tracy, 2021).

Otro problema que presentan las armas hipersónicas es la energía disipada por el misil durante su rozamiento con el aire. Esta energía es función también de la velocidad del vehículo:

$$H = f(v^3)$$

donde:

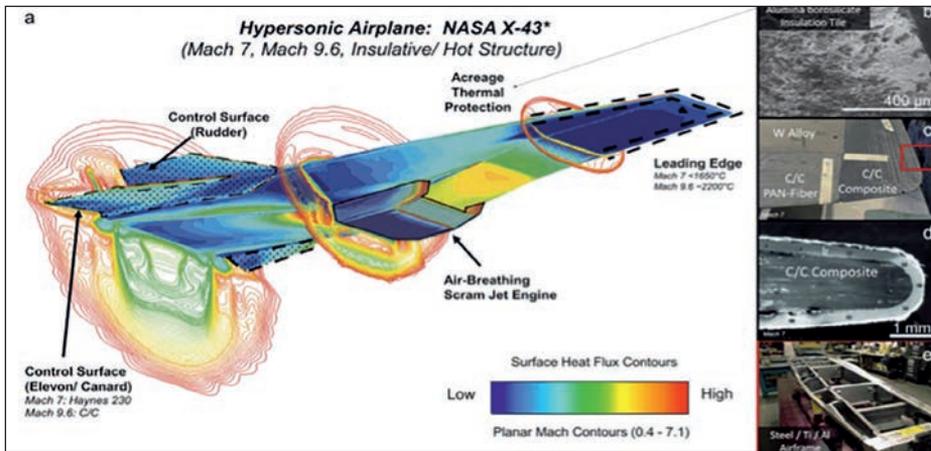
H = calor generado por la fricción del cuerpo con el aire.

v = velocidad del misil.

La energía disipada por el rozamiento con el aire es 125 veces superior a la que se produciría con un misil volando a Mach 1.

Por otra parte, el arma ha de tener una fuerza de sustentación L . Dicha fuerza genera también $drag$ D , por lo que uno de los parámetros de diseño para el desarrollo de este tipo de armas es la relación L/D o sustentación/ $drag$ generado. Por ende, los diseños deben intentar obtener un coeficiente lo más alto posible para conseguir la mayor sustentación sin generar $drag$.

Para poder aguantar las altas temperaturas del vehículo, así como las fuerzas durante las variaciones de trayectoria del arma, es necesario un estudio en tecnología de materiales y un diseño refinado de las formas del vehículo (Peters, 2023).



Modelo de temperatura sobre el avión hipersónico NASA X-43 (Fuente: PETERS, 2023)

Todos estos factores tienen consecuencias en cuanto a la detección y seguimiento de un misil hipersónico en vuelo. Por ejemplo, si éste disipa mucha energía, será muy visible en el espectro IR (infrarrojo) y podrá ser detectado antes. Incluso la capacidad de variación de la trayectoria tiene un impacto muy importante, tanto en el alcance máximo del arma, como en el tiempo de vuelo del misil. Una variación de la altura de vuelo aproximada de un 5 por 100 de la altura nominal, puede provocar que un cambio en la trayectoria de apenas 30° reduzca la velocidad del misil 1,3 Mach y disminuir su alcance máximo en torno a un 10 por 100 (Wright & Tracy, 2021) debido al cambio de densidad del aire.

Otra de las complicaciones de poner en servicio un misil que supere la velocidad de Mach 5 son los cambios físicos que sufren las variables de diseño en función de las diferentes capas de la atmósfera que atraviesa su trayectoria de vuelo (Brockmann & Markus, 2022).

Las variaciones de la temperatura a lo largo de la columna de aire atmosférica implican una variación de la velocidad del sonido en altura. Además,

cuanto mayor sea la altura de vuelo del misil, menor *drag* y menor fricción se generarán por la ausencia de gases. Por ello, es necesario tener en cuenta estas variaciones cuando el misil haya de seguir un perfil de vuelo que atraviese diferentes capas de la atmósfera. Los misiles que vuelen a una velocidad superior a Mach 1 crean ondas de choque por superar la velocidad del sonido. Éstas aumentan la presión y la temperatura del aire, que se ioniza alrededor del vehículo. Por ello, se forma plasma en torno al cuerpo del misil que interfiere las señales radáricas y disminuye su sección equivalente radar (RCS). Este efecto se hace especialmente visible a partir de Mach 10. La frecuencia de corte de una señal electromagnética para poder atravesar el plasma se define como:

$$f_c = 3 * 10^8 \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right) * T$$

donde:

f_c = frecuencia de corte.
 ρ/ρ_0 = ratio de densidad del gas.
 T = temperatura.

