

2. ARMAMENTO

2.1

Tecnologías disruptivas en los fuegos de precisión de largo alcance (LRPF)

Por el Coronel (R) DIM "VGM" Juan Carlos Villanueva*

1. Abstract
2. Objetivo y alcance
3. Contenido del trabajo
4. Introducción
5. Conceptos de interés relacionados con tecnologías disruptivas
6. Tecnologías disruptivas observadas en los fuegos de precisión de largo alcance (LRPF)
 - a. Cañón electromagnético
 - b. proyectiles de hipervelocidad (HVP)
 - c. Misiles hipersónicos
7. Mercado
8. Consideraciones finales

1. ABSTRACT

El poder transformador que en la sociedad han tenido y tienen los desarrollos tecnológicos es indiscutible. Quien posee el conocimiento para dominarlos obtiene ventajas comparativas en el ámbito en el cual se desenvuelve. El desarrollo de *“Tecnologías Disruptivas”* en el ámbito de la Defensa y su capacidad de empleo potencial obran como una fuerte herramienta de disuasión que incluso cambia las relaciones de poder entre los actores principales. En el presente trabajo describimos y analizamos el efecto de algunas tecnologías que consideramos *“Potencialmente Disruptivas”*, particularmente las relacionadas con los denominados *“Fuegos de Precisión de Largo Alcance”*. Su desarrollo en los últimos años, obliga a los órganos de la Defensa y Seguridad de los países, a repensar la organización, el equipamiento y la doctrina de empleo de sus instrumentos militares, para que sus propios sistemas de armas no queden obsoletos y resulten ineficaces frente a estas nuevas amenazas.

2. OBJETIVO Y ALCANCE DEL TRABAJO

El objetivo del trabajo es presentar algunas “*Tecnologías Disruptivas*” y el desarrollo de sistemas de armas verdaderamente revolucionarias que llevan adelante los países que tienen el liderazgo en proyectos relacionados con la defensa, particularmente dentro de los llamados *Long Range Precision Fires*¹.

Si bien en muchos casos, las grandes potencias y coaliciones se encuentran empeñadas en conflictos del tipo “*no convencional*”, de “contraterrorismo y contrainsurgencia”, así como las llamadas “guerras asimétricas²”, lo cierto es que el desarrollo de los grandes sistemas de armas que los planificadores priorizan, está orientado a las herramientas para hacer frente a una “confrontación en gran escala” de las denominadas “entre pares” (*Peer to peer*)³.

Los temas desarrollados en el presente trabajo abarcan una variedad de sistemas de armas, que como “producto final” aportan inicialmente DISUASIÓN y, llegado el caso de su empleo, LETALIDAD, tanto en el campo táctico como en el nivel estratégico.

El objeto de estudio principal del área de armamentos del **Centro de Estudios de Prospectiva Tecnológica Militar “Grl Mosconi”**, son los sistemas de armas, en especial los de uso de las Fuerzas Terrestres.

Sin embargo, la tendencia observada en los desarrollos actuales, impone como requisito deseable y en ciertos casos mandatorio, la modularidad y el empleo dual de muchos sistemas, por lo que resulta difícil encuadrarlos como “apto” para su empleo en una sola Fuerza. Porque además, los nuevos desarrollos prevén que estos deben poseer la capacidad de operar en “múltiples dominios”, ya sea tierra – mar – aire.

Por el grado de complejidad de cada uno de los desarrollos, los mismos son expuestos de manera descriptiva y conceptual, de forma tal que el lector, incluso el no especialista en cuestiones técnicas, comprenda los aspectos básicos fundamentales de cada uno de ellos.

3. CONTENIDO DEL TRABAJO; Aspectos conceptuales de interés – Tecnologías emergentes en los Fuegos de precisión de largo alcance – Cañón Electromagnético – proyectiles de Hipervelocidad – Misiles Hipersónicos – Mercado – Consideraciones finales.

4. INTRODUCCIÓN

“No detectar a tiempo una Tecnología Disruptiva, supone ignorar un factor de superioridad e incrementar el “gap” tecnológico respecto a los que sí las han asumido”⁴

1 *Long Range Precision Fires (LRPF)*: Fuegos de precisión de largo alcance. Constituye 1 de las 6 prioridades de modernización de medios fijadas por las autoridades del Ejército de Estados Unidos para los próximos años.

2 *Guerras asimétricas*: Se suele denominar así al enfrentamiento que se produce entre fuerzas regulares de un determinado país o coalición, con grupos irregulares de distinto origen, organizados “ad-hoc”, conducidos por líderes naturales, que pueden o no emplear armamento equivalente al de las fuerzas regulares, pero que se caracterizan fundamentalmente por emplear las técnicas y tácticas típicas de las guerrillas, haciendo un empleo intensivo del sabotaje, la emboscada, el golpe de mano, aprovechando además su mimetismo entre la población local. Fuente: “*The Yale Review of international studies*”.

3 “*Peer to peer*”: Se denomina así al tipo de confrontación que tiene lugar entre contendientes con un grado de paridad equivalente, ya sea en sistemas tecnológicos, poder de fuego, recursos humanos y materiales, etc.

4 C: Ing José M. Riola Rodríguez. “La dimensión tecnológica de la innovación disruptiva en el ámbito de la defensa”. Instituto Español de Estudios Estratégicos. Documento de trabajo 12/2015

Obtener y mantener la superioridad en el campo tecnológico de los Sistemas de Defensa es vital para conseguir ventajas y vencer de manera contundente en el campo militar, siempre y cuando se apliquen con las tácticas correctas y la doctrina y procedimientos de empleo adecuados. Y ello desvela a los planificadores de los organismos de defensa de los países.

La “Operación Desert Storm” (1991) fue una muestra cabal de ello. El Ejército iraquí, que en ese momento constituía la cuarta fuerza blindada a nivel mundial, fue devastado en sólo 21 horas de combate. Los protagonistas fueron los sistemas de armas guiadas en sus distintos tipos, lanzadas desde variadas plataformas, aéreas y terrestres, todo ello asistido por un moderno y eficiente sistema de C3I gestionando los fuegos. Los blindados de la Coalición, también jugaron un papel decisivo con sus proyectiles de energía cinética de alta velocidad y alcances muy superiores a los de sus oponentes.

Esa lección fue aprendida por todos. En especial por RUSIA Y CHINA que “tomaron nota” de lo ocurrido, particularmente de que la Superioridad Tecnológica no es un concepto estático. Requiere vigilar las tendencias en cada una de las áreas y, en especial, la manera en que los diferentes actores las van adoptando, así como la experiencia que adquieren con las mismas, con foco en su empleo en combate real. Y en base a ello, realizan la revisión y adecuación de las organizaciones, la doctrina y los procedimientos operativos para emplearlas.

El incontenible avance de los desarrollos tecnológicos desde comienzos del presente siglo, fundamentalmente en lo relacionado con electrónica, sistemas informáticos, inteligencia artificial, nuevos materiales y revolucionarios sistemas de fabricación entre otros, presenta a los planificadores del ámbito de la Defensa de los diferentes países los siguientes interrogantes:

- > **¿Cuáles son las capacidades que deberá disponer el Instrumento Militar de un Sistema de Defensa Nacional, para hacer frente a las amenazas del futuro?**
- > Particularmente en el ámbito del Armamento: **¿Qué características deberán tener los Sistemas de Armas con que se equipe a las FFAA, para que estén en condiciones de responder eficientemente en el cumplimiento de sus misiones específicas en la Defensa Nacional?**

Para responder a ello, la mayoría de los países, aún con Fuerzas Armadas de diferente magnitud, organiza equipos de trabajo destinados a reflexionar acerca de estos interrogantes, analizando con Visión Prospectiva, escenarios de conflicto de mediano y largo plazo, con rango de fechas entre 2025 y 2050.

Podríamos afirmar que una conclusión bastante generalizada es que los “Grandes sistemas de armas”⁵ en servicio actualmente, tienen un grado de obsolescencia propia de su desarrollo hace 20 años o más, lo cual los haría vulnerables frente a sistemas que operarán con las tecnologías que se presentan hoy como emergentes.

En relación con ello, algunas de las conclusiones presentadas por el Simposio “**Disruptive Technology for Defense Transformation**” (Londres 24/25 Oct17), fueron: “*El futuro será ganado por aquellos que sean capaces de innovar al ritmo adecuado como para concebir, diseñar, construir y operar tecnologías disruptivas que aporten a los sistemas militares capacidades que permitan mantener la ventaja competitiva en defensa y seguridad”⁶.*

⁵ Por “grandes sistemas de armas” nos referiremos en este trabajo, a las grandes plataformas terrestres, navales y aéreas. En el caso de las terrestres: medios blindados, artillería de tubo, cohetes y misiles de gran alcance, sistemas integrados de defensa aérea y misilística, Grandes sistemas de vigilancia y guerra electrónica, etc.

⁶ “Disrupting Technology for defense transformation” (Londres, 24 de octubre de 2017). Referencia: <https://www.asdevents.com/event.asp?id=17206>

Y se concluyó también: “Avances tecnológicos en áreas como Inteligencia artificial (AI), robótica, Internet de las cosas (IoT), vehículos autónomos; fabricación aditiva (Additive manufacturing), nanotecnología, biotecnología, ciencia de los materiales, almacenamiento de energía, están transformando el ámbito civil, pero tendrán asimismo un profundo impacto en la seguridad nacional e internacional, afectando la naturaleza y probabilidad de conflictos futuros”.

En el mismo Simposio, convocado para el 2018 bajo el lema “**Exploiting Technological Innovation to retain Military Advantage**” (Londres 24/25Set18) se expresó: “La velocidad con que evolucionan los desarrollos tecnológicos, está cambiando profundamente la naturaleza de la guerra tal como la conocemos hasta ahora. Para obtener una ventaja, los militares deben adoptar los modelos de innovación civil/comercial, integrando inteligencia artificial, fabricación aditiva y análisis predictivo para incrementar su capacidad”⁷.

La falta de conflictos de gran magnitud en los últimos 70 años, sumada a la amenaza de la “destrucción total” de la humanidad misma que planteaba la opción Nuclear a gran escala de la Guerra fría motivó que los conflictos en el mundo se desarrollaran en el marco de enfrentamientos de escala menor. En la mayoría de los casos, el nivel de los contendientes resultaba de una asimetría tal que no permitía evaluar adecuadamente las capacidades reales de los grandes sistemas de armas que se desarrollaban. (Guerra de Corea (1950), Vietnam (1965/73), etc.).

Un caso que podemos destacar por ser parte de nuestra propia experiencia de guerra fue el “Conflicto Armado de las Islas Malvinas e islas del Atlántico Sur”. En el mismo, Fuerzas Armadas como las argentinas, equipadas y adiestradas para un eventual conflicto “entre pares” en el marco regional sudamericano, se enfrentaron con el Reino Unido de Gran Bretaña, una de las Fuerzas Armadas más poderosas de la OTAN, equipadas con los sistemas de armas navales, aéreos y terrestres más modernos de ese momento. Y adiestradas, además, para pelear ese tipo de guerra convencional, empleando algunas modernas tecnologías aún no probadas en combate, como los misiles Exocet, Sidewinder o los aviones de combate Harrier.

Y la conclusión sintética es que en Malvinas, también la tecnología hizo la diferencia. Los Exocet que debutaron exitosamente en combate en ese conflicto pusieron en evidencia la vulnerabilidad de los sistemas de defensa aérea de modernos buques como los de la Marina Real. También fueron decisivos los AIM-9L “Sidewinder”, que no daban ninguna posibilidad de supervivencia en combate aéreo a las aeronaves argentinas, los sistemas de visión nocturna y hasta los misiles antitanque MILAN empleados como Arma de Asalto Multipropósito⁸, para neutralizar las posiciones de las ametralladoras argentinas.

Guerras como la de Iraq y Afganistán, si bien han implicado un enorme despliegue de medios, no dejan de ser de baja intensidad, ya que las Fuerzas de la Coalición empeñadas siempre se encuentran en abrumadora superioridad de medios de apoyo aéreo y reconocimiento. Pero algo muy distinto sería si la confrontación ocurre “entre pares”, como podría ser un conflicto de alta intensidad entre potencias equivalentes, tales como Estados Unidos, Rusia o China.

Y sobre la base de este tipo de escenarios es que los países líderes trabajan en el planeamiento de las capacidades que resulta necesario disponer. Y ese planeamiento indica que, considerando siempre un escenario de confrontación “No nuclear”, el combate se dará en un entorno de batalla altamente tecnificado, donde quien domine adecuadamente las herramientas de Guerra Electrónica

⁷ “Exploiting Technological innovation to gain military advantage” (Londres, 24 y 25 de septiembre de 2018): Referencia: <https://disruptivetechdefence.iqpc.co.uk/>

⁸ El concepto de arma antitanque portátil de infantería ha migrado hacia un arma de asalto multipropósito, con una más amplia posibilidad de empleos, además de los blindados.

nica (A2 /AD)⁹ y sea capaz de generar “Zonas No-Go”¹⁰ para el oponente, combinado con superioridad en todos los ámbitos y con sistemas de armas con letalidad devastadora de los fuegos de largo alcance y municiones inteligentes, tendrá la llave de la victoria.

FIGURA 1: VENCER EN UN ENTORNO COMPLEJO



Desde hace unos años, la carrera por el desarrollo de componentes electrónicos cada vez más miniaturizados, eficientes y que garantizan tiempos de respuesta impensados han permitido revitalizar su aplicación en todos los sistemas. La búsqueda de una *“letalidad” más eficiente*, a menores costos y reduciendo el daño colateral es un objetivo que desvela a los investigadores,

⁹ A2/AD: Anti Access / Area Denial: Medidas de Guerra electrónica que se emplean para negar al oponente la posibilidad de utilizar sus sistemas más sofisticados: de comando y control, sistemas de vigilancia, de comunicaciones, satélites, sistemas misilísticos, etc.

¹⁰ “No Go – Zones”: Desde el punto de vista militar, se trata de zonas donde el oponente ha tomado medidas de guerra electrónica y otras, destinadas a que resulte dificultoso operar los sistemas electrónicos o sistemas de armas dependientes de la electrónica para su eficaz funcionamiento.

siempre condicionados por la carrera “*Arma Vs Sistema Defensivo*”. Y es importante destacar que en cada una de las grandes potencias, las **empresas líderes** encabezan el esfuerzo de investigación y destinan enorme cantidad de recursos a ello, en pos de estar en la “cumbre tecnológica” de cada área.

Como expresamos en trabajos anteriores publicados en TEC1000, “más allá de los gastos propios del sostenimiento operacional de los ejércitos, empezamos a familiarizarnos con términos tales como: *Kinetic Energy Weapons* (KEW), *Direct Energy Weapons* (DEW), *Hipervelocity Projectile* (HVP), Cañón Electromagnético (Railgun), Armas de Pulso Electromagnético (EPW), etc.

A su vez, también resulta cierto que, mientras las principales potencias invierten enormes presupuestos en investigación y desarrollo, les resulta muy difícil mantener siempre la superioridad tecnológica. Y ello ocurre porque, una vez desarrolladas las tecnologías, por algún otro camino, legal o no, pronto están disponibles también para los demás. El caso de los UAS¹¹ letales es un ejemplo muy conocido de ello.

Las grandes potencias saben los costos y riesgos que asumen, estando “*penalizadas por ir adelante*” y los que vienen detrás adquieren experiencia de los éxitos y errores del que ha invertido tiempo y presupuesto para los desarrollos¹².

No resulta difícil concluir entonces que la *brecha tecnológica* que se abre entre los países que disponen de estos sistemas y los que no, coloca a estos últimos en una situación de enorme desventaja y vulnerabilidad, al carecer de capacidades específicas para la Defensa relativamente equivalentes, para cumplir eficientemente su misión en caso de un conflicto.

5. CONCEPTOS DE INTERÉS RELACIONADOS CON TECNOLOGÍAS DISRUPTIVAS

a. Las características del conflicto futuro para las FFTT

La proliferación de las armas inteligentes de gran precisión, sumada a la existencia de multiplicidad de sistemas sensores y de vigilancia terrestre y aérea, hacen prever que los conflictos del futuro que deberán enfrentar las FFTT, demandarán fracciones cada vez más pequeñas, más dispersas y menos detectables por el enemigo.

Pero ese aislamiento y ocultamiento obligan a su vez a que estos elementos dispersos dispongan de medios que les proporcionen gran movilidad, comunicaciones seguras, así como el auxilio de sistemas de vigilancia terrestres y aéreos, para adquirir y batir blancos de oportunidad, con una letalidad no habitual para las pequeñas fracciones, así como requerir el apoyo de elementos de Fuego de elementos adyacentes o superiores en esa red interconectada.

Movilidad, independencia, interconexión horizontal y vertical en todos los niveles de comando, capacidad letal, son algunos de los aspectos que regirán las guerras del futuro. Esto motiva a que los órganos de planeamiento y organización de algunos países realicen estudios para definir las “*Prioridades de modernización*” en cada caso.

Los conflictos de Irak, Afganistán, Ucrania, Siria e incluso el estado de tensión permanente por la amenaza de guerra entre Corea del Norte y del Sur sirven a las grandes potencias como ámbito de *ensayo operativo*, para verificar la funcionalidad de sus desarrollos. Sistemas de misiles tácticos y estratégicos, sistemas de protección activa para blindados, armas antitanque, muni-

¹¹ UAS: Unmanned Aerial System.

¹² “Disruptive technologies in war”(Jun 2017). <https://www.globsec.org/news/disruptive-technologies-war/>

ciones guiadas de artillería y morteros, bombas guiadas, y hasta los sistemas básicos del soldado de infantería como la protección balística o el grado de letalidad del fusil básico del soldado, son permanentemente evaluados y cuestionados. Basta mencionar el severo reclamo que el Grl Mark Milley – Chief of Staff US Army, ha realizado hace poco respecto de la imperiosa necesidad de dar una pronta solución al tema del “*la letalidad del cartucho de fusil del Combatiente*” o la “*ametralladora de apoyo del grupo de tiradores*”, sistemas de armas que hoy resultan vitales en los escenarios de combate moderno.

Desde el ICBM¹³ al Fusil de Asalto, en los extremos opuestos de la *letalidad de los sistemas de armas*, todo es motivo de preocupación, estudio, asignación de recursos y desarrollos de proyectos específicos.

Es que así como el ICBM cumple la función de “disuasión” para una confrontación nuclear a gran escala entre potencias, lo cierto es que los enfrentamientos de hoy tienen también como grandes protagonistas a las armas “más modestas” como el fusil, la ametralladora, el arma antitanque¹⁴, el mortero y el cañón, que son las que normalmente enfrentan la carga del combate diario.

Teniendo en cuenta que desarrollaremos algunas ideas y conceptos acerca de “*Tecnologías disruptivas*”, es conveniente aclarar que la información analizada y expuesta, es la de carácter público de varios países y en cierta medida verificable. En general, esa información es meramente descriptiva y proveniente de fuentes de diversa credibilidad. Por esta razón, tomamos como referencia aquellos proyectos en los que se dispone de información actualizada, que además puede ser verificada y contrastada con fuentes confiables.

Para darle un marco adecuado al tema, a fin de analizar algunos de los sistemas de armas que serán empleados en el futuro, nos pareció provechoso tomar como caso de interés, el de las “*PRIORIDADES DE MODERNIZACION*” establecidas por el US ARMY.

b. Las prioridades de modernización del Ejército de Estados Unidos

*“El ejército está ahora incrementando sus inversiones para modernizar la Fuerza. Nuestra **Estrategia de Modernización**, está enfocada en un solo **OBJETIVO**: hacer que los Soldados y las Unidades sean **más LETALES y EFECTIVOS** que cualquiera de nuestros adversarios”.*¹⁵

*Mark T. ESPER
Secretario del Ejército de Estados Unidos.*

El 30 de octubre de 2017, el nuevo *Jefe de Estado Mayor del Ejército de Estados Unidos, General Mark Milley* publicó un documento en el cual presenta el diagnóstico que su Estado Mayor hace acerca de la vulnerabilidad observada en las Capacidades de esa Fuerza, exponiendo su **VISIÓN** sobre la posición de liderazgo mundial como Fuerza Armada, que **debe recuperar** el Ejército de Estados Unidos.

¹³ ICBM: Intercontinental Ballistic Missile.

¹⁴ Arma Antitanque: concepto de arma de apoyo portátil que está siendo revisado y que progresivamente ha ido evolucionando hacia la denominación de “Arma de Asalto multipropósito”

¹⁵ <https://www.army.mil/standto/2018-03-28>.

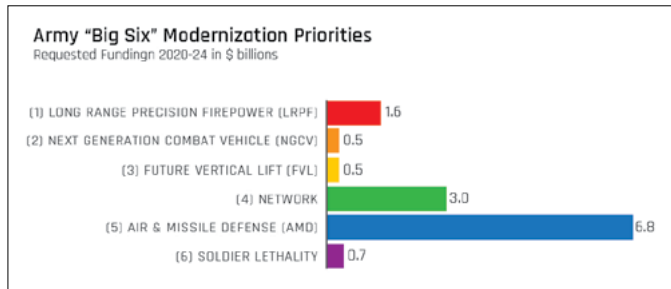
Las acciones necesarias para revertir esa situación, asignando adecuadamente los recursos disponibles dentro de las posibilidades presupuestarias, se plasman bajo el Título de *"MODERNIZATION PRIORITIES OF THE US ARMY"*¹⁶.

Estas prioridades son:

- > **Long Range Precision Fires** (Fuegos de precisión de largo alcance).
- > **Next Generation Combat Vehicle** (Nueva generación de vehículos de combate).
- > **Vertical Lift Platforms** (Plataformas de despegue vertical).
- > **Army Network**.¹⁷
- > **Air and Missile Defense Capabilities** (Capacidades de Defensa Aérea y Misilística)
- > **Soldier Lethality** (Letalidad del combatiente).

Se puede observar claramente que estas están orientadas básicamente a proporcionar a los elementos de esa Fuerza: **LETALIDAD – MOVILIDAD – COMANDO Y CONTROL**.

FIGURA 2: PRIORIDADES DE MODERNIZACIÓN DEL EJÉRCITO DE ESTADOS UNIDOS. (PRESUPUESTOS ASIGNADOS PARA EL PERÍODO 2020/24).



c. Cómo optimizar y dinamizar el desarrollo de los Programas de Modernización: Incremento de la relación Empresas / Estado - El caso de los *Cross Functional Teams* (CFT).

Es interesante analizar el mecanismo que se ha implementado para hacer un aprovechamiento más eficiente de los recursos asignados al desarrollo de los grandes programas citados. La velocidad con la que aparecen nuevas tecnologías, que convierten en obsoletas e ineficientes a las vigentes, motivaron un replanteo conceptual acerca de la manera como se llevan adelante los proyectos y la asignación de los presupuestos.

En relación con ello, un artículo de *Breaking Defense* (mayo de 2018)¹⁸ cita el caso del US SOCOM (Special Ops Command) donde se afirma que: *"aún el equipamiento más moderno con que se provee a las tropas, envejece vertiginosamente, debido a la velocidad con que avanza la tecnología"*, especialmente en microelectrónica y comunicaciones de uso comercial, superando en la mayoría de los casos a las Tecnologías de Uso Militar.

¹⁶ "Modernization Priorities of the US Army": <https://admin.govexec.com/media/untitled.pdf>, 3 de octubre de 2017.