Por tanto, las frecuencias superiores a f_c serán las que sí puedan propagarse a través del plasma. Es por eso que, serán necesarias frecuencias inferiores a la f_c para que logren rebotar sobre el plasma formado y volver al receptor radar.

Al resolver estas ecuaciones para velocidades de Mach 20 se aprecia que las bandas de frecuencia de los radares que deberían detectar estas amenazas se encuentran en la banda alta de HF y en la parte baja de la banda de VHF (Lakshmi Harshitha & Baskaradas, 2022). Estas regiones del espectro electromagnético están altamente saturadas, dificultando la detección de este tipo de amenazas.

Para finalizar, existe otro problema físico para los sistemas hipersónicos del tipo *airbreathing* o HCMS. Las turbinas de gas empleadas actualmente en la aviación para propulsar los aviones no son eficientes cuando trabajan a velocidades hipersónicas. Por ello, es necesario que los misiles HCMS primero sean propulsados a velocidades cercanas a Mach 5 con motores cohete y luego empleen otro tipo de turbinas llamadas *scramjet*, especialmente diseñadas para trabajar en regímenes hipersónicos (Van Wie, 2021).

Estos sistemas se encuentran en desarrollo y en la actualidad son capaces de obtener velocidades superiores a Mach 6. Sin embargo, no son tan veloces ni tienen las propiedades de invisibilidad al radar de los *glider*, que vuelan a velocidades cercanas a Mach 20. También añaden un peso extra al vehículo al tener que portar varias etapas de propulsión para alcanzar las velocidades nominales para que el *scramjet* funcione. Esto implica menor volumen y reserva de peso para la carga explosiva de misil. Además, tienen graves

limitaciones de diseño por la dificultad de refrigerar las partes interiores del motor *scramjet*, por lo que la ingeniería de materiales y la disipación del calor son hoy todavía retos tecnológicos que perfeccionar.

	De 5 a 10 Mach	De 10 a 20 Mach	Nula RCS	Alcance	Carga del misil
HGV	Sí	Sí	Sí	+ 1.000 km	Gran capacidad
HCMS	Sí	No	No	150-1.000 km	Baja capacidad

Tabla resumen de las capacidades de los diferentes tipos de misiles hipersónicos

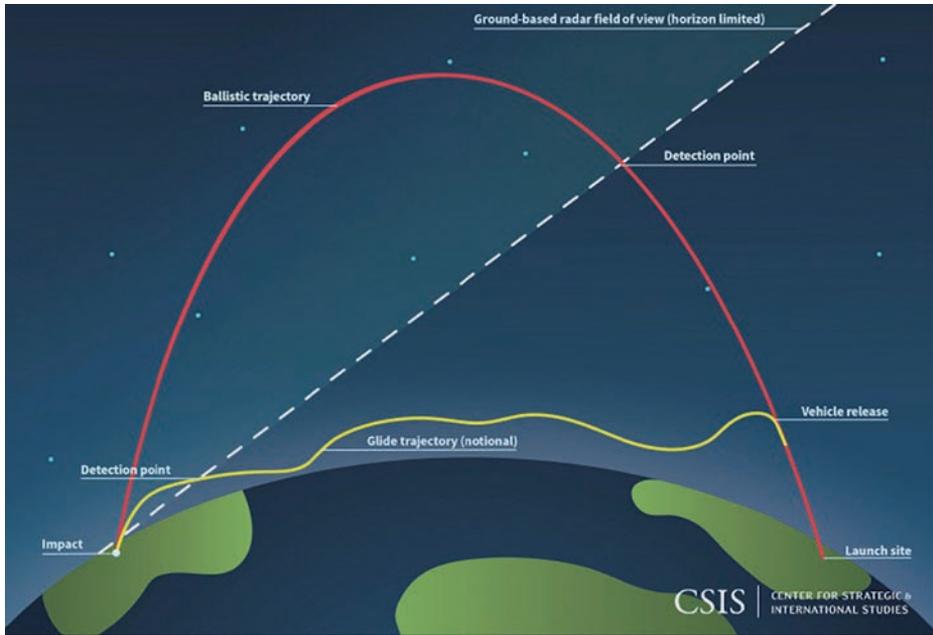
Detección y enfrentamiento de la amenaza hipersónica