¹⁷ Si bien no hay una traducción literal al castellano y además no se dispone de información "pública" específica acerca de los alcances del ítem, podríamos decir que incluye la integración total de los sistemas que operan los diferentes niveles de comando, control y sus medios físicos y recursos humanos. Incluye además todo lo relacionado con ciberdefensa, en las cuestiones en las cuales tiene injerencia el Ejército de Estados Unidos.

¹⁸ https://breakingdefense.com/2018/05/socom-looks-to-field-new-drones-upgrade-comms-fast/?utm_campaign=Raytheon%20space%20Symposium%20&utm_source=hs_email&utm_medium=email&utm_content=63145933&_hsenc=p2ANqtz-9hdBPmyr2xlgBN4-75Ytpxs5Vp2YUhh-8A-LNQ9wwTW7D5ZMUovl9y2jP_lqkHkQeuKllgW7EkFLGavfgWbw6iCpCig&_hsmi=63145933.

De allí que se observa entonces desde hace algunos años, la tendencia a convocar empresas, grandes y pequeñas, para “*ver*” lo que el mercado tiene para ofrecer e implementar mecanismos que agilicen el proceso de adquisición e incorporación. Esto podría cambiar el “*modelo tradicional*” de los proyectos, que duraban décadas y generaban millonarias erogaciones y en los que finalmente, el “*producto entregable*” resultaba obsoleto al llegar a la etapa de su industrialización y provisión.

Resulta interesante también el caso de SOFWERX¹⁹. Se trata de una *Célula de Innovación* implementada entre el SOCOM²⁰ y el DOOLITTLE Institute, que tiene por objetivo aportar soluciones tecnológicas de rápida aplicación a necesidades técnico-operacionales.

Algunos expertos en Defensa consideran que este nuevo sistema es el camino correcto para “romper” con la forma lenta y burocrática actual de *relacionar empresas/ estado* en el ámbito de la defensa, que resulta insostenible e ineficiente para la velocidad con que los cambios tecnológicos se presentan. “*Es imperativo cambiar la forma de pensar, ya que la velocidad del cambio se está moviendo más rápido que los ciclos de incorporación de equipamiento*”²¹.

El otro aspecto totalmente innovador es que, independientemente del método de obtención que se aplique, durante todo el proceso de desarrollo e incorporación de un sistema y antes de su provisión a las tropas, intervienen una serie de estructuras dependientes del recientemente creado “*FUTURES COMMAND*”, que se denominan *CROSS FUNCTIONAL TEAMS (CFT)*^{22, 23}

Cada uno de esos CFT tiene funciones específicas en una de las “*6 prioridades de modernización*”. Su responsabilidad es que los sistemas desarrollados/ adquiridos cumplan con las especificaciones y condiciones requeridas en los diferentes Programas y sus respectivos Proyectos.

Cada uno de los CFT está organizado con personal militar y civil, combatientes y especialistas en las diferentes áreas, que interactúan matricialmente con los responsables de los requerimientos, adquisición, contrataciones, seguimiento y evaluación de los proyectos. Disponen además de la asistencia del TRADOC²⁴, para la evaluación operacional de los diferentes prototipos. Esto tiende a agilizar los tradicionales e *interminables procesos* de “desarrollo – ensayo – evaluación – revisión”.

Se trata de una innovadora manera de *pasar rápidamente del desarrollo a la incorporación*, satisfaciendo de manera más eficiente la necesidad.

6. TECNOLOGÍAS DISRUPTIVAS OBSERVADAS EN LOS FUEGOS DE PRECISIÓN DE LARGO ALCANCE (LRPF)

Comenzaremos definiendo “*TECNOLOGIA DISRUPTIVA*” (*TD*). Según el autor C.F Ing J. M Riola Rodríguez²⁵, en su trabajo “La dimensión tecnológica de la innovación disruptiva en el ámbito de

¹⁹ <https://www.sofwerx.org/>.

²⁰ SOCOM: US Special Operations Command.

²¹ Brigadier General Chris Burns, Commander of Special Operations Command-North: <https://breakingdefense.com/2018/05/socom-looks-to-field-new-drones-upgrade-comms>.

²² Implementados a partir de la Directiva del Ejército - Army Directive 2017-24.

²³ Directiva del Ministerio de Defensa referente a los CFT: <https://admin.govexec.com/media/osd001246-17.pdf>

²⁴ TRADOC: Training and Doctrine Command.

²⁵ C.F Ing J. M Riola Rodríguez. “La dimensión Tecnológica de la Innovación Disruptiva en el ámbito de Defensa”. Fuente: http://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_trabajo/2015/DIEEET12-2015_Tecnologias_Disruptivas_EfectosSeguridad.pdf, CENTRO DE ESTUDIOS DE LA DEFENSA NACIONAL, 2015.

Defensa" expresa "...el concepto de disrupción puede identificarse de manera global con un cambio brusco con lo preestablecido, de forma tal que con algo nuevo, se obtiene una enorme ventaja respecto de algo. Podemos considerar que una tecnología tiene un potencial disruptivo si tiene la capacidad de dejar a otra parcialmente obsoleta o inútil, obligando a cambiar la forma de operar de los usuarios y la industria".

En un trabajo presentado en el "**Center for a New American Security (CNAS)**", se define como una Tecnología Disruptiva en el Sector Defensa a "una tecnología o conjunto de tecnologías aplicadas a un problema relevante, de manera tal que alteran radicalmente las relaciones de poder militar entre los competidores, convirtiendo en obsoletas las políticas, doctrina y organización de todos los actores"²⁶.

Podemos decir entonces que las tecnologías disruptivas tienen la capacidad potencial de cambiar las "reglas del juego"²⁷, que en el ámbito de Defensa, se refiere al balance del poder militar entre los contendientes.

Obviamente todos los países desean equipar a sus Fuerzas Armadas con las tecnologías más avanzadas. Y para ello monitorean y analizan las tecnologías incorporadas por la contraparte. Cualquier percepción de que se está quedando retrasado en la cuestión tecnológica obliga a pensar en nuevas tecnologías disruptivas, o también en la posibilidad del empleo disruptivo de alguna de las existentes²⁸. La experiencia demuestra que cuando una **tecnología disruptiva** pasa la etapa de aceptación inicial, su evolución no es progresiva ni lineal. Normalmente es explosiva y en un lapso de pocos años ha desplazado y convertido en obsoletas a tecnologías anteriores²⁹. Lo ocurrido con los Smartphones, la Fabricación Aditiva (AM o 3D printing) o los UAV's son claros ejemplos de ello.

No obstante ello, reiteramos que la tecnología es solo una de las partes y nunca puede ser considerada como el aspecto más importante del Poder Militar.

Vamos a introducir el tema de las **tecnologías disruptivas** tomando el caso de las "*Six Modernization Priorities*" del Ejército de Estados Unidos mencionadas antes, específicamente una de las relacionadas con nuestro ámbito de interés, o sea los **LRPF (Long Range Precision Fires)**.

En particular, para el caso de los LRPF, es interesante citar lo expresado durante el "**Global Force Symposium 2018**", por el General del Ejército de Estados Unidos R. Brown, Comandante de las Fuerzas en el Pacífico:

"Nosotros debemos lograr el máximo alcance para todos nuestros sistemas en desarrollo, tanto para fuego cercano, de largo alcance táctico y estratégico. Necesitamos cañones con el alcance de cohetes. Necesitamos cohetes que superen en alcance a los misiles actuales. Y necesitamos misiles tácticos con alcances de 500 km"³⁰.

Esta expresión simplemente reafirma algo tan antiguo como el hombre mismo, desde el momento en que descubrió las ventajas que le otorgaba sobre su oponente, lanzar piedras o flechas a mayor distancia. Porque a su manera y en ese tiempo, el arco y la flecha también fueron tecnologías disruptivas. A partir de allí, la carrera por disponer de "mayores alcances" continúa, por lo que la vigencia de los sistemas de apoyo de fuego de armas pesadas es ciertamente indiscutible.

²⁶ Center for a New American Security (CNAS). B. FitzGerald; S. Brimley. <https://www.cnas.org/publications/reports/creative-disruption-technology-strategy-and-the-future-of-the-global-defense-industry>

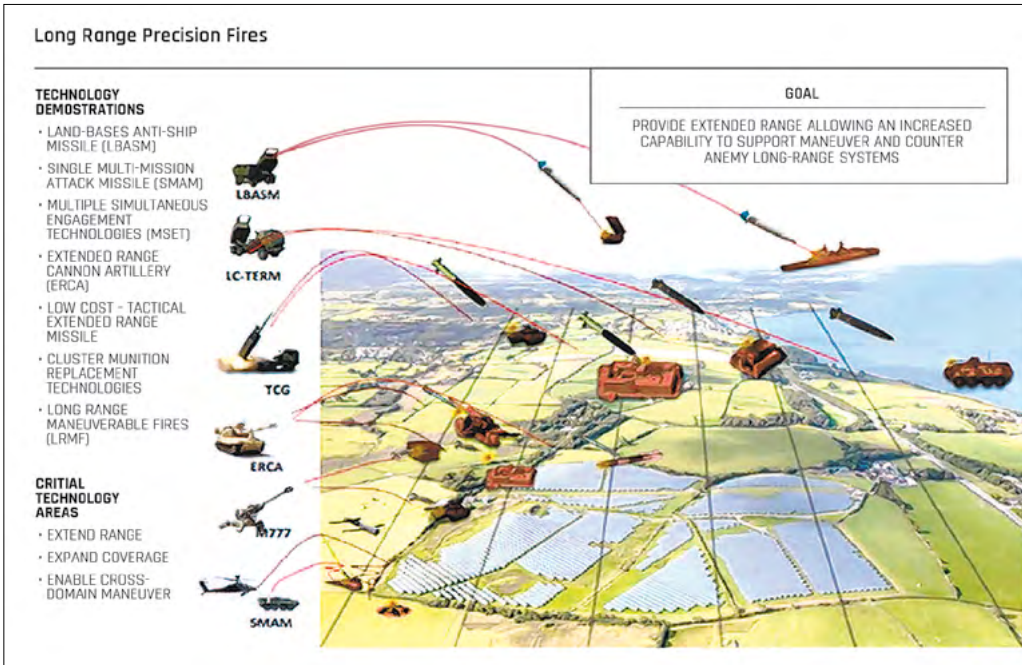
²⁷ "Game changer": "A newly introduced element or factor that changes an existing situation or activity in a significant way": <https://www.merriam-webster.com/dictionary/game%20changer>.

²⁸ PATRICIA LÓPEZ VICENTE (2009): "Tecnologías Disruptivas. Mirando el futuro Tecnológico". Boletín de Observación Tecnológica Defensa N° 25.

²⁹ Ídem.

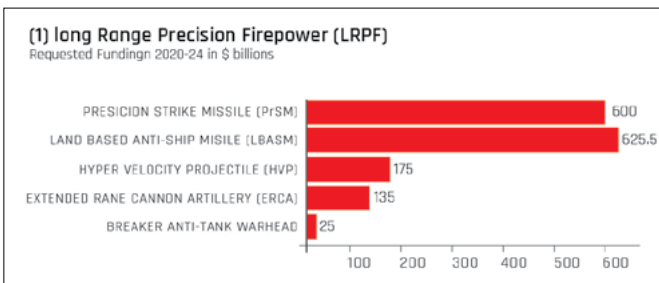
³⁰ <https://www.ausa.org/events/global-force-symposium-exposition-2018/sessions/improving-long-range-precision-fires-joint>

FIGURA 3: LONG RANGE PRECISION FIRES. (LRPF)



Del 26 al 28 de septiembre de 2018 se realizó en Estados Unidos el Simposio “**FUTURE INDIRECT FIRES USA – 2018**”³¹, que tuvo por objetivo destacar la importancia que ese país da a la capacidad de “*Long Range Precision Fires*” y a la aplicación de nuevas tecnologías para alcanzar ese objetivo. Se disertó acerca de los avances alcanzados por el “*LRPF-CFT*”³² específico, con el objetivo de obtener la superioridad en combate sobre los “*peer-competitors*”³³. Asimismo, se destacó

FIGURA 4: RECURSOS PRESUPUESTARIOS ASIGNADOS PARA “LONG RANGE PRECISION FIRES” (LRPF).



el incremento en la asignación de recursos presupuestarios plurianuales en esta área para el año 2019 y sucesivos.

En el **Ejército de Estados Unidos**, la necesidad de LRPF es planificada y llevada adelante a través de dos líneas de trabajo principales:

> Mayor alcance y precisión para las **Armas de Tubo**, actuales y futuras, mediante:

31 <https://futureindirectfires.iqpc.com/>

32 “Long Range Precision Fires – Cross Functional Team”.

33 “Peer competitors”: También empleada la expresión “peer to peer”. Hace referencia a la comparación “entre pares”, o sea ente contendientes que disponen de similares capacidades.

- > Modernización de armas actuales.
- > Desarrollo de nuevas armas.
- > Desarrollo de nuevas municiones.
- > Mayor precisión y letalidad en **Sistemas de Misiles** orgánicos. (*Precision Strike Missile Program*).

En el presente trabajo, nos enfocaremos en las características, estado del arte y evolución de algunas **tecnologías disruptivas** que serían de interés para los LRPF. Particularmente, lo relacionado al aprovechamiento de las tecnologías de **velocidades hipersónicas**.

Si bien las mismas están en desarrollo y podemos considerarlas por ahora *tecnologías emergentes*, se convertirán en *disruptivas* cuando alcancen su madurez, teniendo a partir de ese momento un enorme impacto en las capacidades militares y las relaciones de poder entre las Fuerzas Armadas de los países.

A. El cañón electromagnético: Railgun

1. Antecedentes

De acuerdo al informe realizado por el **US Congressional Research Service** (2016) "*Navy Lasers, Railgun and Hypervelocity Projectile: Background and issues for Congress*"³⁴, la Marina de Estados Unidos comenzó hacia el 2005 la búsqueda de un sistema de armas que permitiera incrementar el alcance y la precisión de sus fuegos de artillería de los buques, en apoyo de operaciones de desembarco de la Infantería de Marina. Y los desarrollos asociados a ese programa se orientaban al concepto del tipo "Cañón Electromagnético" o "Railgun".

Hacia el año 2011, se amplió el alcance de los citados programas a la búsqueda de Sistemas de Armas de Energía Directa (DEW), que proporcionaran además defensa aérea eficaz para las unidades de su flota, cada vez más vulnerables a la amenaza de nuevos misiles de crucero, los sofisticados UAS con capacidad letal y el surgimiento incipiente de los misiles hipersónicos.

Para ello se redefinieron dos áreas de investigación y desarrollo principales: Una de ellas enfocada en el desarrollo del Railgun y su Hypervelocity Projectile (HVP), para operar independientemente o en conjunto con el otro área de interés, el de los Sistemas de Armas de Energía Directa (DEW), particularmente Láser de Alta Potencia (HEL) del tipo Solid State (SSL's).

El aspecto más importante a destacar es que ambos tipos de armas (*Laser* y *Railgun*) debían emplear como fuente de energía y reservorio para el funcionamiento integral de ambos sistemas, la obtenida de las fuentes de poder propias de los buques. Por esta razón, ambos programas estaban condicionados por la capacidad de esas naves de disponer de energía remanente que pudiera ser destinada al disparo de las nuevas armas. En virtud de ello, se concluyó en ese momento, que sólo podrían ser emplazadas y funcionar eficientemente, en grandes plataformas como las navales de superficie.

En ambos casos, las principales ventajas de este tipo de armas son la "capacidad de disparo ilimitada" para el caso del **Laser**, y para el caso del **Railgun**, el incremento en la dotación de munición, así como los menores riesgos en el almacenamiento de las mismas, al disparar un proyectil completamente inerte y que no requiere el empleo de propulsantes. Todo ello brinda una excepcional condición de seguridad para los buques, que no contendrían en sus bodegas material explosivo almacenado, principal vulnerabilidad de estos al ser impactados.

³⁴ Ronald O' Rourke. US Congressional Research Service: "Navy Lasers, Railgun and Hypervelocity Projectile: Background and issues for Congress", 2016.

Tal cual expresa el citado documento, si el desarrollo de cualquiera de estas innovadoras tecnologías de armamento, permitiera finalizar en un sistema de armas completamente operativo, la aplicación de estas tecnologías disruptivas, convertirían a los sistemas en verdaderos “*Game Changer*”³⁵, por las enormes ventajas que otorgan a quienes las dispongan, frente a sus oponentes.

Las grandes potencias, como **Rusia** y **China**, observaron muy tempranamente la tendencia y se estima que prácticamente en forma paralela a los **Estados Unidos**, comenzaron sus propios desarrollos de HEL³⁶ y Cañones Electromagnéticos. Si bien los sistemas mencionados fueron concebidos inicialmente como “Armamento de uso naval”, la experiencia adquirida con el Hypervelocity Projectile (HPV), ha evolucionado como un programa de particular interés para otras fuerzas, analizándose el empleo del HVP incluso para la artillería de campaña del Ejército de Estados Unidos, como veremos más adelante.

Además de los países mencionados, **India** y **Turquía** llevan adelante sus proyectos e EMRG. En el caso de Turquía, en noviembre de 2018 se anunció el éxito en las evaluaciones de su prototipo de EMRG, denominado “Tubitak Sapan” con velocidades de hasta 7.5 MACH.³⁷

En el presente trabajo y por su carácter de “tecnologías disruptivas”, vamos a detenernos en el “Electromagnetic Railgun” (EMRG) y su revolucionario “Proyectil de Hipervelocidad”(HVP).

2. Concepto de “Electromagnetic Railgun” (EMRG)

Desde la invención de la pólvora hasta nuestros días, los sistemas de propulsión (para armas de tubo) están basados en la conversión de energía química almacenada en el propulsante, en energía cinética de gases que, a su vez, impulsan al proyectil, acelerándolo a través del tubo hasta alcanzar su máxima velocidad al abandonar la boca del cañón. El concepto del “cañón electromagnético” y su estado del arte actual son el resultado de las sucesivas iteraciones de una vieja idea. Hay antecedentes de patentes desde 1921 y una importante cantidad de prototipos de baja potencia, que han sido realizados en laboratorios y universidades, así como por aficionados de muchos países.³⁸

¿Qué es lo que hace verdaderamente revolucionario al EMRG? Que básicamente se trata de un dispositivo que, empleando fuerzas electromagnéticas, logra impulsar un proyectil a velocidades que hasta triplican los valores obtenidos para los sistemas convencionales de propulsión con pólvoras. En contraste con los sistemas en base a energía química, el EMRG emplea el concepto denominado “Fuerzas de Lorentz”³⁹. Convenientemente aplicado, permite que la sumatoria de las Fuerzas resultantes de la interacción entre un campo eléctrico y uno magnético, generado por el paso de una corriente eléctrica de gran intensidad, produzca la Fuerza necesaria para acelerar hasta alcanzar grandes velocidades, a un proyectil montado sobre una armadura de metal conductor.

Las velocidades alcanzadas a escala de laboratorio y el desarrollo sucesivo de prototipos de empleo militar del EMRG han permitido obtener valores de entre MACH 6 y 7, medidos a nivel

35 “*Game changer*”: “A newly introduced element or factor that changes an existing situation or activity in a significant way”: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/game%20changer>

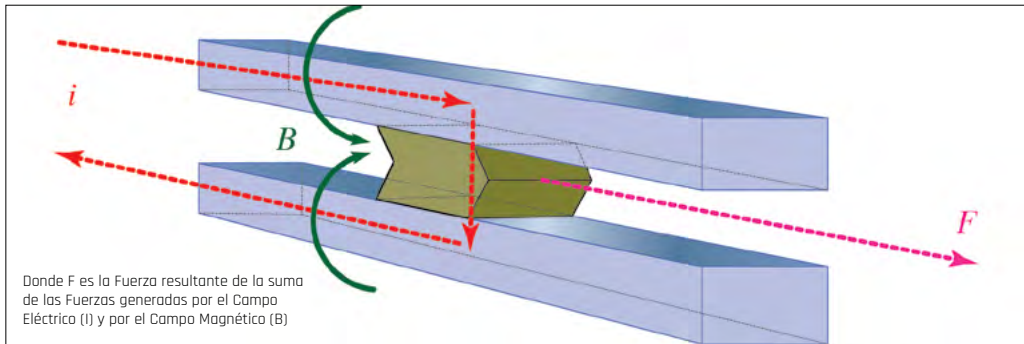
36 HEL: High Energy Laser.

37 https://www.globalsecurity.org/wmd/library/news/turkey/2018/turkey-181112-sputnik01.htm?_m=3n%252e002a%252e2423%252eqa0ao0coep%252e28av.

38 <https://www.raytheon.com/news/feature/railgun>.

39 La “Fuerza de Lorentz” es aquella obtenida por la acción de campos electromagnéticos, generados por el paso de una corriente eléctrica. Este concepto fue postulado por Hendrik Lorentz en 1892. Fuente: <http://folk.ntnu.no/mortest/lorentzforce.pdf>.

FIGURA 5: FUERZAS DE LORENTZ

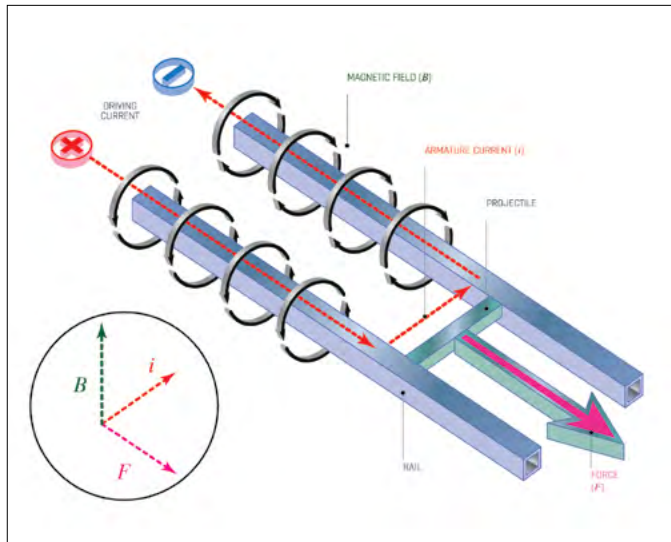


del mar⁴⁰. Grandes velocidades permiten a un proyectil de 10,5 kilos (23 libras es el diseño actual) obtener alcances de hasta 100Nmi⁴¹ (185,2 kilómetros).

Como dato de interés, se ha ensayado incluso el disparo de ráfagas de proyectiles de 140 gramos para ser empleado en sistemas de defensa antiaérea, con velocidades superiores a MACH 7.⁴²

Sin embargo, impulsar un proyectil que alcanza velocidades de entre MACH 6 y 7 requiere una cantidad de energía enorme, entregada en un tiempo de milisegundos. Como parámetro de diseño para el sistema, la Marina de Estados Unidos se ha puesto el objetivo de obtener valores de energía instantánea al momento del disparo de hasta 32 Megajoules⁴³.