Como se ha visto anteriormente, las leyes físicas que deben cumplir los misiles hipersónicos tienen consecuencias a nivel estratégico, operacional y táctico y son de especial importancia a la hora de diseñar un sistema de defensa antimisil hipersónico que, generalmente, está constituido por tres componentes (Fontana & Di Lauro, 2022):

- Los sensores que permiten la detección y el seguimiento de la amenaza.
- Un sistema interceptor para poder eliminar la amenaza.
- Un sistema de mando y control con el que se habilita la toma de decisiones con el fin de neutralizar la amenaza.

Para la detección es esencial disponer de los sensores adecuados que permitan actuar como *early warning*, además de llevar a cabo el *seguimiento* de la amenaza. Normalmente se emplean dos tipos de sensores: los radares y los satélites de observación infrarroja (IR) (Fontana & Di Lauro, 2022). Los satélites de observación suelen ser muy útiles para la detección del lanzamiento de una amenaza. Sin embargo, debido a su baja resolución, no pueden ser empleados para efectuar el seguimiento del misil. El radar, en cambio, se considera el medio más adecuado para dicho seguimiento y para el cálculo de su trayectoria. No obstante, presenta diferentes problemas físicos.

Uno de los factores más importantes a tener en cuenta, especialmente con una amenaza a alta velocidad que reduce los tiempos de reacción, es la detección de los misiles. Como se ha visto, para misiles con velocidades superiores a Mach 10, la posibilidad de emplear sistemas radáricos es reducida. Deberían desarrollarse nuevos sistemas de detección electromagnética en las bandas de frecuencias HF-VHF (Lakshmi Harshitha & Baskaradas, 2022). La cuestión radica en que el tamaño de la antena es inversamente proporcional a la frecuencia de transmisión, por lo que en dichas bandas el tamaño de las antenas sería demasiado grande.



Trayectoria de los misiles hipersónicos vs. horizonte radar. (Fuente: WILLIAM, 2020)

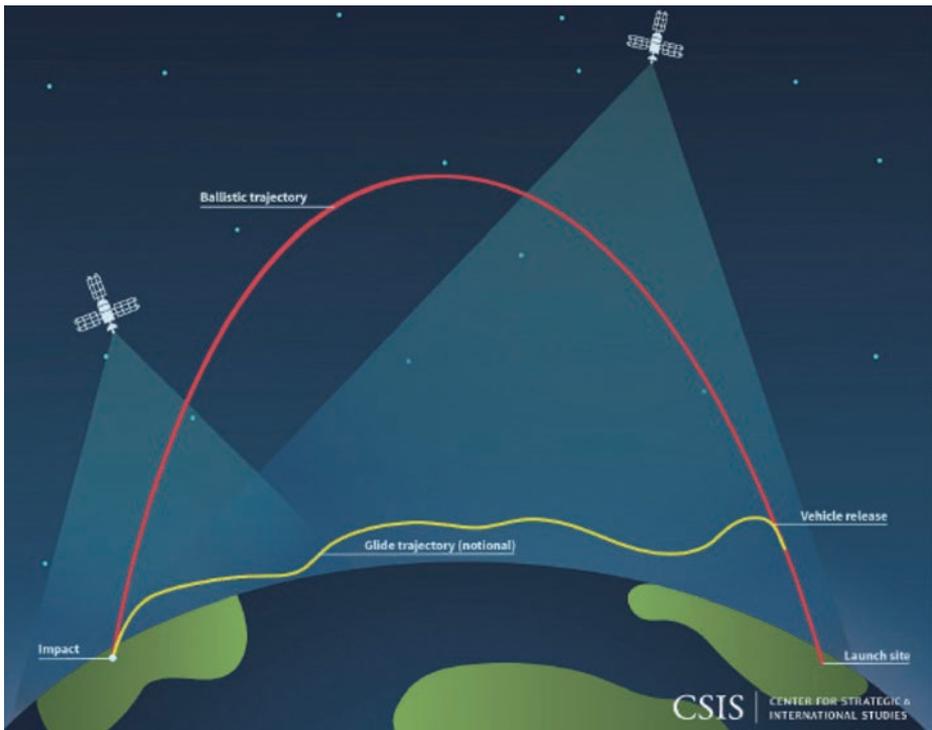
Otro problema físico que tiene el radar es el horizonte radar. Éste está limitado por la curvatura de la Tierra, debido a que las ondas electromagnéticas en las frecuencias en las que opera un radar tienen una propagación LOS (*line of sight*) o en línea recta. Este límite físico se puede superar empleando frecuencias en la banda de HF con propagación ionosférica. Sin embargo, como se ha indicado anteriormente, el gran tamaño de las antenas limita su instalación en buques o emplazamientos terrestres móviles (Fontana & Di Lauro, 2022).