FIGURA 6: ESQUEMA CONCEPTUAL DE RAILGUN (EMRG)



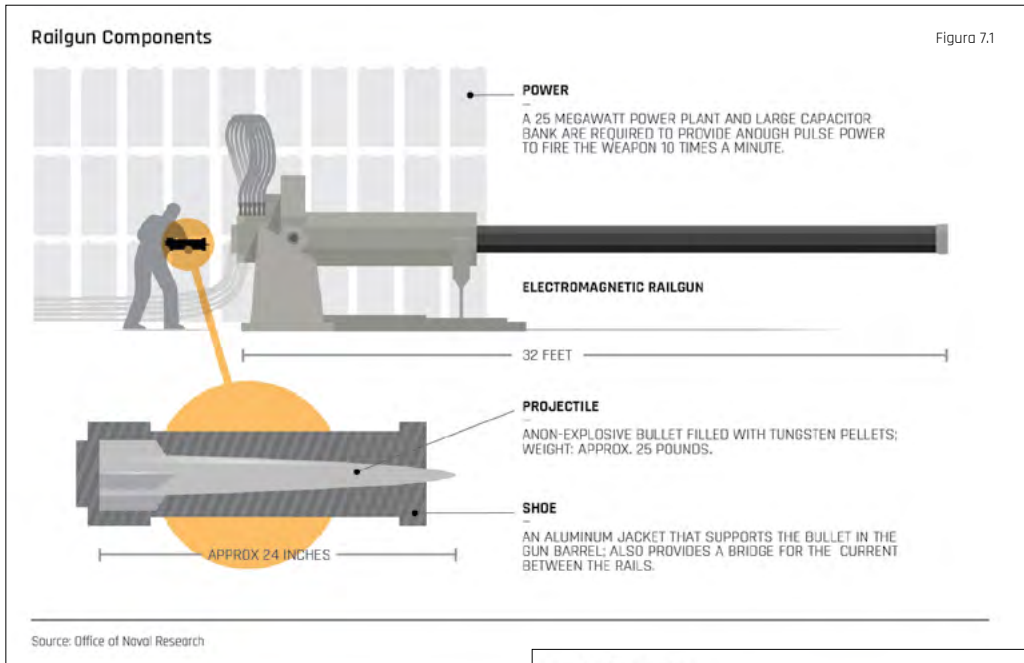
40 Número de MACH: Es una relación entre dos velocidades: la velocidad a la que se mueve un determinado objeto en el aire, respecto de la velocidad del sonido en ese mismo medio y en las mismas condiciones. Toma la velocidad del sonido como referencia. Por lo tanto, un móvil que se desplaza a MACH 1, lo hace a igual velocidad que las ondas de sonido en ese mismo medio. Por su parte, la velocidad del sonido es la dinámica de propagación de las ondas sonoras. En la atmósfera terrestre es de 343,2 m/s (a 20 °C de temperatura, con 50 % de humedad y a nivel del mar).

41 Milla náutica (Nmi). Es una unidad de longitud empleada en navegación marítima y aérea. En la actualidad, la definición internacional, adoptada en 1929, es el valor convencional de 1852 m, que es aproximadamente la longitud de un arco de 1' (un minuto de arco, la sesentava parte de un grado sexagesimal) de latitud terrestre. Fuente: Sea Charts Fundamentals. https://msi.nga.mil/MSISiteContent/StaticFiles/NAV_PUBS/APN/Chapt-03.pdf

42 IEEE - J. Gallant, T. Vancaeyzele, B. Lauwens, B. Wild, F. Alouhab, M. Schneider. "Design Considerations for an Electromagnetic Railgun Firing Intelligent Bursts to be Used Against Anti-Ship Missiles". Fuente: <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>, 2015.

43 Definición de Megajoule: "1 Megajoule es una medida de la energía asociada con una determinada masa viajando a cierta velocidad". En términos simples: Un vehículo de 1 Ton que se desplaza a 160 Km/h equivale a 1 MJ de energía" Fuente: Office of Naval Research Public Affairs, "Navy Sets New World Record with Electromagnetic Railgun Demonstration," Navy News Service, 10 de diciembre de 2010. http://www.navy.mil/submit/display.asp?story_id=57690.

FIGURA 7: ESQUEMA FUNCIONAL Y CAPACIDADES DEL RAILGUN



En su **esquema básico**, un EMRG debe estar integrado al menos por los siguientes **subsistemas**⁴⁴:

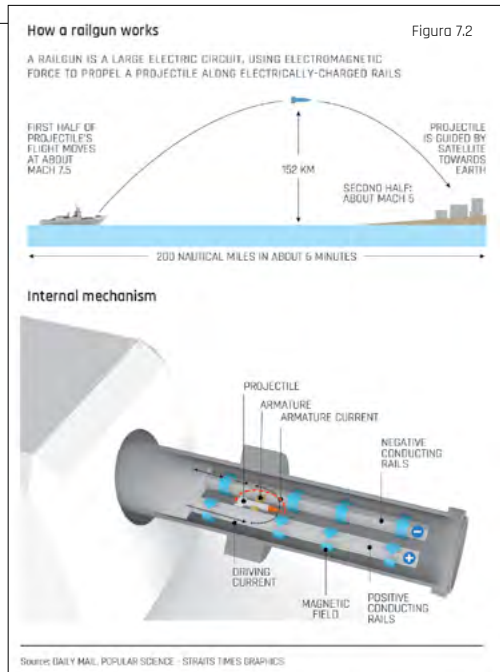
a. Subsistema Eléctrico

Requiere disponer de:

- > Capacidad de generación de suficiente energía eléctrica.
- > Capacidad de **almacenamiento** de energía mediante el empleo de capacitores.
- > Capacidad de **entregar esa energía** en un lapso de milisegundos, que permita acelerar el proyectil a grandes velocidades.
- > Capacidad de **repetir el ciclo completo** en muy pocos segundos. (Como para satisfacer el requerimiento de una cadencia de fuego de 6 a 10 disp/min.)

b. Subsistema Inyector

Requiere disponer de la capacidad de acelerar previamente al proyectil, antes



⁴⁴ American Institute of A&A. – Caltech Univ. "Design, fabrication and testing of an Electromagnetic Rail Gun". <http://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1059&context=aerosp>.

que este alcance los rieles conductores. Esa acción está a cargo del subsistema Inyector. Para el mismo se emplean diferentes tecnologías, entre las que se puede citar la inyección de gases a presión, de forma tal de “preacelerar” el conjunto hasta unos 300m/s⁴⁵. Esa aceleración previa resulta imprescindible, debido a que si el proyectil recibiera el enorme pulso de energía estando en reposo o aún a baja velocidad, directamente se fundiría en los rieles e inhabilitaría el arma. (*Recordemos la aceleración necesaria para que en pocos metros, el proyectil alcance velocidades entre MACH 6 y 7*). Cuanto mayor sea la velocidad inicial que el inyector pueda imprimir al proyectil, mayor será a su vez la energía que el sistema eléctrico puede ahorrar para la segunda y vital fase de aceleración.

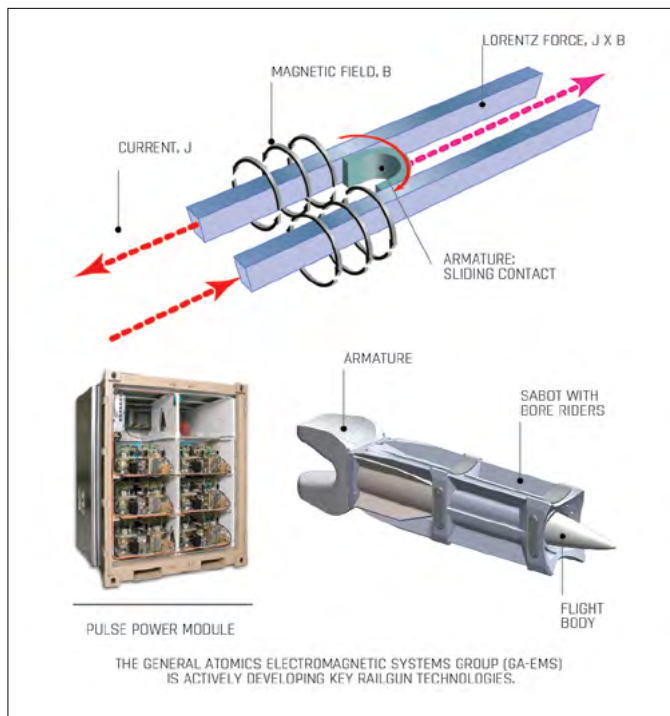
c. Rieles conductores

Es uno de los subsistemas de mayor importancia en un EMRG y componente responsable de convertir la energía eléctrica en energía cinética. La tasa de conversión de energía eléctrica en cinética, puede ser controlada mediante las dimensiones y la distancia entre rieles. Esta conversión crea una enorme cantidad de fuerza en el proyectil, pero también en los rieles conductores. Es todo un desafío para la ingeniería de diseño y desarrollo lograr que los rieles y la estructura toda soporten las enormes cargas mecánicas y térmicas que el disparo genera. Se trabaja desde hace años en la búsqueda de nuevos materiales que presenten mejores prestaciones para responder a los requerimientos termo-mecánicos extraordinarios, garantizando además una vida útil razonable al sistema.

d. Proyectil

El “conjunto proyectil” debe ser conductor. Para ello, la solución técnica se ha orientado a diseñar un tipo de proyectil que en la etapa de disparo y movimiento sobre los rieles se desplace contenido en un “conjunto guía” conductor (Del tipo sabot) y que garantice la conversión de esa energía eléctrica en fuerza, entregada al proyectil para su aceleración. Como mencionamos anteriormente, todo el conjunto debe estar realizado con materiales que tengan propiedades mecánicas y térmicas muy

FIGURA 8: COMPONENTES BÁSICOS DEL RAILGUN



⁴⁵ <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a187225.pdf>. Pág. 4.

especiales, en particular altos puntos de fusión. Ello permite mantener su forma y estructura intactas durante el disparo, sin producir además daños al sistema de rieles conductores.

Ventajas del sistema:

- a. Armas de menores dimensiones y peso. Los proyectiles impulsados por pólvoras, tienen como condicionante las elevadas presiones generadas por el disparo, que demandan necesariamente armas de grandes dimensiones y peso, así como sofisticados vínculos elásticos y sistemas amortiguadores del retroceso y recuperación del arma en batería⁴⁶. Todo ello resulta innecesario para el EMRG.
- b. Proyectiles de menor calibre y más livianos. Al no emplear carga explosiva, no resulta necesario un gran volumen disponible para esta. Ello permite menores diámetros (Y calibres) y un mejor perfil aerodinámico. Además, la gran velocidad alcanzada por el proyectil en el extremo del arma, compensa la necesidad de una gran masa para mantener una velocidad remanente adecuada al momento del impacto (efecto de balística terminal).
- c. Mayores alcances. Producto de las mayores velocidades iniciales que se pueden obtener y el mantenimiento de la velocidad remanente. Permiten además trayectorias más tendidas.
- d. Proyectil sin carga explosiva (sólo energía cinética). Como mencionamos antes, la velocidad alcanzada por los proyectiles permite basar su efecto terminal en energía cinética, o que reduce la cantidad de material explosivo que deben cargar los buques en sus bodegas y, por ende, un menor riesgo de explosión en la plataforma (*Uno de los aspectos que hace más vulnerables a las plataformas navales es la gran cantidad de material explosivo que almacenan en sus bodegas para el combate*)⁴⁷.
- e. Simplifica el mecanismo de disparo: Permite la realización de disparos con mayor cadencia de fuego. Se simplifica el proceso de carga de la munición (*en la de tipo convencional requiere del proyectil y su propulsante, con o sin vaina*). En el caso del EMRG, sólo se requiere la recarga del proyectil y no resulta necesario un mecanismo de extracción de la vaina.
- f. Menor tiempo para batir o alcanzar el blanco: Un proyectil que se desplaza a velocidad dos o tres veces superior a la de un proyectil convencional redundará en menor tiempo de reacción y dificultad de aplicar contramedidas por parte del oponente.
- g. Disparo silencioso: al no existir el estampido propio de la salida violenta de los gases por el tubo cañón, típico de las armas de fuego, el disparo es extremadamente silencioso para un arma de ese porte y calibre. Según mediciones realizadas en los test, el sonido producido es similar en decibeles a los de un fusil de calibre 7.62mm y los gases producidos en la boca del cañón, son resultado de partículas contenidas en el aire, que junto con el proyectil abandonan la boca del arma a muy altas velocidades.

Desventajas del sistema:

- a. La plataforma debe disponer de una enorme capacidad de generación y almacenamiento de energía para cada disparo. Además, para lograr una alta cadencia de disparo, la capacidad de recuperación de esa energía almacenada debe ser muy alta. Este aspecto

⁴⁶ A modo de referencia, un moderno tanque de batalla como el M1 Abrams dispara un proyectil APFSDS de 120mm (M829A3) a 1550 m/s (Mach 4.5) y requiere una plataforma de 60Tn. Obviamente, gran parte de ese peso total, tiene que ver además con las necesidades de blindaje adecuadas para esa plataforma.

⁴⁷ Hace años se trabaja además en el desarrollo de las denominadas "Insensitive munition (IM)";

constituye aún uno de los *desafíos tecnológicos no debidamente resueltos*, como para hacer operativo el sistema.

- b. El manejo adecuado de la enorme "carga térmica" que implica el almacenamiento en escasos segundos de una importante cantidad de energía, y su descarga en un tiempo inferior a 1 milisegundo, resulta otro desafío tecnológico aún por resolver.
- c. El gran efecto erosivo del proyectil sobre el sistema de rieles guía del arma se debe a las altas velocidades y al disparo en rápida secuencia. En los ensayos iniciales, los prototipos no resisten más que unos pocos disparos, por lo que la solución de este aspecto es también un serio condicionante para el desarrollo.

3. Por qué es necesario un RAILGUN

Como mencionamos anteriormente, desde 2005 la **Marina de Estados Unidos** ha estado en la búsqueda de EMRG, inicialmente como arma de apoyo de fuego de artillería naval. La amenaza potencial de las fuerzas de defensa costeras hizo necesario cada vez mayores alcances para el armamento de los buques, y las características especiales del EMRG aseguraban alcances de hasta 185.2 kilómetros (100Nmi) con absoluta precisión, al emplear proyectiles guiados.

Avanzado el programa y dada la extrema precisión de sus proyectiles, en diciembre de 2014 se amplió el objetivo impuesto para el proyecto EMRG, siendo requerido también su empleo como complemento de la defensa aérea contra misiles balísticos (ICBM), misiles de crucero antibuque (ASCM) y Armas Hipersónicas⁴⁸.

Lo expresado en el párrafo anterior se fundamenta en que los sistemas de defensa aérea y misilística, incluso de las flotas más modernas, están basados en conceptos de doctrina de empleo de la década de los 80. Los mismos están organizados y operan con sofisticados sistemas de radar que se han ido modernizando paulatinamente y misiles de generación avanzada. Sin embargo, se estima que podrían resultar ineficaces frente a la amenaza de las nuevas armas de hipervelocidad, e incluso frente a un ataque masivo de posibles "enjambres" de sistemas letales.

Por otra parte, aunque se dispusiera del más moderno de los sistemas de misiles, como puede ser el caso del Standard Missile (SM-3), operando junto al sofisticado sistema de C² AEGIS, dispondría de una capacidad limitada de misiles en los lanzadores. Ante el caso de un ataque masivo de proyectiles (HVP) y una vez consumidos los misiles del sistema defensivo, esto obligaría al buque a una operación de reabastecimiento que solo podría realizarse sustrayéndolo de las operaciones. Además, el costo promedio de cada Misil SM-3 es US\$ 11 M, frente al bajo costo relativo de los HVP (Estimado US\$ 80.000) y la capacidad de hacer fuego de forma prácticamente ilimitada del EMRG.

Otro aspecto que amplía la gama de empleos posibles del RAILGUN + HVP y ha impulsado su desarrollo es la cancelación en el 2015 del proyecto LRLAP (Long Range Land Attack Projectile)⁴⁹. Este proyectil se desarrollaba para ser disparado en el sistema AGS (Advanced Gun System), equipado con cañones de artillería naval calibre 155mm/L62, especialmente diseñados como sistema de armas de los destructores DDG "Zumwalt-Class", para los fuegos de artillería en apoyo a las operaciones de desembarco. Lo cierto es que ya hay tres buques de esa clase en condiciones de servicio, sus baterías 155/L62 están instaladas y aún no se dispone de munición para sus armas. Y allí es donde el HVP ha surgido como una *interesante solución alternativa*.

⁴⁸ USNI News: Sam LaGrone "Navy Wants Rail Guns to Fight Ballistic and Supersonic Missiles", 2015.

⁴⁹ <http://www.ceptm.iue.edu.ar/index.php/2016/12/15/el-proyectil-guiado-de-artilleria-excalibur-que-reemplazaria-a-los-lrlap-long-range-land-attack-projectile-en-los-navios-clase-zumwalt-de-la-us-navy/>

Por lo expresado, el sistema RAILGUN + HPV se posiciona como una promisoriosa opción para diferentes alternativas de empleo, contra amenazas aéreas o para fuegos de apoyo terrestre, con un tipo de munición guiada de bajo costo relativo, con una gran capacidad de almacenamiento (Alta disponibilidad), con un alcance muy superior a los actuales y además una alta cadencia de fuego⁵⁰.

4. Estado del Arte: Principales Proyectos

Como mencionamos anteriormente, lo que presentamos a continuación es la información de carácter público que los organismos gubernamentales y/o empresas ponen a disposición acerca de estos proyectos de carácter estratégico.

Además, si bien se tiene conocimiento de que tanto **Rusia** como **China** llevan adelante importantes desarrollos en esta área, así como **India** y **Turquía** en menor escala, resulta más difícil obtener información de esos países que pueda considerarse válida o de fuentes con suficiente credibilidad como para exponerlas.

a. Estados Unidos: Proyecto Electromagnetic Railgun (EMRG - Innovative Naval Prototype)

El proyecto EMRG de Estados Unidos consiste en un avanzado “demostrador tecnológico”, capaz de entregar una energía de entre 20 y 32MJ en el extremo del arma, lo que permitiría al proyectil obtener alcances entre 50 y 100 millas náuticas (Nmi). Como proyectos asociados y acompañando al desarrollo del EMRG, se avanzó en investigación y desarrollo tanto del Proyectil Hipersónico (HVP) como del conjunto Generación y Entrega de Energía requerido por el sistema⁵¹.

El proyecto se inició en el año 2005 con la **Fase I (Factibilidad -Validación del concepto)** y se enfocó durante varios años en el desarrollo del sistema lanzador, que debería ser capaz de alcanzar los 32MJ requeridos, así como el desarrollo del proyectil y del sistema de energía, en escala de laboratorio. Para ello, la Marina de Estados Unidos seleccionó y otorgó financiamiento plurianual a dos empresas, **BAE Systems** y **GENERAL ATOMICS (GA)** para desarrollar simultáneamente sus proyectos⁵².

Si bien el objetivo para ambas empresas era el desarrollo de EMRG de 32 MJ, GENERAL ATOMICS, con su sistema denominado “Blitzer”, desarrolló además una variante de 3 MJ.

En diciembre de 2010, se produjo un hecho histórico para la Marina de Estados Unidos, cuando en el “*Naval Surface Warfare Center*”, se disparó el prototipo de laboratorio de BAE Systems. Según lo expresado por la US ONR (*Office Naval Research*) en el informe de ese día, los ensayos de laboratorio permitieron verificar que el sistema es capaz de entregar la energía de 32MJ en menos de un milisegundo, y así lograr que el proyectil de 10.5 kilos de peso, obtenga velocidades en la boca del arma de hasta MACH 6 y el alcance requerido de 110Nmi (203 kilómetros). También en el año 2010, GA realizó ensayos exitosos con su prototipo “Blitzer” cuyo proyectil alcanzó una velocidad de Mach 5, según el reporte emitido por la empresa⁵³.

Consultando los sucesivos reportes disponibles en los sitios web de ambas empresas, se puede concluir que la **Fase I finalizó en el 2012** habiendo alcanzado los objetivos buscados.

⁵⁰ Sam LaGrone, “Navy Wants Rail Guns to Fight Ballistic and Supersonic Missiles,” *USNI News*, 5 de enero de 2015.

⁵¹ BAE SYSTEMS. <https://www.baesystems.com/en/product/electromagnetic--em---railgun>.

⁵² Fuente: <https://www.dsiac.org/resources/journals/dsiac/summer-2015-volume-2-number-3/hypervelocity-projectiles-technology>.

⁵³ Fuente: <http://www.ga.com/blitzer-successfully-completes-aerodynamic-projectiles-testing>.

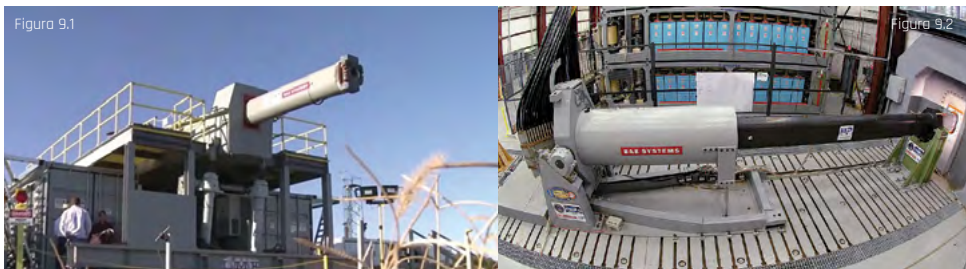
La **Fase II** (*Transición a un programa de adquisición*) se inició en el año 2012, como la evolución de un Programa de Investigación hacia un *Programa de Desarrollo y Experimentación*.

Esta **Fase II** se enfocó principalmente en el desarrollo de componentes, tanto para el arma como para el sistema de energía, que debían ser capaces de soportar esfuerzos mecánicos y cargas térmicas causados por la ejecución de disparos en rápida cadencia, requerimiento vital para la operatividad del sistema. El manejo adecuado de la transición del *"disparo único"* en laboratorio al *"disparo en rápida cadencia"* es, sin lugar a dudas, el desafío tecnológico actual.

Al finalizar las evaluaciones de los respectivos prototipos en el 2012, ambas empresas continuaron con presupuestos asignados por la Marina de Estados Unidos. Particularmente, **BAE Systems** recibió en el año 2013 un presupuesto de 34,5 millones de dólares para continuar en esta etapa.

Como expresara el Gerente General of Weapons Systems de BAE: *"Nosotros estamos comprometidos en desarrollar esta tecnología verdaderamente innovadora y disruptiva, que producirá cambios revolucionarios en el combate naval"*⁵⁴.

FIGURA 9: BAE SYSTEMS - PROTOTIPO DE RAILGUN



En el año 2014 se resolvió la instalación en una plataforma naval (Un buque del tipo JHSV-*Joint High Speed Vessel*), para realizar ensayos, del prototipo de **BAE Systems**, para iniciar en el 2016 los ensayos en mar. A la fecha, no hay información acerca de que esto se haya concretado. No obstante lo cual, lo planificado es que los sistemas comiencen a estar operativos entre 2020 y 2025.

Como dato de interés, la empresa **General Atomics (GA)** desde un principio observó la potencialidad de esta tecnología y, en base a la enorme experiencia adquirida en la etapa inicial, se contac-

FIGURA 10: GENERAL ATOMICS (GA) - PROTOTIPO DE RAILGUN



⁵⁴ Fuente: BAE SYSTEMS: <https://www.baesystems.com/en/product/electromagnetic--em---railgun>.

tó con el **Ejército de Estados Unidos** para ofrecerle alternativas que resultaran de utilidad para los sistemas de artillería de esa Fuerza. **GA** apuesta a maximizar el beneficio de las capacidades y experiencia adquiridas en una tecnología verdaderamente revolucionaria y con gran futuro. Por esa razón y como veremos más adelante, **GA** ha sido la empresa seleccionada por el **Ejército de Estados Unidos** para el desarrollo de una familia de **EMRG de uso en la artillería terrestre** con un rango variable de energía disponible entre 3 a 64 MJ.

b. Proyecto de CHINA:

Durante las últimas décadas, China ha estado llevando adelante proyectos de carácter estratégico y bajo las más estrictas condiciones de confidencialidad. Las prioridades fijadas por sus líderes incluyen: *Armas de Energía Directa (DEW) – Armas Hipersónicas – Electromagnetic railgun - Maneuverable Reentry Vehicles (MRV) – Sistemas Autónomos letales*⁵⁵.