No obstante, emplear frecuencias bajas, pese a sus mayores alcances, tiene contrapartidas. Los radares de seguimiento deben tener una alta resolución. Ésta es directamente proporcional a la frecuencia, por lo que los radares que operen en HF (3-30 MHz) tienen menos resolución que aquéllos que lo hagan en la banda F (3.000-4.000 MHz) (por ejemplo, el radar SPY-1D).

Además de los radares, los sensores infrarrojos son un elemento esencial en el planeamiento de un sistema de defensa antimisil. Éstos son satélites que orbitan alrededor de la Tierra monitorizando la detección de posibles lanzamientos, tanto de misiles balísticos como hipersónicos, y pertenecen generalmente a dos categorías diferentes (Fontana & Di Lauro, 2022):

- Detectores de fotones. Tienen una gran sensibilidad y una rápida respuesta. Sin embargo, sus sistemas deben estar refrigerados y, por tanto, son grandes y costosos.
- Detectores térmicos. Son menos sensibles y tienen una respuesta más lenta pero, al no ser necesario refrigerarlos, son más baratos.

La temperatura T de un misil varía considerablemente en función de su trayectoria. En los misiles de crucero (HCM) siempre hay una firma infrarroja durante toda la trayectoria debido a su rozamiento con el aire de la atmósfera. Sin embargo, para los *glider* (HGV), la firma IR varía de forma considerable. Ésta es significativa durante la fase inicial o *boost*; sin embargo, durante la fase intermedia de vuelo, al reducirse el rozamiento al volar por las capas altas de la atmósfera, su firma IR disminuye de manera notable. Finalmente, en la fase de reentrada o ataque final la temperatura del cuerpo del misil vuelve a aumentar significativamente debido al rozamiento generado en la reentrada atmosférica (Fontana & Di Lauro, 2022).



Trayectoria de los HGV vs. sensores espaciales. (Fuente: WILLIAM, 2020)

Tras analizar las diferentes opciones de detección y seguimiento de misiles, es necesario hacer una reflexión acerca de qué consecuencias tienen en el funcionamiento del sistema de defensa antimisil.

Respecto a la detección temprana, es obvio que permite al mando ganar un preciado tiempo para tomar las medidas defensivas oportunas, que podrán ser tanto activas (interceptar la amenaza) como pasivas (operaciones deceptivas, dispersión de la fuerza, etc.). Como se ha visto, los mejores sistemas de detección son las soluciones espaciales. Sin embargo, es posible complementarlas con la acción de aeronaves, UAS o globos atmosféricos con el fin de limitar el problema del *line of sight* de los radares terrestres y marítimos (William, 2020). Es importante remarcar que, pese a las altas capacidades de maniobra de los misiles hipersónicos, un seguimiento aproximado de la trayectoria puede tener importantes consecuencias a la hora de limitar el número posible de blancos que puedan finalmente alcanzar.

En cuanto a la intercepción, la aparición de sistemas de defensa con capacidad de interceptar un misil hipersónico tendrá un efecto estratégico estabilizador. En primer lugar, complicarían el planeamiento del ataque, añadiendo dudas sobre si éste sería efectivo o no. Además, implicaría que el enemigo tenga que incrementar el *salvo size* con el fin de garantizar el éxito del ataque. Esto ayudaría a identificar de forma más sencilla los *indications and warning* (I&W) de un posible ataque agresor (William, 2020).

Si bien es cierto que será necesario el desarrollo de nuevos sistemas de armas capaces de neutralizar la amenaza hipersónica, el tradicional empleo de armas cinéticas o *hit to kill* podría ser complementado con sistemas que fueren al misil hipersónico a realizar un número desmesurado de maniobras de evasión, provocando un consumo excesivo de la energía que el misil posee para llegar a su objetivo, modificando así su trayectoria.

Consecuencias estratégicas de su empleo

Muchos analistas hacen hincapié en los nefastos efectos del desarrollo de la tecnología de los misiles hipersónicos en la estabilidad estratégica mundial. Si se comparan otros períodos históricos, se puede encontrar un paralelismo entre éstos con el avión bombardero en la década de 1920. En aquel tiempo se creía que la aviación convertiría la guerra terrestre en algo obsoleto (Aarten, 2020). Finalmente, esta predicción no se ha cumplido, y puede que a los pronósticos actuales sobre los misiles hipersónicos les ocurra lo mismo.

La estabilidad estratégica se define como el mantenimiento del *statu quo* en las relaciones internacionales entre dos o más Estados (Aarten, 2020). Para poder alcanzar ese punto, la disuasión entre los diferentes actores constituye un importante factor. La influencia estratégica que un determinado actor puede ejercer para manipular el comportamiento del oponente, para que incluso

tome decisiones que vayan en contra de su beneficio, es proporcional a la amenaza militar que el actor puede ejercer sobre el resto.

Por tanto, el desarrollo de nuevas tecnologías militares tiene un gran poder desestabilizador. Actualmente, el desarrollo de los misiles hipersónicos es uno de los campos de batalla por la hegemonía geoestratégica mundial. China, Rusia y los Estados Unidos pugnan por la evolución de estas armas para alcanzar una superioridad tecnológica que decante la balanza estratégica a su favor.

Las armas hipersónicas son, por sí mismas, elementos desestabilizadores que pueden generar que la estabilidad estratégica derive en un escenario de crisis. Al poder llevar armamento convencional o nuclear, la reacción ante su lanzamiento puede generar errores de interpretación en el bando opuesto. Además, al ser casi indetectables y no existir interceptores viables, la opción de atacar primero (*first strike*) las convierte en mucho más ventajosas para el posible agresor.

Irónicamente, la carrera armamentística podría ser la solución a este problema. Si cada uno de los actores posee una tecnología del mismo nivel, sería razonable llegar a un acuerdo sobre el control de armas con el fin de limitar su desarrollo. Así se conseguiría moderar los gastos militares en un escenario mundial en el que la deuda pública está desbocada. Pero para que este contexto sea factible, es necesario que exista esa paridad tecnológica. Actualmente, los Estados Unidos van rezagados en el desarrollo de este tipo de armas y no tendrían ningún interés en sentarse en la mesa de negociación, y China nunca ha participado en ningún acuerdo de control de armas y puede que no se plantee cambiar esta postura. Por último, el desarrollo de este tipo de armamento se está expandiendo a países como Francia, Brasil, Corea del Norte o Japón, por lo que alcanzar un consenso multinacional será mucho más complejo de lo que sería entre un pequeño puñado de actores (Aarten, 2020).

Pese a todo lo anterior, debe hacerse una reflexión sobre si las armas hipersónicas han aportado al tablero estratégico todos estos cambios o si bien los factores mencionados ya existían previamente. En caso de que se cumpla la primera



Alcance de las armas hipersónicas chinas en el Sudeste Asiático. (Fuente: YOSHIHARA & MONTGOMERY, 2023)

premisa, este tipo de armamento estará a la vanguardia de la disuasión estratégica de los actores. En caso contrario, será un elemento más de la estabilidad estratégica y, pese a que dificultará el planeamiento y la acción militar, no se posicionará como un componente desestabilizador.

Aquéllos que consideran que los misiles hipersónicos constituyen un verdadero *game changer* defienden esta afirmación debido al mínimo tiempo de reacción que hay entre el lanzamiento del arma y el momento en que llega a su objetivo, a su invulnerabilidad ante los interceptores de misiles actualmente en servicio y a la dificultad táctica para planear operaciones de decepción o dispersión para proteger a las fuerzas propias ante un primer ataque. Además, su uso podría implicar la escalada rápida de una crisis aunque, debido a que mayoritariamente se emplearán con cabezas convencionales, no existiría el riesgo de una amenaza nuclear (Wats, Trotti, & Massa, 2020). No obstante, sí podría producirse un error de cálculo al tener estos misiles tanto capacidad convencional como nuclear (Yoshihara & Montgomery, 2023).