Existen varios programas relacionados con el aprovechamiento de la Energía para el desarrollo de Sistemas Letales, específicamente las armas electromagnéticas. Estos programas están bajo la órbita de responsabilidad del CASIC (*China Aerospace Science Industrial Corporation*), uno de los conglomerados estatales más importantes de la industria del armamento chino. En ese marco, al menos 22 institutos de ingeniería chinos, estuvieron abocados desde 2007 al estudio de los sistemas de Propulsión Electromagnética.

Según expertos en la materia, el liderazgo que durante años tuvo Estados Unidos en la “carrera” para el desarrollo de Armas de Energía Directa (DEW), podría haber sido superado por sus competidores, en especial por China. Es que mientras Estados Unidos tuvo sus altibajos en las asignaciones presupuestarias específicas para estos innovadores desarrollos en los últimos años, China ha mantenido una política definida y constante en esta área.

Las potencias reconocen que los programas de armamento más moderno, podrían tener un *efecto disruptivo* en el campo militar, generando situaciones de potencial desequilibrio de fuerzas, tanto para Estados Unidos como para sus aliados de la región Asia Pacífico⁵⁶. “*Medium and long-term plan for development of Science and technology (2006 – 2020)*”, “*Made in China 2025*”, son algunos de los Planes plurianuales implementados por China para cumplir el objetivo de achicar / anular la brecha tecnológica con Estados Unidos⁵⁷.

Para las autoridades chinas, el camino a recorrer para obtener ventajas tecnológicas sobre sus adversarios, requiere de: Objetivo claro – Tiempo – Presupuesto. Tres aspectos que por las características propias de su régimen de gobierno, gestionan con menores complicaciones y burocracia que en las democracias occidentales.

En la “*7th Chinese Electromagnetic Technology Conference*” realizada en octubre de 2015 por el “206th Institute” dependiente del CASIC, se expresó que las investigaciones en Sistemas Electromagnéticos de Lanzamiento, específicamente aplicados a misiles y EMRG, permitirán proporcionar nuevas capacidades para los sistemas de armas de combate cercano (CIWS)⁵⁸.

El desarrollo e implementación de *plataformas lanzadoras de aeronaves* desde portaaerones, denominadas EMALS (*Electromagnetic Launch Systems*), le permitió a China adqui-

55 US- China Security Commission: https://www.uscc.gov/sites/default/files/Annual_Report/Chapters/Chapter%204%2C%20Section%202%20-%20China%27s%20Pursuit%20of%20Advanced%20Weapons.pdf.

56 Idem.

57 Idem.

58 CIWS: Close-in Weapons System. Sistema de armas de combate cercano.

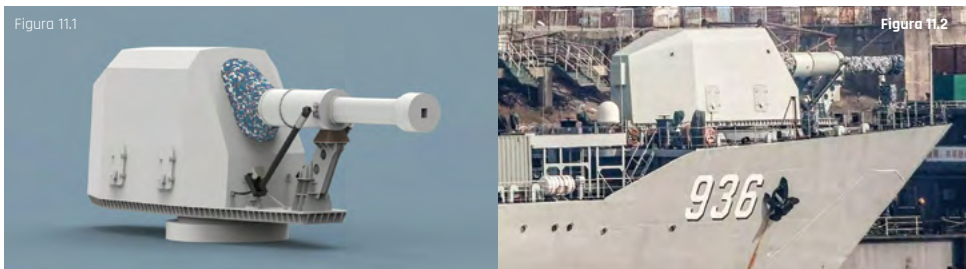
rir experiencia en el empleo de la energía almacenada, con la finalidad de propulsar grandes objetos. Lo que en un principio se desarrolló para el lanzamiento de aeronaves desde portaaviones, sirvió para comenzar a evaluar y experimentar desde 2005, con cañones electromagnéticos a escala de laboratorio⁵⁹.

Tanto es el interés en las posibilidades que ofrecen este tipo de armas, que en el 2016 el *Comandante Naval Alte (R) Zfao Dengping* expresó que los buques de la flota en el futuro estarán equipados con Armas Laser, Railguns y lanzadores de misiles asistidos electromagnéticamente, que permitirían incrementar incluso el alcance de esos vectores⁶⁰.

No obstante ello, por similitud a los desarrollos llevados a cabo por Estados Unidos, los principales problemas a resolver antes de pasar a la etapa operativa de estos sistemas, continúan siendo: *Escasa vida útil del lanzador* (por los enormes esfuerzos termo-mecánicos del disparo) – *Generación /Almacenamiento* de energía – *Gestión eficiente* de la generación y entrega de esa energía.

Si bien el proyecto se lleva adelante en el mayor de los secretos y resulta difícil acceder a información que contenga detalles técnicos de interés, en febrero de 2018 pudieron verse imágenes del EMRG que desarrolla el sector naval del PLA (*People Liberation Army*), instalado sobre uno de los buques de su flota. Dispararía un proyectil guiado con una velocidad de hasta MACH 7, capaz de batir blancos a 125Nmi⁶¹.

FIGURA 11: CHINA – PROTOTIPO DE CAÑÓN ELECTROMAGNETICO



La noticia tuvo gran difusión y llamó la atención a los especialistas en la materia, ya que desarrollos similares llevados adelante en Estados Unidos por **BAE Systems** y **GA** todavía no han pasado a la etapa de ensayos y evaluaciones operacionales en plataformas navales. Expertos en el tema no descartan que se trate de un prototipo funcional real, pero también especulan con que podría tratarse solamente de un “*Mock up*”⁶², cuya difusión estuviera relacionada con el incremento de la tensión en el *Mar del Sur de China*, con la finalidad de generar cierto grado de disuasión, al exponer capacidades aún no disponibles. En octubre de 2017, el Director de la PLA “*Naval University of Engineering*” reconoció, por primera vez, que el EMRG de ese país había pasado a la etapa de ensayos, al haber logrado integrar a buques de esa flota los sistemas de energía requeridos por estas armas.

⁵⁹ <https://www.popsci.com/china-electromagnetic-railgun-catapults#page-5>.

⁶⁰ Idem.

⁶¹ <http://www.ceptm.iue.edu.ar/index.php/2018/06/28/china-y-su-cañon-electromagnetica-railgun/>

⁶² En el proceso de manufactura/diseño, “mockup” o maqueta es un modelo a escala o tamaño real de un diseño o un dispositivo, utilizado para la demostración, evaluación, promoción y otros fines.

Según un informe del **RUSI** (*Royal United Service Institute of Defense*) de febrero de 2018, es probable que China se encuentre por delante de Estados Unidos, en cuanto a la instalación de los sistemas en los buques. Y ello se debe a que las plataformas navales chinas en desarrollo tienen prevista la incorporación de sistemas de armas (DEW, EMRG, etc.) que requerirán enormes cantidades de energía eléctrica, por lo que resultaría más sencilla y rápida su adecuación.

Finalmente, lo cierto es que China ha mantenido la continuidad en los desarrollos de EMRG, cumpliendo las etapas de los programas previstos, por lo que podría resultar creíble que se trate de un prototipo, que ya está siendo testeado en condiciones operativas de navegación⁶³.

Decididamente, el Gobierno de China también considera que los sistemas de armas, tanto los DEW como los EMRG, serán vitales para el éxito de las operaciones de guerra en un futuro no muy lejano.

c. Proyecto de RUSIA

Hace varias décadas que Rusia participa también en la “carrera” por el desarrollo de armas de propulsión electromagnética. El esfuerzo es llevado adelante por el “*United Institute of High Temperatures of the Russian Academy of Sciences*”. Por similitud al caso de China, toda la información sobre el tema es de carácter secreto, por lo que resulta difícil obtener información específica de las características de estos proyectos y su estado de avance.

A diferencia de Estados Unidos y de China, el objetivo que se fijaron los desarrollistas de Rusia resulta bastante más ambicioso que el de sus competidores, al inclinarse por una tecnología diferente a la del EMRG. En opinión de los expertos rusos, las armas de tipo EMRG, con el tradicional proyectil de entre 10 y 20 kilos acelerado en sendos rieles conductores tienen un límite tecnológico, condicionado por los efectos del rozamiento entre la armadura conductora y los rieles que no permitiría alcanzar velocidades superiores a MACH 7, además de la corta vida útil del sistema lanzador. Como mencionamos anteriormente, las enormes exigencias termomecánicas que debe soportar el sistema en el proceso de disparo y en rápida cadencia, obligarían al desarrollo de materiales especiales, capaces de resistir ciclos de disparo con ese grado de exigencia, a fin de asegurar una vida útil del arma de valores admisibles. Y el desarrollo de nuevos materiales aptos para soportar esas exigencias demanda plazos y recursos no disponibles actualmente.

Por esta razón, tal cual expresara en enero de 2017 el *Vice Primer Ministro de Rusia para la Defensa e Industria Aeroespacial, Yuri Borisov*, ese país está invirtiendo fuertemente en sistemas de armas de energía Directa (DEW), así como en “*Armas de Propulsión Electromagnética basadas en Plasma*”⁶⁴.

Existe una gran variedad de trabajos relacionados con el tema, por haber sido esta tecnología estudiada y desarrollada tanto por Estados Unidos como por Rusia, para su aplicación en la actividad aeroespacial, nuclear y potencialmente en el ámbito de la Defensa⁶⁵.

⁶³ https://taskandpurpose.com/china-electromagnetic-railgun-deployment/?utm_source=Sailthru&utm_medium=email&utm_campaign=ebb%206/26/18&utm_term=Editorial%20-%20Early%20Bird%20Brief.

⁶⁴ The independent: <https://www.independent.co.uk/news/world/europe/russia-laser-electromagnetic-plasma-weapons-military-kremlin-a7540716.html>.

⁶⁵ Review of scientific instruments (2009), D. Whitherspoon; A. Case y otros. “A contoured Coaxial plasma Gun with injected plasma Armature”. http://hyperv.com/pubs/RSINAK808083506_1.pdf.

Particularmente Rusia, desde la década de los 50, trabaja en la investigación de las propiedades de *"Jets de plasma"* de alta densidad y extrema velocidad, que tendrían múltiples aplicaciones tanto en la Propulsión de Vehículos Espaciales, como en el desarrollo Nuclear. Pero también, la posibilidad de impulsar objetos de una determinada masa a velocidades extremas, presenta una opción muy interesante para su aplicación en sistemas de artillería de largo alcance. Por ello, **Rusia** ha decidido avanzar en esta opción tecnológica, que es la de los *"Aceleradores Coaxiales electromagnéticos de plasma"*⁶⁶.

Se trata de dispositivos electromagnéticos, que emplean las Fuerzas de Lorenz auto-inducidas, para producir *Jets de plasma axiales*, que permitirían alcanzar velocidades muy superiores a los EMRG. Expertos en la materia mencionan velocidades de 50Km/s y superiores⁶⁷. Obviamente, se trata de valores teóricos y que solo se han podido obtener a escala de laboratorio y para proyectiles muy pequeños, (*gramos o fracciones de gramos*). Sin embargo, si esta tecnología alcanzara un grado de maduración suficiente, abriría un camino promisorio y completamente *"Disruptivo"* para quien disponga del "Know-how" para desarrollarla con la finalidad de su aplicación en sistemas de armas.

En julio de 2016 las autoridades del citado *Instituto Ruso* expresaron haber logrado acelerar un objeto de *100 gramos a una velocidad de 3000m/s*, o sea *MACH 8.7*⁶⁸. El citado reporte destaca que en los últimos dos años de trabajo han evolucionado exitosamente con prototipos de *0.8 a 4.8 MJ* de energía pulsada, teniendo como objetivo continuar con mayores valores tanto de energía como en el tamaño y masa de proyectiles.

Evidentemente **Rusia** ha elegido el camino más largo y que, en apariencia, lo posiciona por detrás de sus competidores, que se encuentran ya iniciando la etapa de ensayos operativos con sus respectivos sistemas. Sin embargo, de resultar exitosa la opción elegida, **Rusia** obtendría enormes ventajas sobre los sistemas EMRG, que podrían resultar obsoletos/ inferiores en prestaciones, frente a los alcances de los sistemas *"de plasma"*.

Es interesante recordar, además, que muchos especialistas en la materia expresan que los cañones electromagnéticos, tienen todas las condiciones para convertirse en la **"Artillería del Futuro"**. Por ello, quien adopte la tecnología que presenta mayor potencialidad para futuros desarrollos, habrá obtenido grandes ventajas.

Relacionado con esto, en septiembre de 2018, el *Comandante del US Futures Command* realizó una presentación ante el Congreso de ese país, en la cual expresó: *"Estamos comenzando el desarrollo de las armas hipersónicas y también evaluando lo que llamamos el Cañón Estratégico de Largo Alcance, el que podría tener un alcance de hasta 1.000 millas*

FIGURA 12: RUSIA - PROTOTIPO DE CAÑÓN ELECTROMAGNÉTICO



66 <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6463/aabd94/meta>.

67 IOP Science: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6463/aabd94/meta>.

68 Navy recognition: <http://www.navyrecognition.com/index.php/news/defence-news/2018/january-2018-navy-naval-defense-news/5880-russia-continues-r-d-work-on-electromagnetic-railgun.html>.

náuticas”⁶⁹. Y para ello, tal como lo hace Rusia, resulta necesario explorar otras tecnologías además de la del EMRG, por los “límites tecnológicos” que presenta para obtener esos enormes alcances.

Asimismo **Rusia**, al optar por esta tecnología, ha considerado el “*uso dual*” de esta como una herramienta adecuada para “*colocar en órbita*” cargas o abastecimientos para sus estaciones espaciales en el futuro⁷⁰. Esta tarea actualmente se realiza mediante el empleo de sistemas de cohetes “*portadores*” aptos para la colocación de satélites en órbita.

Desde que la idea fue propuesta en 1974 por el profesor de *Princeton University* *Gerard O’Neill*, las posibilidades de empleo del cañón electromagnético rápidamente se fueron expandiendo hacia otros campos, además de los específicos de la artillería.

Esas posibilidades incluyen también el empleo de estas tecnologías para la exploración del espacio y no debe pensarse en ello como un tema de “ciencia ficción”. Porque la idea siempre tentadora de emplear la propulsión electromagnética con fines militares no anula su utilización con propósitos científicos. Si bien resulta impensable “lanzar astronautas” a velocidades extremas, esta tecnología permitiría lanzar objetos del espacio a la tierra y viceversa⁷¹. Aunque pueda parecer algo inalcanzable, si consideramos que la “velocidad de escape”⁷² requerida para salir de la atmósfera terrestre es de 11.2Km/s (Mach 32.6)⁷³, no podemos descartar que en unos años, con tecnologías más “maduras”, se alcancen valores adecuados para el uso dual requerido por los programas espaciales.

Y esto abre una enorme cantidad de alternativas de interés para el empleo de este futurista sistema. Por ello, este es el camino que Rusia seleccionó para avanzar en esta tecnología⁷⁴.

d. RAYTHEON: desarrollo del módulo de energía

La clave del desarrollo del sistema de armas es lograr que, en un lapso de pocos segundos (Entre 5 y 6 segundos), se pueda generar, almacenar y entregar, una cantidad de energía de hasta 32Mj para impulsar el proyectil. Eso es una enorme cantidad de energía instantánea. Uno de los ingenieros de RAYTHEON que trabaja en el desarrollo de la unidad de almacenamiento y entrega de energía pulsada expresó: “*Si usted tiene una lámpara de 100Watts, encendida 24 horas durante 12 días, habrá entregado una potencia de 100MJ, Iluminando una habitación. Pero si esa energía es entregada en 1milisegundo, desaparecerá su casa y posiblemente la de su vecino también*”⁷⁵.

Para producir ese enorme “pulso”, la empresa RAYTHEON ha sido la contratada por la Marina de Estados Unidos a fin de diseñar el denominado “*Pulse Power Container*” (PPC). Se trata de un contenedor de 6 metros (largo) x 2,5 metros (Altura) que en su interior tiene capacitores, formados por docenas de pequeñas unidades interconectadas, denominadas

69 https://www.military.com/defensetech/2018/09/14/army-eyeing-strategic-cannon-tech-1000-mile-range.html?ESRC=dod_180921.nl

70 Sputnik news: <https://sputniknews.com/russia/201701091049399104-russia-railgun-tests/>

71 CEPTM “Mosconi”: El cañón electromagnético en la exploración espacial? <http://www.ceptm.iue.edu.ar/index.php/2017/06/02/el-canon-electromagnetico-en-la-exploracion-espacial-no-parece-ciencia-ficcion-despues-de-todo/>. Fuente original: <http://www.sciencetimes.com>.

72 Velocidad de escape: Velocidad requerida a un objeto, para poder vencer las fuerzas gravitatorias de la atmósfera terrestre. Para ello, la Energía Cinética del objeto debe superar la Energía Potencias gravitacional de la tierra, en el punto de salida. Fuente: <http://www.mathscareers.org.uk/article/escape-velocities/>

73 <https://www.britannica.com/science/escape-velocity>

74 CEPTM “Mosconi”: El cañón electromagnético en la exploración espacial? <http://www.ceptm.iue.edu.ar/index.php/2017/06/02/el-canon-electromagnetico-en-la-exploracion-espacial-no-parece-ciencia-ficcion-despues-de-todo/>. Fuente original: <http://www.sciencetimes.com>

75 <https://www.raytheon.com/news/feature/railgun>.

“Pulse Power Modules”. La función de cada uno de esos módulos es almacenar energía durante algunos segundos y ser capaz de entregarla instantáneamente. El encadenamiento de esos módulos y la liberación instantánea de energía en su conjunto, es lo que permite llegar a los 32MJ de energía liberada por disparo.

Por esa razón, la solución tecnológica que permita al conjunto ser capaz de recuperar la carga citada en pocos segundos, resulta la “clave” del sistema. Porque además, una de las exigencias del arma es que tenga capacidad para disparar 10 proy/min, lo cual implica que en menos de 6 segundos debe repetir el ciclo de almacenar y entregar instantáneamente la energía necesaria. Un desafío adicional es la forma en que se logre minimizar el efecto de la enorme “carga térmica” resultante de ese proceso cíclico de alta exigencia.

Atento a ello, quien logre desarrollar la mejor solución al “conjunto PPC” tiene ante sí la oportunidad de abastecer un mercado de enorme interés y proyección en un futuro cercano. Si bien, por ahora, solo RAYTHEON ha sido la adjudicataria seleccionada para esta parte del proyecto, empresas como GENERAL ATOMICS (GA) y L3-Applied Technologies llevan adelante sus desarrollos paralelos.

Según la opinión de especialistas, el Concepto de *Pulse Power Container (PPC)* resulta también vital para su empleo en otras plataformas terrestres porque permite, adicionalmente, escalar toda una “familia de Railgun” de entre 3 y 64 MJ. Esto abre una enorme gama de posibilidades de empleo, tales como sistemas de armas terrestres de artillería de campaña, o instalaciones fijas para la defensa costera o resguardo de sitios de interés críticos⁷⁶.

No obstante lo expresado, el desarrollo de los EMRG así como la necesidad de disponer de armas de Energía Directa (DEW), en especial Láser de Alta Energía, plantean todo un desafío de ingeniería para los desarrolladores. Es que además de concentrarse en “Arma + proyectil”, todos reconocen que el Sistema de Energía pulsada constituye la clave de la eficiencia operacional del arma.

Siguiendo esa tendencia y como mencionamos anteriormente, respecto de que estas armas fueron pensadas inicialmente para su uso naval, China contempla en el desarrollo de sus nuevas unidades navales de superficie disponer de suficiente capacidad de generación y almacenamiento de energía, capaz de satisfacer la demanda que generarán estas armas. Este país desarrolla su nuevo destructor Type 055, columna vertebral de su fuerza naval futura, equipado con una planta motriz capaz de generar una potencia de 100MW, para satisfacer la operatividad integral de la plataforma y además, las demandas de energía de los futuros sistemas de armas.⁷⁷

FIGURA 13: RAYTHEON. PROTOTIPO DE MÓDULO DE ENERGÍA - PULSE POWER CONTAINER (PPC)



⁷⁶ Por similitud a lo que actualmente se logra con sistemas de defensa aérea y misilística, tales como el PATRIOT (Estados Unidos) o el IRON DOME (Israel). Pero en los casos citados, se emplean sofisticados sistemas de misiles de un alto costo y una limitada cantidad de disparos disponibles.

⁷⁷ RUSI.org: <https://rusi.org/publication/rusi-defence-systems/potential-chinese-railgun-testing-illustrates-us-navy%E2%80%99s-biggest>.

5. Proyecto de Hipervelocidad (HVP).

Según un estudio del “*Defense Systems Information Analysis Center*”⁷⁸, organismo que ha realizado trabajos de asesoramiento para el Ministerio de Defensa de Estados Unidos, se consideran valores de “Hypervelocidad” para un Proyecto de Artillería, 1067m/s o más (MACH 3.1), en la boca del tubo cañón del arma.

Como mencionamos anteriormente, el desarrollo del HVP⁷⁹ comienza como una solución alternativa a la demanda de mayores alcances para las armas de artillería naval. Pese a ser un proyecto inicialmente concebido en relación con el EMRG y eventualmente para los cañones navales de 5” (127 milímetros), sucesivas iteraciones del proyecto EMRG⁸⁰ y los sorprendentes resultados obtenidos, mostraron que el sistema EMRG + HVP presentaba interesantes alternativas de empleo, tanto para complementar los sistemas de defensa aérea de los buques como para la artillería de campaña de las fuerzas terrestres.

Los valores de velocidad alcanzados por el EMRG para el disparo, permitieron pensar en alcances considerablemente mayores. Pero el incremento del alcance traía aparejado el problema de una mayor dispersión, que normalmente aumenta al disparar proyectiles convencionales más allá de los 35 a 40 kilómetros. Para ello, la solución a aplicar fue que el proyectil dispusiera de un adecuado sistema de guiado y control. Y es allí donde aparece el desafío tecnológico, de poder desarrollar un sistema de guiado de muy reducidas dimensiones, pero que, a su vez, sea capaz de soportar las exigencias de las aceleraciones extremas a la que será sometido en el momento del disparo. La notable evolución en el desarrollo de sistemas electrónicos miniaturizados capaces de soportar enormes esfuerzos, permitiría conformar un proyectil que, pese a ser más caro que un proyectil convencional de artillería, resulta una solución de “costo-efecto” muy conveniente.

Si bien no se conocen detalles técnicos sobre la integración del sistema de guiado, hay información acerca que el mismo se basaría en sistema GPS/INS, conectado durante el vuelo con la unidad de control en las piezas, mediante un sistema del tipo “*Two way data-link*”.

Enormes velocidades, perfil aerodinámico y reducida “*firma radar*” hacen que se puedan cubrir las distancias al blanco en tiempo extremadamente reducido, otorgando escaso o nulo aviso a las defensas del oponente. Si a ello le agregamos guiado, estamos ante un sistema revolucionario.