Por el contrario, otros expertos consideran que estas armas son una evolución de otros sistemas actualmente en servicio, los misiles balísticos, que plantean mayoritariamente los mismos retos tecnológicos a la hora de detectar su lanzamiento, realizar su seguimiento y ser capaces de interceptar el misil en vuelo. Si bien es cierto que la capacidad de maniobrar o cambiar de blancos durante el vuelo constituye una novedad importante, los misiles balísticos en servicio ya cuentan con sistemas de decepción contra interceptores (Wats, Trotti, & Massa, 2020).

Es cierto que, debido a la rapidez de las armas hipersónicas, no puede existir un *contraataque* (*retaliation*), ya que todos los centros de mando y control enemigos estarían destruidos en un corto período de tiempo. Sin embargo, la gran mayoría de las potencias mundiales disponen de elementos capaces de responder a un primer ataque. La capacidad nuclear de los Estados Unidos, Rusia, Francia, China o Reino Unido cuenta con submarinos balísticos nucleares que realizan patrullas oceánicas, ilocalizables durante meses, para mantener la disuasión de una respuesta nuclear.

Respecto a su uso como elementos de denegación de área (A2/AD), es cierto que existen escenarios en los cuales las armas hipersónicas podrían ser realmente desestabilizadoras. En el hipotético caso de un conflicto con China, sus misiles hipersónicos podrían provocar grandes daños a las bases norteamericanas del océano Pacífico, como Guam o las bases de Japón. Esto implicaría un reordenamiento de las fuerzas en este teatro. Sin embargo, el efecto sería fácilmente contrarrestado con el empleo de buques y submarinos como plataformas para ejecutar un contraataque. De la misma forma, el despliegue de sistemas terrestres hipersónicos en países alineados del Sudeste Asiático tendría a su vez un efecto estabilizador regional (Freer, 2024).

Para finalizar, la componente económica debe ser tenida en cuenta. Los sistemas de armas hipersónicos se encuentran en una fase muy temprana de

desarrollo. Pese a décadas de investigación, todavía están lejos de hallarse en un estado maduro en el que todos los retos físicos expuestos hayan sido solucionados, lo que implica que los costes económicos de desarrollo continuarán siendo altos durante los próximos años. Es por ello que potencias regionales como Irán o Corea del Norte pueden quedar relegadas de esta carrera armamentística. Sin embargo, no se debe descartar esta opción. Hace 20 años, los UAS eran sistemas cuasisecretos empleados en misiones ISR muy específicas, solamente utilizados por las grandes potencias. Hoy, potencias regionales como Irán o Turquía poseen los conocimientos técnicos para desarrollar este tipo de sistemas de armas a un reducido coste.

Conclusiones

Los sistemas de armas hipersónicos constituyen un grupo heterogéneo de diferentes tipos de misiles, por lo que su clasificación es compleja y la mayoría de expertos no tienen una opinión uniforme de las características que los definen. Por tanto, el dominio cognitivo ha adquirido mucha importancia a la hora de presentar estas armas como las posibles causantes de un Armagedón a nivel mundial. Países como China y Rusia se aprovechan de la difusa caracterización de los misiles hipersónicos para emplear su desarrollo como propaganda acerca de las grandes capacidades tecnológicas que poseen. Sin embargo, sí existe un acuerdo global para declarar a estas armas como muy rápidas, provocando tiempos de reacción ínfimos. Además, la difícil caracterización de su trayectoria provoca que sean casi indetectables para un posible sistema de defensa.

Como se ha visto, los retos físicos a los que se deben enfrentar los diseñadores que desarrollan este tipo de armas complican mucho la veracidad de las informaciones acerca de las grandes capacidades de estos sistemas. Se trata de una nueva tecnología que, pese a la existencia de misiles operacionales, todavía se encuentra en una etapa inicial. Sin embargo, al estar todas las limitaciones ya detectadas y, gracias a la carrera armamentística generada para alcanzar la perfección de los misiles hipersónicos, estos sistemas pueden sufrir una evolución exponencial en los próximos años.

Es por ello que la defensa antimisil ante este tipo de amenaza se encuentra también en un estadio inicial. El desarrollo de una defensa veraz necesita de un conocimiento exacto del misil al que se debe enfrentar. Las limitaciones en el uso del radar como sistema de detección y seguimiento, sumado al alto coste de las constelaciones de satélites para mantener un sistema de alerta temprana, van a generar un escenario de imbatibilidad de este tipo de armamento en los próximos años. Remarcar que su uso contra instalaciones en tierra es muy efectivo, no siendo así contra blancos móviles, como los buques de guerra, debido a la ausencia de un sistema de guiado radárico o infrarrojo por las limitaciones físicas previamente estudiadas.