Los HVP se presentan así, como una nueva generación de proyectiles, con un diseño aerodinámico de muy bajo “*Drag*”⁸¹, que se posicionan como referentes de un tipo de proyectil apto para diferentes sistemas de armas de artillería terrestre o naval. En estas condiciones, los HVP podrían cumplir funciones asignadas hoy a los costosos misiles antiaéreos o antibuques con el beneficio agregado de una gran cadencia de fuego y mayor disponibilidad de proyectiles.

Debido a que el desarrollo de HVP siempre estuvo asociado a su empleo solamente en EMRG, los dos “competidores” BAE Systems y General Atomics, llevan adelante sus propios proyectos de proyectil.

⁷⁸ <https://www.dsiac.org/services/search/results?op=OR&keywords=hypervelocity+projectile>

⁷⁹ HVP (Hypervelocity Projectile), es su acrónimo en idioma inglés.

⁸⁰ También un proyecto de interés de la Marina de Estados Unidos.

⁸¹ Drag: es una fuerza mecánica, generada por el contacto y la interacción de un cuerpo sólido que se desplaza en un fluido (líquido o gas). Fuente: NASA. <https://www.grc.nasa.gov/WWW/k-12/airplane/drag1.html>

FIGURA 14: BAE SYSTEMS - HIPERVELOCITY PROJECTILE (HVP).

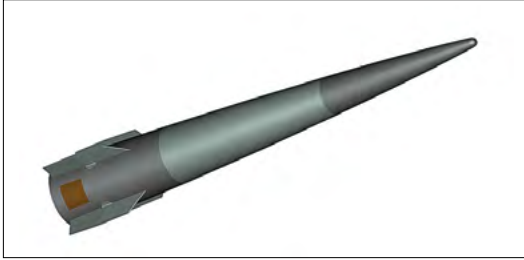


FIGURA 15: GENERAL ATOMICS - HIPERVELOCITY PROJECTILE (HVP)

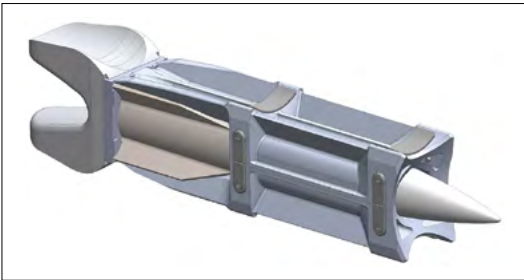
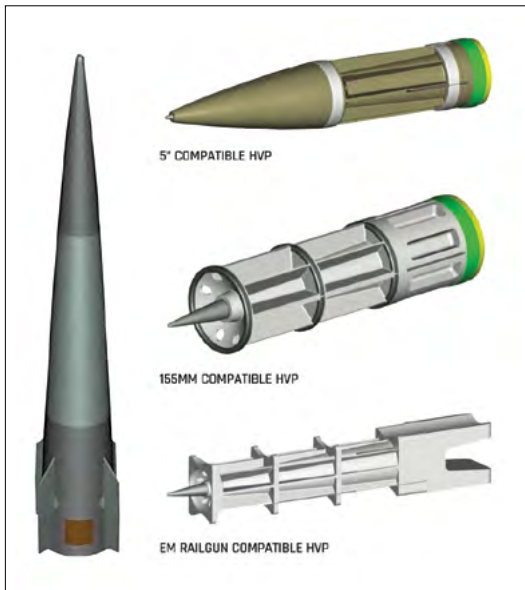


FIGURA 16: HVP - OPCIONES DE EMPLEO EN ARMAS NAVALES (PROPUESTA DE BAE SYSTEMS)



Sin embargo, ambas empresas han visualizado que resultaría un error limitar el empleo del HVP sólo al EMRG. Como mencionamos antes, existen requerimientos y posibilidades para el empleo de este tipo de proyectiles en cañones navales de 5 pulgadas, así como la artillería de campaña terrestre. En ambos casos, los estudios se orientan a un proyectil con un grado de modularidad tal, que permita su empleo tanto en los respectivos EMRG, como en otros sistemas navales o terrestres, e incluso en piezas de artillería convencionales.

Porque aún empleando pólvoras, disponer de un proyectil de 10.5 kilos de peso, con características aerodinámicas inmejorables, que duplica los alcances actuales de la munición convencional, con un sistema de guiado de extrema precisión aún siendo disparado desde las armas en servicio, y que además pueda o no configurarse con carga explosiva, resulta una alternativa verdaderamente revolucionaria para cualquier Fuerza Armada.

6. El requerimiento del Ejército de Estados Unidos para el empleo de EMRG + HVP en la artillería de campaña

Todos los ejércitos buscan permanentemente incrementar el alcance de sus fuegos de artillería. Desarrollos tales como los proyectiles ER (*Extended Range*) que emplean "Base bleed" o propulsión adicional, así como la modernización de los cañones mediante el alargamiento de sus bocas de fuego, han sido y son alternativas que se implementan como "upgrade" a los sistemas. Sin embargo, resulta difícil con las armas tradicionales lograr alcances superiores a los 35 o 40 kilómetros, incluso con el moderno y muy costoso proyectil guiado por GPS M 982 *Excalibur* cuyo alcance máximo es de 40 kilómetros en armas L39 y 50 kilómetros en L52⁸². Existen algunos desarrollos que requerirían importantes modificaciones en las piezas M777 y

82 <https://www.raytheon.com/capabilities/products/excalibur>.

M109 en servicio, tales como la extensión de los tubos y refuerzos en los sistemas de cierre, estimándose con ello poder obtener alcances cercanos a los 70 kilómetros. Pero esta opción implicaría un esfuerzo presupuestario millonario, para que en pocos años los mismos sistemas queden nuevamente “fuera de alcance”.

Se avanza también en diferentes proyectos que aún no han alcanzado un grado de madurez suficiente, tales como el caso del “*Artillery Ramjet Projectile*”, desarrollado por la empresa noruega **NAMMO**, la que asegura alcances de hasta 100 kilómetros para su revolucionario proyectil⁸³.

Denominado **HE-ExR** (*High Explosive Extreme Range*) Se trata de un proyectil de 155 milímetros que luego de disparado con su carga propulsante original, a la salida del tubo se produce el arranque de un motor cohete del tipo “*air-breathing ramjet*”, contenido en el mismo proyectil. Por similitud al concepto empleado en los misiles de crucero, esto le proporciona empuje adicional durante la trayectoria y obviamente un mayor alcance.

El desarrollo es verdaderamente revolucionario y otorga nuevas capacidades a la artillería convencional de tubo, particularmente del tipo L52 y superiores⁸⁴. Tan novedosa resulta la idea, que en EUROSATORY 2018, algunos medios expresaron: “*es algo así como disparar un misil, desde un cañón*”⁸⁵.

El Ejército y los Marines de Estados Unidos han expresado interés en el proyecto, pero lo cierto es que está siendo autofinanciado por NAMMO y se estima que recién estaría operativo hacia el 2022 o 2025.

Rusia actualmente dispone en servicio, desde el año 2016, su Obús autopropulsado de 152 milímetros, de carga automática 2S35 Koalitsiya – SV que, con munición guiada de precisión, tiene un alcance de 70 kilómetros. Y esto resulta una preocupación para la OTAN, ante un eventual conflicto en Europa.

Por todo lo expresado, desde el 2005 y los inicios del EMRG como proyecto naval, el Ejército de Estados Unidos siguió muy atentamente la evolución del programa, observando las potencialidades del conjunto EMRG + HVP. No solamente por las ventajas en términos de los mayores alcances y cadencia de fuego, sino también por los beneficios de orden logístico y de seguridad.

Observó, además, que de las dos empresas oferentes, **General Atomics (GA)** era la que avanzaba en sistemas más flexibles y modulares, con el esquema de una “familia de armas” de diferente potencia⁸⁶. Además, **GA** mantuvo el esfuerzo de investigación y desarrollo en el área, sosteniéndolo con recursos propios, gracias a la “visión” de sus directivos que transcribimos: “*Nadie puede estar en desacuerdo acerca de que los Proyectiles de Hipervelocidad, son una nueva generación de capacidades disponibles para cualquiera de las Fuerzas y por esa razón, nosotros hemos decidido seguir invirtiendo en ellas*”⁸⁷.

FIGURA 17: PROYECTIL HIGH EXPLOSIVE EXTREME RANGE - (HEEXR)



⁸³ Nammo: Bulletin: https://www.nammo.com/globalassets/pdfs/bulletin/nammo-bulletin-2018_screen.pdf, p. 16.

⁸⁴ Nammo: Bulletin: https://www.nammo.com/globalassets/pdfs/bulletin/nammo-bulletin-2018_screen.pdf, p. 16.

⁸⁵ <http://www.mynewsdesk.com/no/nammo/pressreleases/we-are-basically-launching-a-missile-from-a-cannon-2538970>.

⁸⁶ El prototipo de GA denominado BLITZER nació como una “familia de Armas” electromagnéticas, con potencias de 3 y 10 Mj.

⁸⁷ Expresión de N. Buccì, Vicepresidente de GA Missile defense Systems. Fuente <http://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2018/4/23/armys-pursuit-of--electromagnetic-railguns-heats-up>

Esto llevó a que el Ejército de Estados Unidos rápidamente iniciara los contactos para avanzar en el desarrollo de alternativas que permitieran implementar la incorporación de la tecnología del EMRG en sus grandes sistemas de apoyo de fuego. Desde entonces, GA lleva adelante un sistema "Multi-misión de mediano alcance" de hasta 10Mj, con el objetivo de obtener el arma de la dimensión adecuada, como para ser colocada en vehículos de dotación, contribuyendo así a las capacidades requeridas en el marco de sus "*Long Range Precision Fires*"⁸⁸. Por esta razón, paralelamente a que la Marina de Estados Unidos acelera el desarrollo y pruebas de su proyecto de su EMRG, el Pentágono evalúa el empleo de los HVP en piezas de artillería del Ejército de Estados Unidos, de la familia M109A6 PALADIN⁸⁹.

FIGURA 18: RAILGUN PARA LA ARTILLERIA TERRESTRE- PROYECTO DEL US ARMY.



El interés del Pentágono en acelerar el desarrollo de EMRG tiene como objetivo expandir la cantidad de plataformas desde las que se pueda emplear la capacidad letal de estos sofisticados proyectiles, con alcances superiores a los 70 kilómetros. Para ello, el HVP de 127 milímetros dispondría de un "conjunto sabot" que lo guíe convenientemente dentro del ánima del tubo de 155 milímetros.

Paralelamente, en 2016 y 2017, GA ha ensayado exitosamente su EMRG "*Blitzer*" en configuraciones de 3MJ y 10MJ. Estos ensayos sirvieron para verificar el desarrollo de módulos de energía denominados *HEPPC* (*High Energy Pulsed Power Container*). Los mismas emplean una nueva generación de capacitores y mejoras en la forma de almacenar y distribuir la energía, lo que redundará en instalaciones más reducidas y livianas, más adecuadas para su empleo en plataformas terrestres altamente móviles.

FIGURA 19: GENERAL ATOMICS. PROYECTIL "BLITZER" Y PULSE POWER CONTAINER



La posibilidad de disparar los HVP desde las armas convencionales de artillería es una opción de transición que despierta gran interés. Porque, además, la evolución en el desarrollo de propulsantes con mejores propiedades energéticas contribuirá al incremento de los alcances. Por

⁸⁸ <http://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2018/4/23/armys-pursuit-of--electromagnetic-railguns-heats-up>.

⁸⁹ <http://www.ceptm.iue.edu.ar/index.php/2017/02/14/proyectiles-de-hipervelocidad-hvp-para-la-artilleria-del-us-army/>

su parte, el desarrollo de materiales más livianos y de mayor resistencia para el conjunto Sabot, redundará en mejores prestaciones.

Además, una Batería disparando en alta cadencia, con velocidades y alcances que hasta duplicarían los actuales, sería capaz de provocar efectos devastadores en cualquier fuerza oponente, aunque ella estuviera equipada con sofisticados sistemas de contrabatería.

Complementariamente, se trabaja en la opción de una “familia de HVP”, que pudieran ser configurados con opciones de efecto terminal, como: Air-Burst; Kinetic Penetrator; High Explosive.

La última noticia disponible sobre el empleo del EMRG en el Ejército de Estados Unidos expresa que en marzo de 2018 el **Ejército de Estados Unidos y General Atomics (GA)** firmaron un contrato por tres años a fin de explorar alternativas que permitan avanzar en el desarrollo de una serie de prototipos funcionales y verificar la integración de los diferentes subsistemas, de forma tal de instalarlos en las plataformas de combate terrestres actuales y futuras de esa Fuerza⁹⁰.

7. El proyectil de Hipervelocidad (HVP): Una nueva opción de empleo común

Todo lo expresado anteriormente, nos muestra que el HVP:

- > Satisface el concepto de un proyectil de uso común y que ofrece nuevas capacidades a los sistemas de apoyo de fuego de artillería, compacto y más liviano, de diseño modular y que puede o no llevar carga explosiva.
- > Puede ser configurado para su disparo desde diferentes plataformas y con distintas misiones y además no necesita de propulsión adicional alguna para obtener mayores alcances.
- > Permite realizar disparos precisos, aún a grandes distancias, minimizando el daño colateral, con una alta cadencia de fuego y disminuyendo los riesgos propios del almacenamiento de propulsores y explosivos, para el caso de las versiones EMRG.

En su desarrollo, el HVP contempla la posibilidad de satisfacer requerimientos propios de los sistemas, tanto actuales como futuros. Por ello, ha sido pensado para ser disparado tanto desde la torre de cañones navales de 5 pulgadas MK41 estandarizada OTAN, que equipan a los más modernos buques, así como desde los futuros EMRG cuando estos sean incorporados. También se prevé que pueda ser disparado desde las piezas de 155 milímetros que equipan a los modernos buques de la clase ZUMWALT, que, como mencionamos anteriormente, han quedado sin munición para disparar, al haberse cancelado el proyecto LRLAP (*Long Range Land Attack Projectile*)⁹¹.

Pero, además, convenientemente adaptados, los HVP podrían dispararse desde las plataformas actuales de artillería de campaña de 155 milímetros con diferentes alternativas de munición.

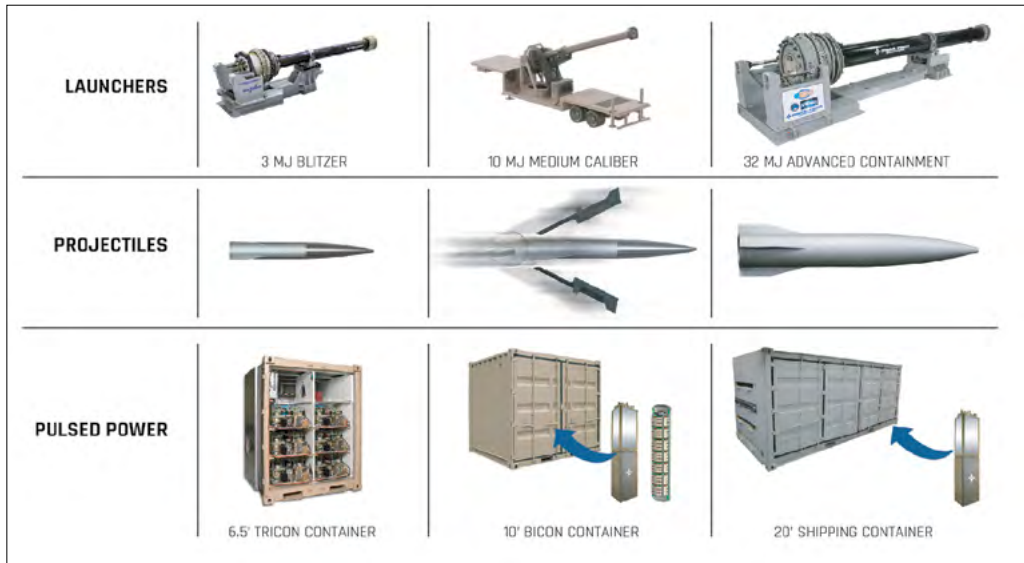
Asimismo, cuando se alcance una adecuada solución tecnológica, a la limitación que significa la disponibilidad de grandes cantidades de energía eléctrica para su funcionamiento, los EMRG formarán parte de la artillería de campaña terrestre.

Finalmente, lo determinante en el concepto del HVP es obviamente su enorme velocidad y los alcances obtenidos. Si a ello le sumamos la disponibilidad de un proyectil guiado y una alta cadencia de fuego, al programar una serie de trayectorias diferentes, se podría alcanzar la zona de blancos con verdaderos “enjambres” de proyectiles, batiendo con precisión y simultáneamente diferentes objetivos. Una capacidad que cualquier comandante táctico desearía disponer orgánicamente.

⁹⁰ <http://www.ga.com/general-atomics-awarded-army-contract-to-advance-railgun-weapon-system-technology>.

⁹¹ <http://www.ceptm.iue.edu.ar/index.php/2016/12/15/el-proyectil-guiado-de-artilleria-excalibur-que-reemplazaria-a-los-lrlap-long-range-land-attack-projectile-en-los-navios-clase-zumwalt-de-la-us-navy/>

FIGURA 20: EMRG + HVP: UNA OPCIÓN MODULAR DE EMPLEO COMÚN



8. A modo de resumen de Railgun

El sistema *Railgun* en la Marina de Estados Unidos lleva más de 10 años de desarrollo y una inversión estimada de **500 millones de dólares** en ese lapso.

A la fecha se ha logrado “validar el concepto a escala de prototipo” (*Subscale proof-off principle*), Sin embargo, se considera que no ha alcanzado aún el nivel de maduración adecuado como para pasar a la Etapa de “Prototipo final para la realización de pruebas operacionales” (*Full scale prototype for warfigting experimentation*).

Quedan aún muchos aspectos técnicos por resolver, tales como:

- > El arma propiamente dicha y su “vida útil”, a niveles que puedan considerarse aceptables, en especial todo lo relacionado a los materiales empleados en la boca de fuego y las altas exigencias que soportan.
- > El desarrollo de un adecuado *PPC (Pulse Power Container)* que satisfaga la capacidad de generación, almacenamiento y entrega de energía, en ciclos de pocos segundos para asegurar la alta cadencia de fuego requerida es un verdadero desafío que la ingeniería debe resolver satisfactoriamente, antes de poder considerar operativo el sistema de armas.
- > Mejoras en el proyectil. La eficiencia de sus sistemas de guiado, los alcances, las familias de proyectiles, su adaptación para el empleo en bocas de fuego convencionales y la integración de todo ello en diferentes plataformas navales y terrestres.

De acuerdo a la información disponible, se estima que podrían estar operativos en la **Marina de Estados Unidos** entre 2020 y 2025, y similares estimaciones son también válidas para los desarrollos por parte de **China**. Sin embargo, dada la rápida evolución de potenciales conflictos, resulta un lapso de tiempo demasiado grande como para poder concentrar todos los recursos en este desarrollo.

Por ello, si bien la Marina de Estados Unidos no ha suspendido el programa, ha tenido que fijar otras prioridades para avanzar más rápidamente en sistemas de mayor urgencia e interés que tengan además un mayor grado de madurez como las Armas de Energía Directa (DEW), particularmente el caso de los HEL (Láser de Alta Potencia) y los Misiles Hipersónicos. Como dijimos, todo ello paralelamente al desarrollo del EMRG.

En el caso de **Rusia**, su proyecto de Armas Electromagnéticas (*Aceleradores Electromagnéticos Axiales de Plasma*) es una apuesta que requiere mayores plazos, por tratarse de una tecnología no tan madura como los EMRG, pero que en caso de resultar exitosa, puede dejar en absoluta desventaja a sus eventuales competidores

No obstante las prioridades que se fijen en los países a los recursos presupuestarios, podemos afirmar que el conjunto **EMRG + HVP**, constituye Tecnologías Emergentes con capacidad de convertirse en Disruptivas, desarrolladas para obtener más letalidad, con mayor precisión, a mayores distancias, con mayor eficiencia, lo que minimiza el riesgo del almacenamiento y transporte de material explosivo y reduce, además, el daño colateral.

El **HVP** ha adquirido relevancia en sí mismo, independientemente de las armas que lo empleen. Con potencial para convertirse en un proyectil “modular” apto para su empleo tanto en EMRG, como en armas convencionales, como los cañones navales de 5 pulgadas o la artillería de 155 milímetros.

Por el momento, no existe un sistema de defensa adecuado contra el EMRG, que dispara proyectiles HVP a altos valores de MACH. El proyectil resulta demasiado veloz y también demasiado pequeño, para que los actuales sistemas de defensa aérea y misilística puedan interceptarlo. El tiempo entre que se detecta (en caso que pueda ser detectado) y la contramedida efectiva, se estima que está fuera de los tiempos de respuesta de los sistemas actuales. Por esta razón, aquel país que sea el primero en integrarlo adecuadamente en las plataformas de sus fuerzas, terrestres o navales, seguramente habrá ganado una ventaja sobre sus oponentes⁹².

Las Fuerzas Navales de las potencias citadas saben que los cañones electromagnéticos cumplirán un rol decisivo en la forma de hacer la guerra de sus plataformas de superficie, principalmente por la multiplicidad de roles que pueden cumplir: Fuego de artillería terrestre y en apoyo del desembarco – Combate naval – Defensa aérea y misilística.

De concretarse su empleo operativo, se convertirán decididamente en **Tecnologías Disruptivas** y, particularmente para el HVP, consideramos que tiene un gran potencial de crecimiento y la posibilidad de futuros desarrollos asociados, que obligarán a repensar los modos de empleo de los sistemas de apoyo de fuego de artillería.

B. LOS MISILES HIPERSONICOS: Evolución y Tendencias

1. Antecedentes

Así como en el capítulo anterior desarrollamos el concepto del **HVP** (*Hipervelocity Projectile*), esta parte del trabajo se relaciona también con la aplicación específica de las velocidades hipersónicas en Sistemas de Armas, en este caso en vectores como los **Misiles Hipersónicos**.

Muchos expertos recuerdan el 20 de agosto de 1998 cuando en el marco de la Operación “*Infinite Reach*” llevada adelante por Estados Unidos, se lanzaron misiles de crucero Tomahawk sobre un campo de entrenamiento de *Al Qaeda*, con el objetivo de neutralizar a Osama Bin Laden. Lanzado el misil desde un buque de la Marina de Estados Unidos, con velocidad crucero de 900 kilómetros por hora, tardó unas dos horas en alcanzar el objetivo pero no pudo cumplir la

⁹² <https://rusi.org/in-the-news/what-hypersonic-railgun-how-superweapon-china-may-be-building-works>

misión. Informes de inteligencia determinaron que el “blanco”, o sea el líder de Al-Quaeda, “se había retirado” hacía una hora.

Esta operación obviamente fallida, fue reconocida por Estados Unidos como el primer ataque preventivo, sobre el territorio de un país, cuyo objetivo era un “actor violento no estatal”. Seguramente si se hubiera realizado el ataque empleando un ICBM⁹³, el tiempo para alcanzar el objetivo hubiera sido menor y la misión exitosa. Sin embargo, el empleo de un ICBM, reservado como “última ratio” para el caso extremo de una confrontación con armamento nuclear a gran escala, resultaba una opción inadmisibile⁹⁴. Estados Unidos tomó conciencia entonces de que no disponía de una herramienta adecuada como para accionar “*quirúrgicamente*” sobre objetivos estratégicos puntuales, sin que ello provocara una crisis de gran magnitud.

Aparece entonces la necesidad de un nuevo sistema de armas apto para ese tipo de misiones y es allí donde la tecnología de armas hipersónicas se presenta como una solución apropiada.

Las armas hipersónicas constituyen una nueva clase de sistemas letales, diseñados para ser capaces de atacar en un tiempo escaso y penetrar los sistemas de defensa aérea existentes, disminuyendo así los tiempos y la capacidad de respuesta del oponente ante un ataque.

El principal elemento diferenciador de los vehículos hipersónicos es su velocidad, aspecto que impulsa el interés por explorar sus variados campos de aplicación en el ámbito militar, con características potencialmente disruptivas.

FIGURA 21: MISILES HIPERSONICOS



93 ICBM: Intercontinental Ballistic Missile.

94 Una vez producido el lanzamiento de un ICBM, sus características y configuración exterior, en general no permiten discriminar si se trata o no de un ataque “nuclear”. Por ello, para la parte agredida resulta difícil resolver correctamente el tipo de respuesta que debe adoptar (Convencional o Nuclear). Esto podría dar lugar a una respuesta nuclear “no deseada” y eventualmente una escalada de consecuencias catastróficas.

Un misil hipersónico que se desplaza a cinco veces la velocidad del sonido o más (> MACH 5) posee en un solo arma, la formidable combinación de: **Velocidad – Letalidad – Supervivencia – Alcance**.

Velocidades de escala hipersónica, mayores alcances y en armas cada vez más pequeñas, se presentan entonces como la opción de disponer, tanto en el marco estratégico como táctico, de nuevas alternativas para ser más letales, a mayores distancias y con mayor autonomía.

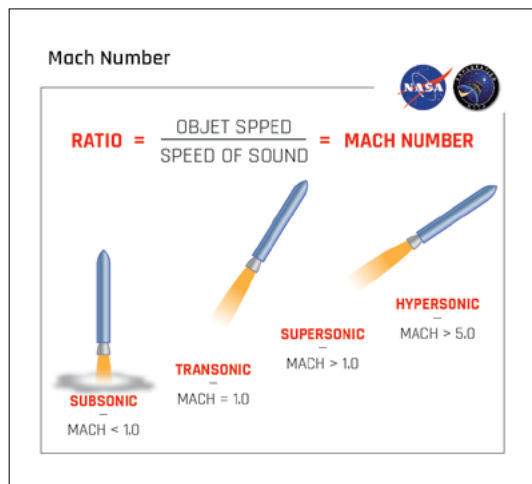
Por todo lo expresado, de la gama de Tecnologías potencialmente Disruptivas (TD) que están emergiendo hoy, la de armas hipersónicas es una de las que se presentan como más promisorias en el campo de los sistemas letales de gran alcance.

Particularmente, en esta parte del trabajo nos referiremos a los llamados misiles hipersónicos, o sea aquellos vectores letales que, autopropulsados o no, se desplazan a velocidades varias veces superiores a las del sonido.

Según la definición del “*Military Standardization handbook – Glossary of guided Missile Technology*” (1966) del Ministerio de Defensa de Estados Unidos⁹⁵, hipersónico es aquel objeto que se desplaza a muy alta velocidad, entendiéndose por ello velocidades superiores a MACH 5 (1.72km/s).

Los orígenes del desarrollo de la tecnología de vuelo a “velocidades hipersónicas”, se remonta a varias décadas atrás, relacionada inicialmente con la actividad Aeronáutica y Espacial. Para el sector aeronáutico siempre fue un objetivo volar más rápido, más lejos, de manera más eficiente y a menores costos. Podemos citar que en la década de los 80, Estados Unidos ejecutó un programa específico para desarrollar aeronaves que pudieran volar en régimen hipersónico, con la finalidad de emplearlas en el transporte comercial de pasajeros. Este programa fue llamado “*National Aerospace Plan*” (NASP) y en 1986 el Presidente de Estados Unidos (R. Reagan) manifestó la posibilidad de realizar vuelos desde Nueva York a Tokio en 2 horas. Esto llevó a la idea de que era factible poder implementar la utilización de la tecnología de velocidades hipersónicas, en plataformas de transporte de pasajeros⁹⁶. Pero la realidad es que NASP fue cancelado en 1992, al demostrarse que se trataba de una tecnología de enorme complejidad y con costos no admisibles en ese momento que permitieran avanzar en la posibilidad de su difusión masiva en el mercado de aeronaves comerciales. Sin embargo, el conocimiento y la experiencia adquiridos en esos 10 años de investigación proporcionaron bases sólidas de gran utilidad para desarrollos posteriores.

FIGURA 22: REGÍMENES DE VELOCIDAD DE VUELO



⁹⁵ *Military Standardization handbook – Glossary of guided Missile Technology*” (1966) Departamento de Defensa de Estados Unidos. <http://www.everyspec.com>.

⁹⁶ JAPCC. Journal edition Nro 24 (2017)- H.L Besser, D. Gogge, M. Huggins, A. Shaffer, D. Zimmer. “Hypersonic vehicles: game changers for future warfare?”

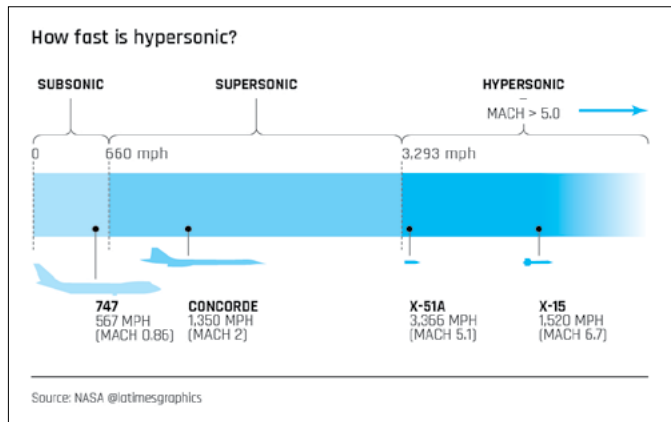
Para el sector de la investigación espacial, alcanzar las velocidades necesarias que permitan a un vector poder salir de los confines de la atmósfera terrestre siempre fue un objetivo soñado. Como mencionamos en capítulos anteriores, quien desee dominar el espacio debe poder alcanzar la denominada "velocidad de escape"⁹⁷, o sea la velocidad que debe tener el vehículo para superar las fuerzas gravitacionales. Alcanzar esa velocidad, sostenerla y ser capaz de soportar las cargas termomecánicas derivadas del desplazamiento en la atmósfera, así como la fase de reentrada y regreso a la superficie terrestre resultaron, desde los orígenes, un gran desafío para los desarrollistas.

Si bien se trata de una tecnología de evidente "uso dual", lo cierto es que aquellos países que logran su dominio, normalmente cambian sus intenciones y piensan en el otro empleo: el militar. Por ello, el conocimiento y experiencia que adquirieron aquellos que lograron "manejar" las tecnologías, derivaron rápidamente en la idea de su aplicación en el ámbito de la defensa, en especial para las armas letales. Para el marco estratégico, ya estaban los costosísimos ICBM desarrollados durante la "Guerra fría", con el concepto de su empleo como "alternativa final" o réplica ante una agresión previa, en general de carácter nuclear. En cierta medida, su devastador poder garantizaba su "no empleo", salvo como réplica con consecuencias catastróficas en todos los casos. Para el marco táctico, la posibilidad de desarrollar vectores más pequeños, pero con la capacidad de desplazarse a esas velocidades, derivó rápidamente en la aplicación de estas tecnologías, para su empleo en misiones de menores alcances.

Actualmente, y con tendencia cada vez más creciente, la posibilidad de conflictos convencionales en menor escala es muy grande y ello justifica ampliar el espectro de empleo de la tecnología de armas hipersónicas. Y un arma capaz de batir un blanco puntual, en muy escaso tiempo, con gran maniobrabilidad y difícil de detectar y neutralizar por su velocidad extrema constituye una herramienta invaluable incluso para cualquier comandante táctico.

Sobre la base de esta idea, ya en 1999, DARPA⁹⁸ inició un programa denominado "Affordable Rapid Response Missile Demonstrator"⁹⁹ para desarrollar el concepto de un Misil de Crucero Hipersónico de Largo Alcance y presentarlo en vuelo por primera vez. Posteriormente, luego de los sucesos del ataque al WTC¹⁰⁰ el 11 de septiembre de 2001, **Estados Unidos** llevó adelante su

FIGURA 23: ESQUEMA COMPARATIVO DE VELOCIDADES DE VEHÍCULOS AÉREOS



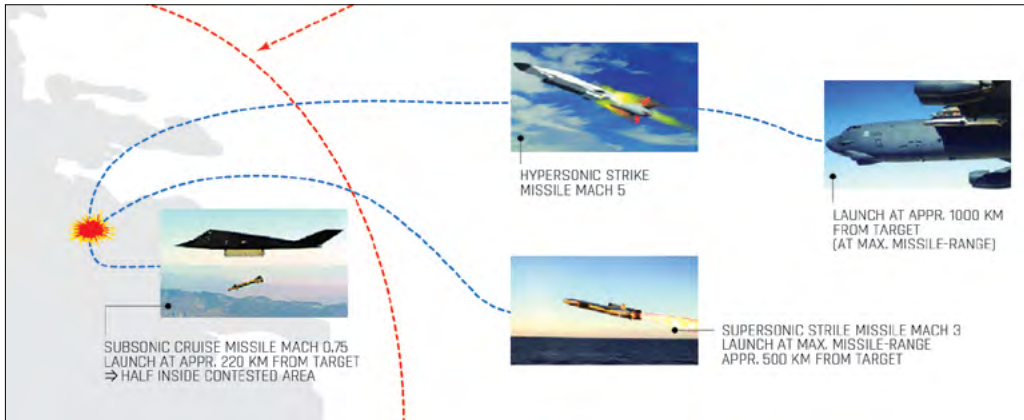
⁹⁷ Velocidad de escape: Es la mínima velocidad necesaria para que un objeto pueda escapar de la fuerza gravitacional de la tierra, producto de su masa. Esa velocidad de escape es de 11.186 km/s (40,270 km/h), medida a nivel de la superficie. Fuente: <https://www.britannica.com/science/escape-velocity>.

⁹⁸ DARPA (Defense Advanced Research Program Agency). Agencia de Programas de Investigación Avanzada del Departamento de Defensa de EUA.

⁹⁹ Johns Hopkins APL (1999). "Affordable hypersonic missile for a long range precision strike". Technical Digest Vol 20, Nro 3.

¹⁰⁰ WTC: World Trade Center (New York).

FIGURA 24: DISTANCIAS DE EMPLEO DE ARMAS HIPERSÓNICAS



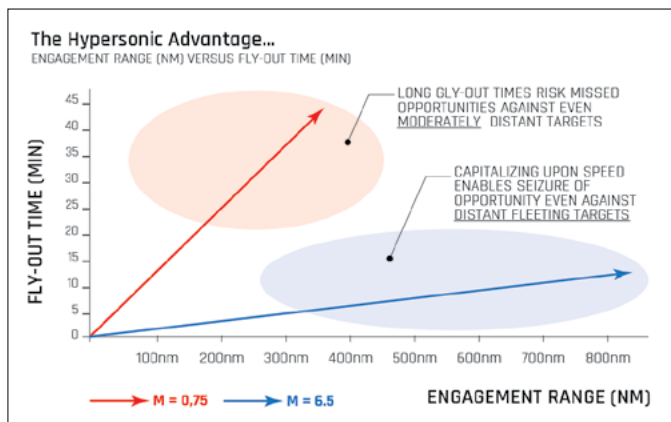
estrategia enmarcada en el Programa denominado “*Prompt Global Strike*”¹⁰¹. Esta iniciativa tenía por objetivo desarrollar la capacidad “*No Nuclear*”, para destruir blancos estratégicos con gran precisión, al momento de ser localizados, en cualquier punto del planeta y en un tiempo breve, sin necesidad de recurrir a los ICBM¹⁰². Los más ambiciosos requerían que el sistema fuera capaz de destruir, de manera “no nuclear”, cualquier amenaza, en cualquier punto del planeta, en menos de una hora.

Lo que impulsaba entonces con fuerza el Programa “*Prompt Global Strike*”, era lo siguiente:

- > Se disponía del *Know how* para disparar con gran PRECISIÓN. (armas guiadas).
- > Se disponía del *Know how* para alcanzar blancos a grandes DISTANCIAS. (ICBM – Bombardeos Estratégicos – Submarinos Nucleares).
- > Se requería acortar el TIEMPO para neutralizar un nuevo tipo de blancos puntuales.

El TIEMPO era sobre lo cual se debía enfocar el esfuerzo de investigación y desarrollo y, sin lugar a dudas, la mejor alternativa la ofrecían las Armas Hipersónicas. Porque como ya mencionamos anteriormente, la formidable combinación de: **Velocidad – Letalidad – Precisión – Super-**

FIGURA 25: RELACIÓN ALCANCE / TIEMPO: PRINCIPAL VENTAJA DE LAS ARMAS HIPERSÓNICAS



101 Congressional Research Service. A.Woolf. (2011). “Conventional Prompt Global Strike and Long-Range Ballistic Missiles: Background and Issues”.

102 <http://www.themoscowtimes.com/business/article/russian-fear-of-u-s-hypersonic-missiles-threatens-new-arms-race/515863.html>.

vivencia – Alcance que tienen estas armas, es una capacidad “deseable” para todos los niveles de la conducción.

Esta capacidad solo podría obtenerse mediante el empleo de misiles que desarrollaran velocidades por encima de lo convencional, instalados en plataformas terrestres, aéreas o navales, desplegadas alrededor del mundo y en condiciones “*Ready to fire*”.

Obviamente, **Rusia** tomó esta acción de Estados Unidos como una amenaza potencial a su propio sistema de ICBM, que quedaba así en desventaja y en condiciones de ser neutralizado en un plazo breve, mediante una acción “*preventiva - no nuclear*” por parte de Estados Unidos. **China** comprendió también cuál era la amenaza potencial de estas nuevas tecnologías.

Los motivos que justificaban esa preocupación eran:

- > Estas armas podrían ser empleadas en un rango entre medias a muy largas distancias, desde plataformas aéreas, terrestres o navales, de superficie o submarinas.
- > Desde cualquier punto del planeta con múltiples alternativas de empleo, para neutralizar desde un pequeño pero vital puesto de comando, hasta una importante instalación industrial, clave para el esfuerzo logístico del oponente.
- > Que, asimismo, son difíciles de contrarrestar, por no estar adaptados los actuales sistemas de defensa aérea, a las velocidades de aproximación de los vectores y su alta maniobrabilidad.
- > Pero, por sobre todo, con un grado de flexibilidad en un solo sistema, que lo hace apto para la ejecución de diferentes tipos de misiones.

A partir de ese momento, podríamos decir que el desarrollo de armas hipersónicas tanto en **Estados Unidos** como en **Rusia**, recibió un nuevo impulso que ya no se detendrá y al que se han ido sumando progresivamente nuevos actores como **China** e **India**.

Todo esto hace que, en caso de concretarse el pasaje de estas armas a la fase de “sistemas operativos”, estemos ante una serie de tecnologías emergentes, con capacidad de convertirse en verdaderas “tecnologías disruptivas”, tanto para sistemas de armas ofensivas o defensivas.

2. Estado del Arte - Clasificación

Los países mencionados anteriormente son los que llevan adelante su esfuerzo de investigación y desarrollo en estas tecnologías. Recordemos nuevamente que los vehículos hipersónicos pueden ser: naves espaciales, aeronaves de uso militar o civil, sistemas aéreos no tripulados, así como vectores (misiles), siendo éstos últimos nuestro objeto de estudio.

En el año 2016, en el marco del “**Applied Vehicle Technology (AVT) Panel**” del “*NATO Science & Technology Symposium on the Future warfare*”(2016)¹⁰³, se trató el tema del vuelo hipersónico, los avances alcanzados en las tecnologías concurrentes y los futuros desafíos en C&T, relacionados con el área. Además, se exploró la factibilidad, beneficios, recursos necesarios y tiempo para dominar estas tecnologías, así como las posibilidades de aplicaciones militares futuras. Obviamente, el alcance del citado simposio abarcó todos los aspectos relacionados con el vuelo hipersónico, incluyendo el área de las aeronaves de empleo militar, lo cual excede los objetivos de este trabajo. Sin embargo, resulta de interés la lectura de lo tratado en dicho simposio, para quien quiera ampliar conceptos sobre el tema¹⁰⁴.

¹⁰³ NATO Science & Technology Organization, 'NATO S&T SYMPOSIUM – The Future of Warfare', Technical Evaluation Report, 2016 [Disponible en el sitio <http://www.sto.nato.int>].

¹⁰⁴ “Hypersonic vehicles: game changers for future warfare?”. https://elib.dlr.de/113912/1/Hypersonic%20Vehicles%20-%20JAPCC%20Journal%20-%20Volume%2024_2017.pdf.

A grandes rasgos, podemos decir que los misiles hipersónicos, vuelan normalmente a alturas superiores a los 27.000 metros (*unos 90.000pies*) y a velocidades superiores a MACH 5. Sin embargo, la mayoría de los programas destinados al desarrollo de esta tecnología tiene como objetivo alcanzar velocidades de entre MACH 5 - 20 y superiores.

Si bien esas características les otorgan enormes ventajas, generan, a su vez, requerimientos particulares tanto de diseño como de performance que normalmente no son necesarios para vectores que operan en el rango de subsónico / supersónico.

Los desarrolladores deben considerar una serie de factores de vital importancia¹⁰⁵:

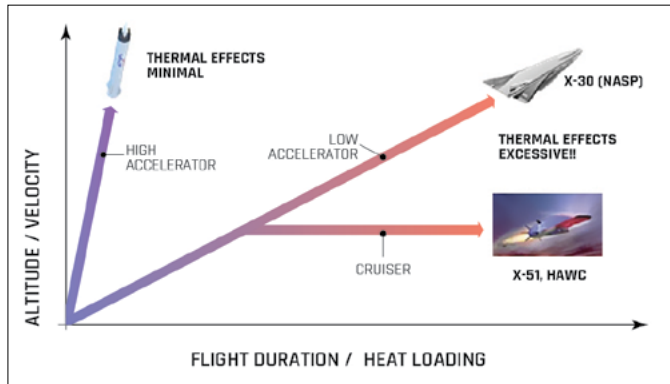
- > Performance cinemática del vector.
- > Materiales empleados en la estructura capaces de resistir las exigencias termomecánicas.
- > Sistemas de navegación y control aptos para estas velocidades extremas.
- > Compatibilidad con las plataformas de lanzamiento. (Aérea – naval – terrestre).
- > Requerimientos del blanco. (Pero adecuada flexibilidad para batir diferentes tipos).
- > Capacidad de supervivencia a las contramedidas del oponente (difícil de detectar – maniobrabilidad – adecuadas CME, etc.)
- > Letalidad de la carga.

El “*know how*” de la tecnología de vuelo hipersónico es un tema de enorme complejidad que excede el alcance del presente trabajo, pero a modo de apretada síntesis, podemos decir que a velocidades hipersónicas, las consideraciones relacionadas con las temperaturas alcanzadas por las partes de la estructura moviéndose en el aire, resultan de una importancia equivalente a los aspectos aerodinámicos o estructurales.

Hacia 1920 o 1930 los científicos ya habían descubierto la posibilidad de alcanzar velocidades de hasta MACH 5 y, a esas velocidades, determinaron que la temperatura del aire cambiaba la dinámica del vuelo típica de otros regímenes. A velocidades de hasta MACH 10, este fenómeno cambia además las magnitudes de las Fuerzas generadas por el aire sobre el vehículo. A velocidades superiores a MACH 10, las moléculas de aire llegan a romperse, formando una lámina de plasma cargada eléctricamente alrededor de la nave¹⁰⁶, lo que genera una serie de efectos diferentes a los de la aerodinámica convencional.

Recordemos que las fuerzas aerodinámicas que actúan sobre un objeto desplazándose en el aire son la Fuerza de Sustentación (*Lift*) y la Fuerza de Resistencia al desplazamiento (*Drag*)¹⁰⁷.

FIGURA 26: EFECTOS DE LAS TEMPERATURAS ASOCIADOS A LA DURACIÓN DEL VUELO



¹⁰⁵ Idem.

¹⁰⁶ Mitchell Institute for Air Power Studies. (2010). R. Hallion. "Hypersonic Power Projection". https://secure.afa.org/Mitchell/reports/MP6_Hypersonics_0610.pdf

¹⁰⁷ Drag: Es una fuerza mecánica generada por la interacción y contacto de un cuerpo sólido, que se desplaza en un fluido (líquido o gas). Fuente: NASA.

La relación entre las mismas, denominada “Lift to Drag ratio” (L / D) y constituye un valor clave para determinar el grado de eficiencia aerodinámica de un aeronave¹⁰⁸. Un alto valor de L/D, indica que la aeronave produce una gran Fuerza de Sustentación (L), respecto de la Fuerza de Resistencia al desplazamiento (D)¹⁰⁹.

Particularmente, para el diseño y construcción de vehículos hipersónicos, se requiere un especial tratamiento de estos parámetros (L/D), distinto al contemplado para el vuelo en otros regímenes. Las fuerzas actuantes, el rozamiento y las temperaturas pasan a tener una influencia preponderante en el diseño, así como el tratamiento de todo lo relacionado con las ondas de choque que se generan y su interacción con el vehículo a estas grandes velocidades¹¹⁰.

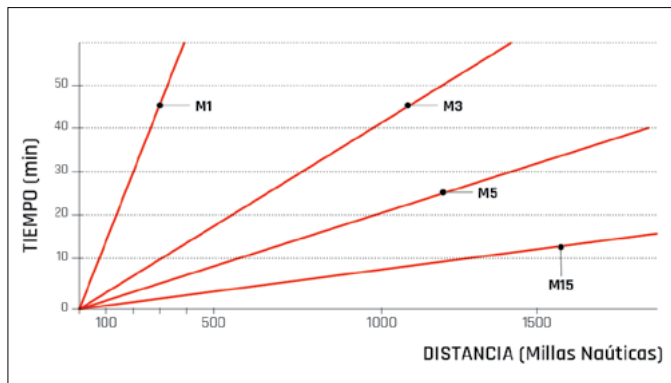
En los últimos años se han desarrollado vehículos aptos para alcanzar el objetivo de desplazarse a grandes velocidades y en Estados Unidos se los suele denominar “Wave raiders”. Se trata de vehículos que aprovechan las mismas ondas de choque generadas por su desplazamiento, para mejorar su performance aerodinámica. Resultan muy eficientes en régimen de altas velocidades, debido a que las ondas de choque permanecen extremadamente cerca de la superficie, una cualidad deseable en el vuelo hipersónico¹¹¹.

En relación con las velocidades, en el trabajo USAF - Scientific Advisory Board. (2000) “Why and Whither Hypersonics Research in the US Air Force”, podemos observar un interesante cuadro que expone la relación entre los tiempos de vuelo y el alcance de los sistemas, según las velocidades hipersónicas que se desarrollan¹¹². Permite definir cuál es la combinación de “tiempo disponible (efecto sorpresa)” versus “distancia objetivo”, que hace admisible el empleo de armas hipersónicas.