Los retos estratégicos, por otra parte, no parecen todavía discernirse dentro de la «niebla de guerra» y tampoco hay un consenso claro entre los expertos en estrategia militar sobre si las armas hipersónicas podrán ser un verdadero cambio en las relaciones de poder entre las grandes potencias militares. Si bien es cierto que presentan características técnicas novedosas, su uso en caso de conflicto se limitaría a ataques convencionales, lo que podría generar una disminución del coste en una agresión contra otro actor. Sin embargo, no suponen retos estratégicos novedosos, sino que han sido ya observados en otros sistemas de armas. Por tanto, su función sería más la de reforzar la disuasión estratégica que la de debilitarla.

Por todo ello, las armas hipersónicas continuarán siendo un foco de preocupación para la planificación militar en los próximos años, aunque no se debe caer en el alarmismo infundado mediante la propaganda de algunos actores geoestratégicos. Sus altas capacidades son, sin duda, alarmantes, especialmente las de los HGV, debido a su indetectabilidad por su alta velocidad, así como por sus trayectorias exoatmosféricas. No obstante, su empleo en la guerra naval todavía parece lejano por los problemas de selección del blanco ante la ausencia de *seeker* radáricos o IR viables. Pese a este hándicap, pueden constituir un elemento a tener en cuenta a la hora de planear la defensa contra operaciones ofensivas por parte de otro Estado, especialmente para neutralizar infraestructuras críticas, aeródromos o bases militares.

BIBLIOGRAFÍA

- AARTEN, S. R. (2020): «The impact of hypersonic missiles on strategic stability». *Militaire Spectator*, 182-193.
- ACTON, J. M. (2015): «Hypersonic Boost-Glide Weapons». *Science & Global Security*, 191-219.
- BROCKMANN, K., & MARKUS, S. (2022): «A matter of speed? Understanding hypersonic missile systems». *Stockholm International Peace Research Institute*.
- DORR, R. F. (19 de septiembre de 2018): «Retrieved from Defense Media Network», en <https://www.defensemedianetwork.com/stories/what-might-have-been-x-20-dyna-soar/>
- FONTANA, S., & DI LAURO, F. (2022): «An Overview of Sensors for Long Range Missile Defense». *Sensors*, 22, 9871.
- FREER, W. (2024): «Britain's hypersonic challenge: Strategic opportunities and risk». *Council on Geostrategy*, 26.
- LAKSHMI HARSHITHA, V., & BASKARADAS, J. A. (1 de diciembre de 2022): «Detection of Hypersonic Missiles in presence of Plasma Stealth», en <https://www.sastra.edu/>: <https://www.ursi.org/proceedings/2022/RCS2022/papers/Detection%20of%20Hypersonic%20Missiles%20in%20presence%20of%20Plasma%20Stealth.pdf>
- NICHOLS, R. K., & CARTER, C. D. (2023): «Progress in hypersonics missiles and space defense». Cyber-Human Systems, Space Technologies, and Threats: <https://kstatelibraries.pressbooks.pub/cyberhumansystems/chapter/13-progress-in-hypersonics-missiles-and-space-defense-slofer/>
- PETERS, A. Z. (2023): «Materials design for hypersonics». *Nature Communications*, 3328.
- VAN WIE, D. M. (2021): «Hypersonics: Past, Present, and Potential Future». *Johns Hopkins APL Technical Digest*, 335-341, <https://secwww.jhuapl.edu/>
- WATS, J. T., TROTTI, C., & MASSA, M. J. (2020): «Hypersonic Weapons in the Indo-Pacific Region». *Atlantic Council*, 1-27.
- WILLIAM, I. (2020): «Adapting to the Hypersonic Era». *Center for Strategic & International Studies*, 1-13.
- WRIGHT, D., & TRACY, C. (2021): «The Physics and Hype of Hypersonic Weapons». *Scientific American*.
- YOSHIHARA, T., & MONTGOMERY, E. B. (2023): «Speeding Toward Instability? Hypersonic Weapons and the Risk of Nuclear Use». *Center for Strategic and Budgetary Assessments*.