Otro aspecto de interés a destacar es que la investigación y desarrollo en estas tecnologías normalmente se lleva a cabo en ciclos. Y esos ciclos son altamente dependientes del interés de las autoridades militares / políticas en el tema, así como de los presupuestos disponibles. Pero como regla general y aunque no siempre exista continuidad, los resultados de una determinada etapa aportan enorme experiencia y formación específica, en especial a los recursos humanos, lo que siempre resulta de gran utilidad para el desarrollo de los modelos siguientes.

El proceso es lento y costoso y requiere de un gran trabajo de diseño, modelización, simulación, ensayos estáticos y dinámicos en túneles de viento, antes de poder avanzar en pruebas de

FIGURA 27: RELACIÓN ENTRE EL TIEMPO DE VUELO Y EL ALCANCE DE LOS SISTEMAS A DIFERENTES VELOCIDADES SUPER / HIPERSÓNICAS.



¹⁰⁸ <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/ldrat.html>.

¹⁰⁹ Como resultado de ello, el vehículo requerirá menos Fuerza de empuje (Thrust) para desplazar a igual velocidad un determinado Peso (Weight)

¹¹⁰ Mitchell Institute for Air Power Studies. R. Hallion (2010). “Hypersonic Power Projection”. Fuente: https://secure.afa.org/Mitchell/reports/MP6_Hypersonics_0610.pdf

¹¹¹ N. Carolina AT&T Univ / Michelin America. H. Lindsay, F. Ferguson, H. Apdin. “Hypersonic vehicle construction & Analysis”. H. Lindsay, F. Ferguson, H. Apdin.

¹¹² USAF – Scientific advisory Board (2000). “Why and Whither hypersonic Research in US Air Force”.

campo en prototipos. Respecto a los túneles de viento, son muy pocos los países que disponen de túneles de viento adecuados para realizar ensayos a altos números de MACH. Y, en general, muy pocos disponen de túneles de viento a escala real, por lo que la simulación y las nuevas herramientas en ese campo juegan un papel fundamental. Completadas las etapas de laboratorio, comienzan los ensayos de vuelo reales, donde se verifica el comportamiento de nuevos materiales y componentes. Además de ello, los ensayos resultan imprescindibles para verificar el comportamiento de los sistemas de navegación y control, así como la propulsión¹¹³.

Relacionado específicamente con nuestro ámbito de estudio, hay un trabajo muy completo realizado en el año 2017 por la **RAND Corporation**, denominado “*Hypersonic Missile Non - proliferation*”¹¹⁴. En el mismo se realiza un detallado análisis de los países que han abordado estas tecnologías, las inversiones, equipamiento asociado y los logros alcanzados en esta área.

Podemos afirmar, entonces, que la tecnología de vuelo hipersónico es un área en la que las potencias avanzan aceleradamente a fin de aplicarlas a sistemas de armas letales.

Estados Unidos, China, Rusia y, en menor escala, **India** (asociada con Rusia), llevan adelante programas de investigación y desarrollo de gran escala, específicamente relacionados con los Vectores Hipersónicos de empleo militar. Todos estos países buscan alcanzar la supremacía y posicionarse en una situación ventajosa sobre sus eventuales oponentes. A tal punto llega la preocupación e interés en ellas, que el Subsecretario de Investigación e Ingeniería del Departamento de Defensa de Estados Unidos, Michael Griffin, ha expresado “*Estados Unidos no ha estado haciendo todo lo necesario para responder a la amenaza de los misiles hipersónicos*”¹¹⁵. Las autoridades de estos países reconocen que el dominio de la tecnología de “hipersónicos” ofrece soluciones concretas y potenciales aplicaciones que tendrán un enorme impacto en la doctrina y organizaciones de la defensa y, por lo tanto, ventajas para quien las posea. Por esa razón, también otros países como **Australia, Alemania, Francia, Israel, Japón e Irán**, aún en una escala más modesta, llevan adelante también sus propios programas relacionados con el empleo en misiles¹¹⁶.

En todos los casos, podríamos decir que las alternativas de desarrollo se orientan a tres tipos de tecnologías relacionadas con el “vuelo en régimen hipersónico”:

- a. **Air breathing HW**: Se emplean los denominados “*Supersonic Combustion Ramjet*” (SCRJ). Utilizan el concepto de propulsión de los Misiles de Crucero, pero en este caso con motores denominados “*Air-breathing*”¹¹⁷. Se trata de los típicos motores jet, en los que el aire ambiente ingresa a velocidad supersónica al motor, siendo forzado en distintas etapas y que, combinado en especiales condiciones de P y T en la cámara de combustión, su expansión a velocidad hipersónica por la tobera, genera una fuerza propulsora de gran magnitud y eficiencia. La mayor parte del flujo másico de los gases se obtiene a través de esa combinación de aire ambiente con el combustible almacenado.

113 JAPCC. Journal edition Nro 24 - H.L Besser, D. Gogge, M. Huggins, A. Shaffer, D. Zimper. “Hypersonic vehicles: game changers for future warfare?”, 2017.

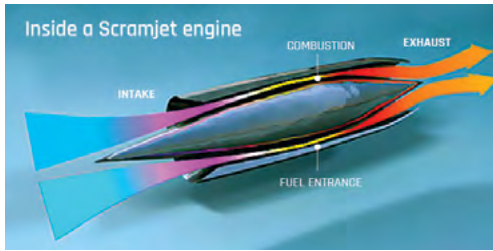
114 RAND Corp. Richard H. Speier, George Nacouzi, Carrie A. Lee, Richard M. Moore. “Hypersonic Missile non- proliferation: Hindering the spread of a new class of weapons”, 2017.

115 Breaking defense: “Falling behind DOD scrambles to buy Tech faster”, 2018, p. 12.

116 JAPCC. Journal edition Nro 24 - H.L Besser, D. Gogge, M. Huggins, A. Shaffer, D. Zimper- “Hypersonic Vehicles: game changers for a future warfare?”, 2017.

117 “Air-breathing”: Se trata de motores jet que emplean el aire ambiente para obtener el oxígeno necesario para el proceso de combustión. El aire que ingresa por la parte frontal es comprimido e impulsado hacia la cámara de combustión, donde adecuadamente combinado con el propelente genera gases que son expulsados a grandes velocidades por una tobera en la parte posterior, generando así la fuerza propulsiva.

FIGURA 28: ESQUEMA DE AIR-BREATHING SCRAMJET ENGINE



Si bien el principio de funcionamiento del Scramjet es relativamente simple, su puesta en ejecución en régimen hipersónico es muy compleja y plantea una cantidad de desafíos: entre otros, la mezcla aire - combustible a velocidad supersónica, así como una adecuada disipación de la temperatura, dada tanto por el desplazamiento a grandes velocidades del vector en el aire, como por el calor generado por la combustión. Por esa razón la canalización del aire y las velocidades al ingreso deben ser contro-

ladas de manera tal de evitar que picos de temperatura provoquen el colapso del motor. Todas las superficies que participan en la canalización del flujo de aire circulante y, principalmente, las que habilitan el paso del mismo a través del motor, son consideradas partes clave en la performance integral del Scramjet. Por esa razón, la integración adecuada de la estructura y el sistema de propulsión de cualquier vehículo aéreo que vuele el régimen hipersónico son críticas para poder alcanzar altos niveles de rendimiento.

De acuerdo a lo expresado por los expertos, el mayor desafío tecnológico que presenta la tecnología de vuelo hipersónico, es el manejo adecuado de las temperaturas extremas propias de la operación del sistema¹¹⁸. A esas velocidades, el aire que ingresa ya lo hace a elevadas temperaturas, debido a la fricción con las partes del motor, por lo que en la cámara de combustión se pueden alcanzar valores de hasta 5.000° F, si no son adecuadamente controladas¹¹⁹. Además, a esas temperaturas la mayoría de los metales se funde y tanto el aire como el combustible se ionizan, resultando así su comportamiento impredecible. Por ello, un adecuado manejo de las temperaturas y materiales de gran resistencia y buena disipación del calor resultan fundamentales¹²⁰.

El desarrollo de estos vectores, se orientó inicialmente a su lanzamiento desde plataformas aéreas que operan en régimen supersónico, lo que permite que al desprenderse de la aeronave, el vector ya se desplaza a velocidad supersónica. Emplean además como *booster*, un motor cohete que lo acelera hasta alcanzar regímenes de supersónico alto (> MACH 4.5) y en ese momento se produce el arranque del motor Scramjet, garantizando así la eficiencia en el funcionamiento en régimen hipersónico. Obviamente, estos vehículos necesitan desplazarse principalmente en “baja atmósfera” para garantizar el suministro de aire que permita el adecuado funcionamiento del régimen de combustión particular del motor. Pero, a su vez, lograr que un objeto vuele a velocidades hipersónicas dentro de la atmósfera terrestre, empleando motores del tipo “air-breathing” es un aspecto de gran complejidad tecnológica que todos los desarrolladores buscan resolver.

Para quien desee incursionar en algunos aspectos técnicos específicos, sugerimos consultar la presentación del AIR FORCE RESEARCH LABORATORY (AFL) W.U. Borger (2007) “*Disruptive Technology: Hypersonic Propulsion*”¹²¹.

118 Fuente: N. Carolina AT&T Univ / Michelin America. H. Lindsay, F. Ferguson, H. Apdin. “Hypersonic vehicle construction & Analysis”. H. Lindsay, F. Ferguson, H. Apdin.

119 Idem.

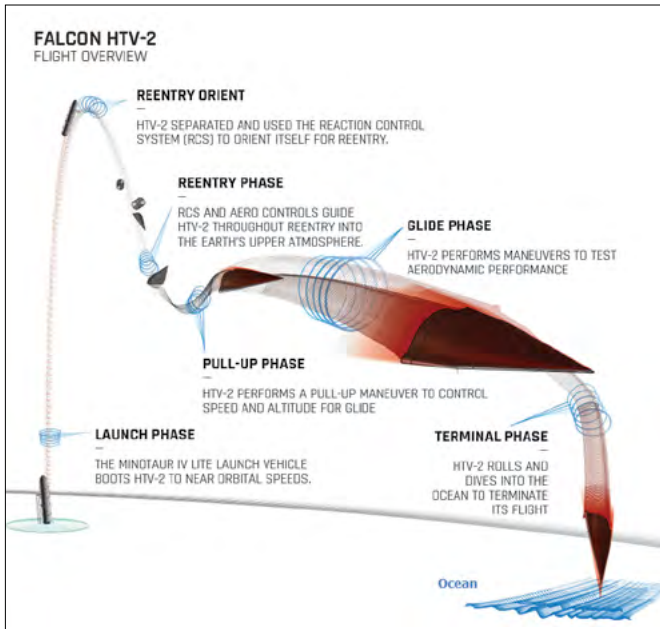
120 Idem.

121 AFL W. U. Borger. “Disruptive Technology: Hypersonic Propulsion” Fuente: <https://ndiastorage.blob.core.usgovcloudapi.net/ndia/2007/disrupt/Borger.pdf>, 2007.

b. Boost Glide Vehicle - Hypersonic Glide Weapons (HGV):

Son vehículos hipersónicos que *no disponen de propulsión propia*. Generalmente son lanzados empleando un cohete que cumple las funciones de *booster*, hasta alcanzar alturas cercanas al límite de la atmósfera (del orden de 100 kilómetros). Allí, el HGV se separa del cohete e inicia el proceso de reentrada hacia la atmósfera. Al no disponer de ningún sistema de propulsión propio, mediante el empleo de sus excepcionales condiciones aerodinámicas, comienza un planeo (*Glide*) de descenso hacia la superficie terrestre, a velocidades de entre MACH 8 / 10 y superiores¹²².

FIGURA 29: CONCEPTO DE FUNCIONAMIENTO DE HIPERSONIC GLIDE VEHICLE (HGV)



Si bien el hecho de no requerir propulsión para la etapa del “*Glide*” significa una ventaja, lo cierto es que la transición entre ambas etapas (Propulsión – *Glide*) constituye un aspecto crítico en el desarrollo, tratado específicamente con el nombre de “*Initial Glide Conditions*” (IGC). Las condiciones en que el HGV inicie esa etapa, adecuadamente estabilizado luego de desprenderse del *booster*, determinarán su comportamiento y maniobrabilidad durante la etapa de vuelo hacia el objetivo. Para la etapa del planeo (*Glide*), el HGV dispone de sofisticados sistemas de guiado y control que le permiten seguir una trayectoria que resultará impredecible para el enemigo. Tiene además la capacidad de manio-

brar evasivamente, a fin de vulnerar y evitar los sistemas de defensa aérea del enemigo. Y todo ello a velocidades hipersónicas.

Esto los convierte en una herramienta verdaderamente disruptiva, que replantea absolutamente la organización y doctrina de empleo de los sistemas de defensa aérea convencionales, cuyo ciclo de detección - adquisición - neutralización está diseñado para hacer frente a amenazas que vuelan en otros regímenes de velocidad, con trayectorias más predecibles. Además, estas características le otorgan una gran capacidad de supervivencia.

La etapa de *Boost* se realiza empleando motores de vectores que pueden ser de mediano alcance, ya que en un principio, estos misiles fueron pensados para batir objetivos también en el marco táctico, satisfaciendo necesidades de precisión *strike*. Tienen la ventaja, además, de poder alcanzar su objetivo con altísimas velocidades al momento del impacto

¹²² La idea de emplear un cohete para impulsar un “Vehículo de re-entrada” (RV), capaz de “planear” luego en su trayectoria descendente a velocidades superiores a MACH 5, se remonta a 1930’s, cuando esto fue propuesto por el ingeniero aeronáutico Austríaco Eugen Sanger. Fuente: <https://www.britannica.com/biography/Eugen-Sanger>

y basan su efecto terminal exclusivamente en la energía cinética propia del vector, prescindiendo así del empleo de una cabeza de guerra explosiva.

Esta tecnología de misil hipersónico pareciera presentarse como la más promisoria y con mayores potencialidades, por lo que gran parte de los proyectos actuales “de envergadura” en esta área están orientados al desarrollo de vectores del tipo *Boost Glide*.

c. Intercontinental Ballistic Missile (ICBM)

Son también vectores hipersónicos los enormes y muy costosos ICBM, con alcances de miles de kilómetros y desarrollados para una confrontación de tipo nuclear. Buscan alcanzar grandes alturas más allá de la atmósfera siguiendo una trayectoria impulsada y luego balística, predeterminadas. Reingresan a la atmósfera a velocidades hipersónicas, desprendiéndose el/ los Vehículos de reentrada (RV) para dirigirse a su objetivo sobre la superficie. Estos RV pueden estar constituidos por uno o múltiples vectores, transportados por una misma cabeza y que, luego de su separación, continúan en descenso *glide* o balístico simultáneamente y con misiones particulares sobre diferentes blancos. También son parte de este tercer grupo los EKV (Exo-atmospheric Kill Vehicle), desarrollados para neutralizar los ICBM en su trayectoria. Particularmente el caso de **ICBM** y **EKV** no son objetivo del presente trabajo.

3. Principales proyectos de misiles hipersónicos

El carácter “confidencial” que los países imponen a estos proyectos solo permite describir solamente algunos de ellos, en base a la información pública disponible, acerca del estado de desarrollo, grado de avance y previsiones de empleo en el área de vectores de uso militar.

Como mencionamos anteriormente, existen desarrollos de misiles de crucero hipersónicos, dentro de la familia de *Air-breathing* como el caso del misil indio/ruso BRAHMOS, destinados particularmente a satisfacer necesidades en el campo táctico/ operacional, en el rango de cortos y medianos alcances¹²³. Sin embargo, los desarrollos de mayor envergadura en el área se orientan a las tecnologías del tipo *Boost glide* (HGV)¹²⁴. Una de las razones es la ventaja que otorga poder independizarse de las complejidades que implica la propulsión del vector, especialmente cuando se requiere volar a altos regímenes de MACH y larga duración.

FIGURA 30: PRINCIPALES TENDENCIAS EN DESARROLLO DE MISILES HIPERSÓNICOS



¹²³ Existen diversas clasificaciones posibles para los misiles en función de sus alcances. Tomando como referencia la presentada por "Arms Control Association" (Es la empleada por EUA), se agrupan en: Corto alcance: Menor a 1000 km – Mediano alcance: 1000 / 3000km – Alcance intermedia: 3000 / 5500Km – Largo Alcance (ICBM): > a 5500Km. Fuente: <https://www.armscontrol.org/factsheets/missiles>. La clasificación empleada por Rusia relaciona los alcances con los campos Táctico – Operacional – Estratégico. La misma se puede consultar en: <https://fas.org/nuke/intro/missile/basics.htm>.

¹²⁴ JAPCC. Journal edition Nro 24 (2017)- H.L Besser, D. Gogge, M. Huggins, A. Shaffer, D. Zimmer- "Hypersonic Vehicles: game changers for a future warfare?"

Los HGV tienen la ventaja de poder complementarse para la etapa de *boost* con motores cohete ya desarrollados, suficientemente probados, con stocks en los arsenales de los países que los desarrollan y en condición operativa. Su única función es propulsar el HGV fuera de los límites de la atmósfera y a partir de allí, que el mismo cumpla en forma independiente su misión.

a. Estados Unidos de Norteamérica:

El achicamiento de la brecha tecnológica, entre las capacidades de **Estados Unidos** y sus principales competidores **Rusia** y **China** es un tema de preocupación tanto para el Pentágono como para los líderes del Congreso de Estados Unidos por la pérdida del liderazgo y ventajas en el área. Según la información que se ha podido confirmar, en los últimos años, China ha conducido 20 veces más ensayos de misiles hipersónicos que Estados Unidos.

Por su parte, el Presidente de Rusia, Vladimir Putin, ha expresado que su país desarrolla misiles de crucero hipersónicos, que progresivamente están siendo sometidos a exhaustivos ensayos. Estos anuncios han sumado preocupación en Washington, acerca de que **Estados Unidos** haya quedado demasiado atrás respecto de sus principales competidores. El Vice Jefe del Estado Mayor Conjunto, Paul Selva, expresó: “Debemos reconocer que hemos perdido nuestra ventaja tecnológica en el área de hipersónicos”¹²⁵.

Por esta razón, el desarrollo de estos sistemas de armas es ahora prioridad de investigación y desarrollo en ese país. Está previsto y aprobado para el presupuesto 2019, asignar US\$ 257 Millones para que **DARPA** y la **Fuerza Aérea de Estados Unidos** avancen en programas para el desarrollo de estas revolucionarias armas. El objetivo a alcanzar es disponer de “prototipos operacionales” para el año 2023¹²⁶.

Algunos de los principales proyectos de Estados Unidos son:

I. X-51 WaveRider¹²⁷.

Estados Unidos ha realizado estudios en tecnologías de hipersónicos desde la década de los 40 y ha realizado test y ensayos exitosos con prototipos diversos, desde mediados de los 60. En el 2004, el vehículo desarrollado por la NASA, denominado **X-43**, fue ensayado empleando para su lanzamiento un motor cohete *Pegassus* y siendo posteriormente acelerado con un *Air-breathing Scramjet* alimentado con hidrógeno. Luego de varias pruebas, alcanzó velocidades superiores a MACH 5, considerándose validado el concepto de vuelo hipersónico y a partir de allí, podemos decir que se abre decididamente el camino para los siguientes desarrollos en el área¹²⁸.

A partir del 2005, el proyecto X-51 WaveRider consistió en un “demostrador” no tripulado, propulsado también por un motor del tipo *Air-breathing Scramjet*, pero en este caso alimentado con hidrocarburos de uso aeronáutico. Fue diseñado y desarrollado por el consorcio integrado por Air Force Research Laboratory (ARL), DARPA, BOEING Co, Pratt & Whitney Rocketdyne y la NASA, entre 2005 y 2013. El objetivo del proyecto fue validar el desarrollo de un motor Scramjet empleando combustibles del tipo “endothermic hydrocarbon

¹²⁵ Breaking defense: “Falling behind DOD scrambles to buy Tech faster”, 2018, p. 12.

¹²⁶ Idem.

¹²⁷ SFTe 44th International / SETP Southwest Flight Test Symposium 82013. Mj C. Rondeau, Lt Col T. Jorris. “X-51A SCRAMJET DEMONSTRATOR PROGRAM: WAVERIDER GROUND AND FLIGHT TEST”.

¹²⁸ <https://slidinфо.com/2010/03/mark-lewis-on-hypersonics-taking-a-logical-path>.

fuel¹²⁹, que permitiera alcanzar como mínimo una velocidad de *MACH 5*, para su empleo en diferentes vehículos aéreos de empleo militar o en investigación espacial.

A lo largo del programa, se desarrollaron cuatro prototipos que fueron ensayados exitosamente en vuelo. El último de ellos en el 2013 voló durante 300 segundos una distancia aproximada de 400 kilómetros y alcanzó picos de velocidad de *MACH 5.1*.

Los ensayos en vuelo permitieron demostrar la factibilidad de propulsar vehículos aéreos empleando motores *Air-breathing Scramjet* y utilizando como combustible hidrocarburos de uso militar del tipo JP-7.

Las pruebas de vuelo se realizaron con lanzamiento desde una plataforma aérea en servicio actualmente. Como *booster* se empleó un motor cohete de combustible sólido, también en servicio. Ello permitió impulsar el vector hasta alcanzar la velocidad necesaria para el arranque y funcionamiento en condiciones óptimas del motor Scramjet y que este pudiera completar el período de combustión a regímenes supersónicos e hipersónicos, durante el vuelo propulsado de 300 segundos de duración.

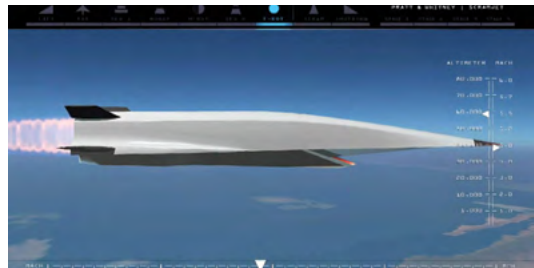
Una breve descripción del funcionamiento del misil¹³⁰:

- > **Plataforma de lanzamiento:** Para el proyecto y los ensayos en vuelo realizados fue elegido el bombardero estratégico B 52H "Stratoforthress", volando a *MACH 0.8* y a 15.000 metros de altura. Se consideró además su empleo en otras plataformas aéreas.

FIGURA 31.1: PLATAFORMA DE LANZAMIENTO DEL X-51



FIGURA 31.2: MISIL X-51



- > **Booster:** El X51 tiene montado en su parte posterior un *booster*. Para ello se empleó un motor cohete de combustible sólido suficientemente probado y en servicio, el del *Army Tactical Missile System* (ATACMS). Cuando el misil se desprende de la plataforma, el booster lo acelera de *MACH 0.8* a 4.8 y alcanza, a su vez, unos 27.000 metros de altura. En ese momento el booster se desprende y el motor Scramjet del X-51 arranca, llevando al misil a velocidades crucero superiores a *MACH 5*.
- > **Internal Inlet:** La "nariz" del misil tiene una forma muy aguzada, por la cual ingresa el aire que alimenta el motor. Envía, además, las ondas de choque a velocidades supersónicas hacia una abertura rectangular en el vientre de la nave. Estas ondas de choque comprimen el aire, evitando así tener que emplear partes mecánicas móviles para el proceso de compresión del aire en el motor, lo cual lo simplifica.

129 "Hydrocarbon Fuel Cooling Technologies for Advanced Propulsion". Fuente: <https://proceedings.asmedigitalcollection.asme.org/proceeding.aspx?articleid=2130253>

130 <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a593742.pdf>.

> Cámara de combustión (Combustor)¹³¹: El empuje se genera cuando el aire fuertemente comprimido se mezcla con una niebla de combustible aeronáutico, lo cual produce el encendido. Debido a que el movimiento a velocidades hipersónicas genera temperaturas extremas, el combustible de empleo militar JP-7, modificado específicamente para este motor, cumple simultáneamente dos funciones: mantener una adecuada temperatura para la combustión en condiciones óptimas y colaborar además en la refrigeración del motor, sometido a temperaturas extremas durante un prolongado tiempo de combustión (300 segundos). De esta forma, el mismo propulsante actúa además como refrigerante, lo que contribuye a evitar que las paredes del motor se deterioren e incluso fundan, provocando el colapso de la estructura¹³².

A modo de resumen, podemos decir que este programa constituyó el “vuelo de mayor duración de un motor Scramjet en régimen hipersónico”. (300 segundos – Veloc > MACH 5).

Permitió, además, validar la factibilidad del empleo de vehículos aéreos en régimen hipersónico, con la propulsión auxiliar (*booster*), de un motor cohete de artillería en servicio (ATACMS), todo ello integrado al lanzamiento desde una plataforma aérea también en servicio activo, como el B 52-H.

El trabajo de un equipo multidisciplinario liderado por la Fuerza Aérea de Estados Unidos e integrado por varios organismos y empresas proporcionó a todas las partes enorme experiencia, que luego pudo ser aplicada en futuros desarrollos en el área de hipersónicos.

II. Sobre la base del éxito obtenido con el **X-51**, la estrategia de Estados Unidos ha sido, a partir del 2015, concentrar la capacidad de desarrollos de nuevas tecnologías de hipersónicos en un solo Organismo DARPA, dependiente del Ministerio de Defensa¹³³, asignando allí todos los recursos que se invierten para investigación y desarrollo en el área.

Y en lugar del desarrollo de un misil de determinado tipo, útil para una cierta Fuerza, el objetivo es adquirir Know-how específico en el desarrollo de las dos familias de vectores hipersónicos: Air breathing y Boost glide, que puedan dar lugar a su utilización en diferentes plataformas, con el criterio de modularidad y flexibilidad de empleo.

DARPA se constituye así, en el receptor y ejecutor de los recursos asignados al desarrollo de estas tecnologías.

No obstante ello, como veremos más adelante, las Fuerzas pueden llevar adelante sus propios proyectos, pero los mismos deben estar destinados a nuevos sistemas de armas, que empleen las tecnologías ya desarrolladas, ensayadas y validadas por DARPA.

Una muestra del interés que estas provocan es la evolución creciente del presupuesto asignado a DARPA para la investigación y desarrollo en hipersónicos: Año 2017: US\$ 85 millones – 2018: US\$ 108 millones – 2019: US\$ 256 millones. Ese incremento en las asignaciones está fundamentado en la necesidad de realizar mayor cantidad de pruebas en vuelo, que permitan dar un gran paso hacia la operatividad de los sistemas.

Como mencionamos antes, las tres Fuerzas realizan estudios conjuntos con **DARPA** para explorar cada una de ellos, opciones que satisfagan requerimientos propios. Porque no sólo

¹³¹ <https://www.af.mil/News/Article-Display/Article/118297/x-51a-waverider-gets-first-ride-aboard-b-52/>.

¹³² Un informe muy completo sobre el proyecto se puede consultar en “X-51: A Scramjet Demonstrator Program Waverider Ground and Flight Test”. Fuente: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a593742.pdf>.

¹³³ DoD: US Department of Defense (Ministerio de Defensa de Estados Unidos).

de trata de un tema de C&T, con alguna opción de aplicación futura. Se trata también de estar suficientemente actualizado y, en lo posible, disponer de capacidades operacionales superiores a las de un eventual oponente.

Particularmente para el 2019, se llevarán adelante, entre otros, los Programas **HAWC** (*Hypersonic Air Breathing Weapons Concept*) y **TBG** (*Tactical Boost Glide*).

III. "Hypersonic Air-Breathing Weapons Concepts" (HAWC)

Se trata de otro esfuerzo conjunto entre DARPA y la Fuerza Aérea de Estados Unidos, que tiene una asignación prevista para el 2019, de US\$ 14.3 millones. Su objetivo es desarrollar, ensayar y validar, tecnologías críticas para el vuelo hipersónico del tipo *air-breathing*, que permitan llegar a un eficiente sistema de arma hipersónica, lanzada desde plataformas aéreas.

Este programa pone gran énfasis en los ensayos, que como se observó con el X-51, constituyen una forma rápida y más eficiente de alcanzar los objetivos buscados. A través de estos ensayos en vuelo, busca abordar tres áreas críticas para el programa: Viabilidad del vehículo aéreo – efectividad – asequibilidad¹³⁴.

Esas áreas críticas incluyen¹³⁵:

- > Distintas configuraciones de vehículo aéreo apto para vuelo hipersónico.
- > Propulsión Scramjet empleando hidrocarburos, que sea capaz de sostener vuelo a velocidad de crucero en régimen hipersónico.
- > Adecuado manejo de las elevadas temperaturas que se generan y mantienen durante extensos períodos de tiempo.
- > Que las tecnologías desarrolladas tengan una aceptable relación costo/ resultado.
- > Que esas tecnologías sean obtenibles y aceptables para el complejo industrial que llevará adelante la producción de los sistemas.

En una primera etapa se han planeado requerimientos de alcance mayor a 500 kilómetros y alturas de vuelo superiores a 18.000 metros¹³⁶, estimándose que en el 2019 se realizarán ensayos en vuelo con prototipos funcionales.

IV. "TACTICAL BOOST GLIDE" (TBG)

Los intentos más actuales de desarrollo de un vehículo "*Boost Glide*" por parte de Estados Unidos son del año 2003, cuando el presidente de Estados Unidos, G. Bush, inicia el Programa denominado "*Conventional Prompt Global Strike*" (CPGS) mencionado anteriormente con el objetivo de desarrollar armas de largo alcance, muy veloces y con capacidad "no-nuclear". Se llevaron adelante dos importantes programas denominados: "*Hypersonic Technology Vehicle-2*" (HTV-2) y "*Advanced Hypersonic Weapon*" (AHW).

Ambos proyectos, con diverso grado de éxito siguieron hasta el año 2014, en que fueron cancelados. Sin embargo, toda la experiencia adquirida por los desarrollistas y el "renacer" de los programas de armas hipersónicas del tipo **Glide** por parte de Rusia y China volvieron a impulsar el interés de Estados Unidos en el tema.

Una de las prioridades del Ministerio de Defensa es el denominado "**TACTICAL BOOST GLIDE**" (**TBG**). Se trata de un esfuerzo conjunto entre DARPA / Fuerza Aérea de Estados

¹³⁴ DARPA: <https://www.darpa.mil/program/hypersonic-air-breathing-weapon-concept>.

¹³⁵ Air Breathing Weapons Concept. Fuente: <https://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/hawc.htm>

¹³⁶ <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a619521.pdf>, p. 30.

Unidos para desarrollar y validar las tecnologías relacionadas con un misil hipersónico del tipo “*Boost Glide*”, pero para ser lanzado *desde plataformas aéreas* y para su empleo específico en el *marco táctico*, con un alcance aproximado de 900 kilómetros¹³⁷. El programa incluye ensayos y demostraciones en vuelo que permitan validar su lanzamiento desde las más modernas plataformas aéreas actuales y futuras. Idealmente, el programa debe considerar la posibilidad de ser compatible también con los sistemas navales de lanzamiento vertical (VLS) en uso en la Marina de Estados Unidos¹³⁸.

Tal cual lo expresara Michael Griffin, Subsecretario de Investigación e Ingeniería para la Defensa (Estados Unidos), constituye una de las prioridades establecidas, habiéndose asignado un presupuesto de US\$ 139.4 millones para el 2019. Se estima que se estaría en condiciones de ensayar prototipos funcionales hacia 2022 o 2023.

V. “HIPERSONIC CONVENTIONAL STRIKE WEAPONS” (HCSW)

Independientemente del HAWC y del TBG¹³⁹, la Fuerza Aérea de Estados Unidos ha asignado en junio de 2018 a la empresa **LOCKHEED MARTIN (LM)**, un importante contrato por hasta US\$ 918 millones para el año 2019, por el diseño, desarrollo, ensayos de vuelo, producción inicial y despliegue de un *misil hipersónico para ser lanzado desde aeronaves*, en el marco de un programa denominado “*Hypersonic Conventional Strike Weapon*” (HCSW).

Este sistema de armas que deberá alcanzar velocidades de hasta *MACH 5* como mínimo, tiene por objetivo desarrollar un proyecto que en un *plazo relativamente corto*, llegue a un sistema en condiciones de *pasar al despliegue operativo*, permitiendo así colocar a Estados Unidos a la vanguardia de potenciales oponentes, tales como **Rusia** y **China** que llevan adelante desarrollos similares de armas hipersónicas.¹⁴⁰

La selección de esta empresa como principal adjudicataria se fundamenta en que **LM** ha desarrollado y volado más vehículos hipersónicos que ninguna otra empresa de Estados Unidos. Tiene, además, experiencia de varias décadas en desarrollos y ensayos de vuelo, en el marco de contratos con agencias gubernamentales, así como inversiones propias en investigación y desarrollo específica para el área¹⁴¹.

Esta decisión está “alineada” con las recientes expresiones de Mike Griffin¹⁴², quien expuso ante el Congreso de ese país: “*Nuestros adversarios nos presentan nuevos desafíos, mediante sofisticadas y revolucionarias amenazas, muchas de ellas no-nucleares, que nos obligan a retomar rápidamente el dominio tecnológico que tradicionalmente tuvo Estados Unidos en esa área*”¹⁴³.

VI. NATIONAL HYPERSONICS INITIATIVE: Un abordaje más integral del problema

Como mencionamos anteriormente, no se trata solamente de incrementar las capacidades de *Prompt Global Strike*, sino que se debe, además, abordar el tema de cómo *adecuar las*

¹³⁷ <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a619521.pdf>, p. 31.

¹³⁸ https://www.globalsecurity.org/military/library/budget/fy2015/dod-peds/0603286e_3_pb_2015.pdf, p. 6.

¹³⁹ Como mencionamos anteriormente, HAWC y TBG constituyen proyectos bajo gestión de DARPA y para desarrollar nuevas tecnologías. Pero se habilita a las Fuerzas, para que gestionen proyectos con la base de desarrollos ya evaluados y aprobados.

¹⁴⁰ <https://news.lockheedmartin.com/2018-06-06-Lockheed-Martin-Wins-Potential-928-Million-Contract-to-Develop-New-Hypersonic-Missile-for-the-Air-Force>.

¹⁴¹ Idem.

¹⁴² Subsecretario de Investigación e Ingeniería para la Defensa de Estados Unidos.

¹⁴³ <https://www.telegraph.co.uk/news/2018/04/19/us-awards-1-billion-contract-hypersonic-missile-falls-behind/>.

capacidades defensivas disponibles. Los sistemas de defensa aérea y misiles más modernos actualmente en servicio han sido desarrollados para hacer frente a un determinado tipo de amenazas tales como ICBM, aeronaves tripuladas o autónomas, así como misiles de crucero en régimen de vuelo supersónico “bajo”¹⁴⁴.

El desarrollo de la tecnología de hipersónicos por parte de Estados Unidos y la certeza de que otras potencias avanzan aceleradamente en sus respectivos programas motivó que la Agencia de Defensa de Misiles de Estados Unidos (MDA, por sus siglas en inglés) requiriera para el año 2019, un presupuesto específico de US\$ 120 millones, destinado a programas de desarrollo de sistemas de defensa aérea, aptos para neutralizar estas nuevas amenazas. Y para ello, la MDA trabaja en equipo con DARPA, compartiendo información, conocimientos y experiencia específica para el desarrollo de proyectos actuales y futuros¹⁴⁵.

Lo cierto es que nadie quiere quedar fuera de la “mesa de las decisiones” y, obviamente, tampoco lejos de las asignaciones presupuestarias, por lo que desde el Departamento de Defensa de Estados Unidos, se ha expuesto la denominada “*NATIONAL HYPERSONICS INITIATIVE*”, que busca darle un marco más integrador a todos los esfuerzos, programas y recursos que se llevan adelante en el área y que hasta ahora en cierta medida centralizaba DARPA.

Relacionado con ello, el **20 de marzo de 2018**, en el marco de la “*National Defense Industrial Association’s Science and Engineering Technology Conference*” realizada en Austin, Texas, autoridades de la **Marina de Estados Unidos** manifestaron su especial interés en buscar la forma y el lugar, en que esa Fuerza pueda participar también en el “*Hypersonics World*”¹⁴⁶. “Queremos conocer que es lo que se ha hecho en el tema y la manera de incorporar esas capacidades a nuestros sistemas navales” expresó David Walker, Director de Tecnología en la Oficina de Investigación Marina. Esto evidencia que la **Marina de Estados Unidos** está interesada también en buscar la manera de incorporar estas capacidades a sus plataformas, así como ajustar su doctrina, funcionamiento operativo y logístico de los grandes grupos de batalla navales, cuyo corazón son los portaaviones, incluso analizar si existe una manera de integrarlos a los sistemas de lanzamiento vertical (VLS) desde unidades de superficie ya en servicio¹⁴⁷.

Otro aspecto de interés es que se ha considerado también incorporar a la NASA a los programas y presupuestos de investigación y desarrollo, incluidos en esta iniciativa integradora. Debemos recordar que, tradicionalmente, se ha tratado de mantener una estricta separación entre el desarrollo de vectores de uso para la defensa y aquellos desarrollos de la NASA destinados a investigación y desarrollo en el espacio exterior, exclusivamente con fines pacíficos y de investigación. Pero esta división es algo cada vez más difícil de sostener, al resultar para todos ya evidente que el dominio del espacio para el C&C de las operaciones en todos los escenarios es una capacidad que todas las grandes potencias demandan disponer.

Prueba de ello, es la mención del Presidente de Estados Unidos en la primera semana de agosto de 2018, acerca de los estudios que se llevan a cabo para la creación de una “**Sexta**

¹⁴⁴ Muy inferiores a MACH 5.

¹⁴⁵ <http://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2018/3/1/darpa-plans-to-accelerate-hypersonic-weapons-development>.

¹⁴⁶ <http://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2018/3/21/navy-seeking-role-in-national-hypersonics-initiative>

¹⁴⁷ Idem.

Fuerza” o “Space Force”, destinada a llevar adelante el esfuerzo bélico en ese medio¹⁴⁸. El mismo vicepresidente de ese país, expresó el 9 de agosto de 2018 la visión de Estados Unidos acerca de la “exploración y combate” en el espacio¹⁴⁹.

Cabe destacar que el despliegue o ensayos de cualquier tipo de armas estratégicas en el espacio, está prohibido por el “Tratado del Espacio Exterior” firmado por la ONU en 1967, mientras que está permitido el uso pacífico y la exploración. Sin embargo, nada dice el citado tratado acerca de las armas “*de menor escala*”, que sin llegar a provocar una confrontación nuclear, pueden desencadenar una carrera armamentista, destinada a denegar el uso del espacio por parte del oponente.

Estados Unidos tiene muy presente cuando en el año 2007, China derribó un satélite propio con un misil del tipo “*Hit – to – kill*”, como una demostración de su capacidad letal en el espacio exterior y hasta una velada amenaza acerca de sus posibilidades en ese campo¹⁵⁰. También Rusia ha realizado sus ensayos, eliminando satélites propios en desuso.

Como podemos ver, las **Tecnologías de Hipersónicos** terminan aplicando también para su empleo en un futuro escenario de guerra en el espacio.

Si bien es un tema que, obviamente, excede el marco del presente trabajo, simplemente lo mencionamos para mostrar la manera en que el advenimiento de cualquier “tecnología disruptiva” *nunca puede considerarse en forma aislada*. Las mismas modifican los escenarios posibles de confrontación, así como las organizaciones y la doctrina, lo que obliga a repensar las alternativas de empleo, ya que las capacidades existentes hasta el momento pueden resultar ineficaces para hacer frente a esas nuevas amenazas.

b. China: En las últimas décadas, este país ha realizado grandes avances en el área de hipersónicos. Si bien todos sus proyectos son llevados adelante bajo el mayor de los secretos, se tiene conocimiento de que las inversiones en infraestructura específica han sido enormes, lo cual pone en evidencia el interés que las autoridades tienen sobre el tema. Algunos analistas consideran que los recursos asignados a la construcción de túneles de viento, capaces de ensayar objetos voladores en régimen hipersónico, bancos de ensayos de motores, laboratorios de ensayos mecánicos para estructuras, laboratorios de modelización y simulación específicos, superan en 2 o 3 veces lo invertido por Estados Unidos en el área¹⁵¹.

El principal desarrollo que lleva adelante este país, recibe la denominación de **DF – ZF** (Originalmente llamado WU-14). China ha ensayado este *Boost Glide Vehicle* con velocidades entre MACH 5 - 10. Se asume que en su etapa de boost es lanzado desde alguno de los misiles ICBM o Tácticos desarrollados por este país e incluso algunos remanentes de origen ruso. Se conoce extraoficialmente que, hasta la fecha, se han realizado al menos seis ensayos de vuelo de este sistema¹⁵².

Por otra parte, es un tema de enorme preocupación para las autoridades de **Estados Unidos** el hecho de que en los últimos años **China** ha conducido 20 veces más ensayos que Estados Unidos en esta área¹⁵³. El incremento de los ensayos, en ciclos cada vez más cortos, aún en los casos

148 <https://www.businessinsider.com/trump-space-force-china-beijing-2018-8>

149 Idem.

150 <https://www.businessinsider.com/trump-space-force-is-dumb-says-nasa-astronaut-2018-6>.

151 <http://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2018/3/1/darpa-plans-to-accelerate-hypersonic-weapons-development>.

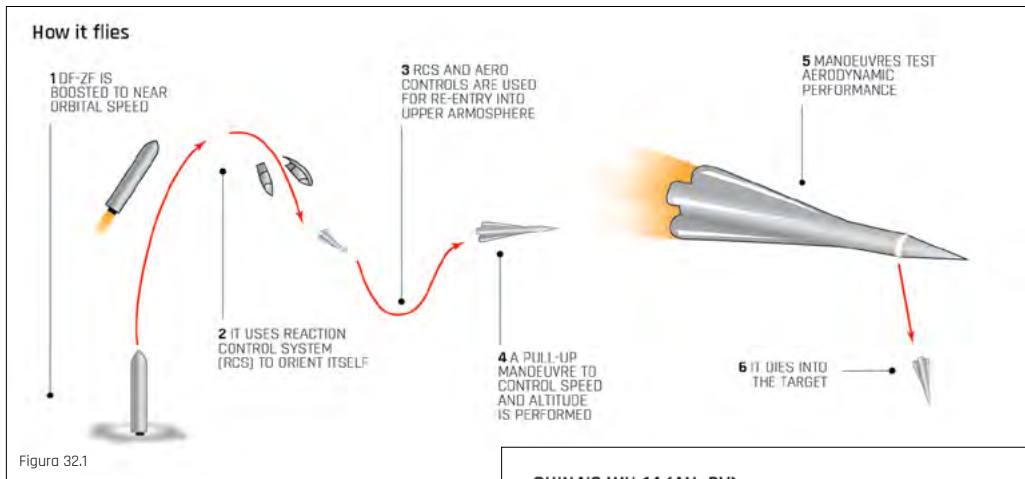
152 JAPCC. Journal edition Nro 24 (2017)- H.L Besser, D. Gogge, M. Huggins, A. Shaffer, D. Zimper- “Hypersonic Vehicles: game changers for a future warfare?”

153 <http://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2018/6/12/key-senator-sounds-alarm-about-chinese-hypersonic-capabilities>.

de pruebas que resultan fallidas indicaría que se va alcanzando progresivamente el dominio de las tecnologías y materiales críticos para el desarrollo. En noviembre de 2015, **China** condujo el sexto ensayo del DF-ZF y algunos analistas consideran que las siguientes etapas podrían conducir a la militarización del sistema.

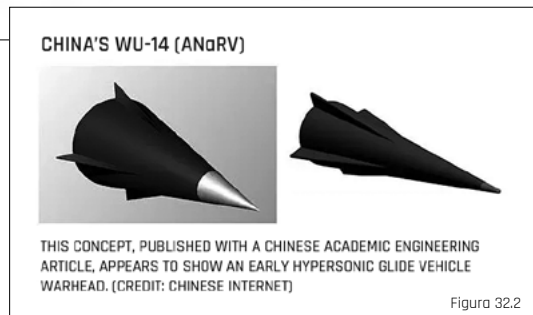
En el mismo mes, la *China Aerospace Science and Industry Corporation (CASIC)*, anunció, además, el desarrollo exitoso de un sistema electromagnético de lanzamiento de misiles¹⁵⁴. Estaría relacionado con la búsqueda de sistemas booster para los HGV, que permitieran prescindir de propulsores convencionales y emplea tecnologías similares a las desarrolladas para el Railgun (EMRG) o el lanzamiento de aeronaves con “catapultas” electromagnéticas desde portaaviones.

FIGURA 32: MISIL HIPERSONICO DF - ZF (WU - 14). (CHINA)



Uno de los últimos anuncios realizados por China destaca el desarrollo de un sistema que denominan **DF-17**. Algunos expertos opinan que podría tratarse de la “*implementación como sistema de armas*” del DF-ZF antes mencionado¹⁵⁵. Este misil del tipo HGV sería capaz de alcanzar velocidades de hasta MACH 10¹⁵⁶.

Se desconocen los detalles acerca de las plataformas de lanzamiento empleadas, pero por similitud a Rusia, se estima que en una primera etapa se estarían empleando las del tipo TEL/MEL¹⁵⁷ convenientemente adaptadas de alguno de los grandes sistemas misilísticos en servicio y suficientemente probados.



¹⁵⁴ “China Makes Breakthrough in Electromagnetic Missile Launching Technology,” People’s Daily Online: <http://en.people.cn>; “China Chang Feng Mechanics and Electronics Technology – CCF 2nd Academy,” Federation of American Scientists, www.fas.org, noviembre de 2015.

¹⁵⁵ <https://newsonia.com/reader/report/china-fires-up-advanced-hypersonic-missile-challenge-to-us-defences/>

¹⁵⁶ <http://www.scmp.com/news/china/diplomacy-defence/article/2126420/china-fires-advanced-hypersonic-missile-challenge-us>.

¹⁵⁷ TEL / MEL: Truck Erector Launcher / Mobile Erector Launcher.

En agosto de 2018 se tomó conocimiento de la realización de un ensayo de un nuevo prototipo denominado “Xingkong-2 (Starry Sky-2)”. Según el informe producido por la *China Academy of Aerospace Aerodynamics* (CAAA), el vector del tipo HGV fue propulsado fuera de la atmósfera, para luego de la reentrada y separación del booster realizar un vuelo autónomo de 400 segundos, a una altura de 30.000 metros y alcanzando una velocidad de MACH 6.

FIGURA 33: MISIL HIPERSÓNICO DF -17. (CHINA)



Este tipo de ensayos pone en evidencia que China lleva adelante un importante y sostenido esfuerzo en el área que le permite adquirir experiencia y formar recursos humanos específicos para adquirir nuevas capacidades. No obstante ello y la promoción a veces excesivamente optimista con que presentan los resultados de los ensayos, los mismos expertos chinos manifiestan que aún faltarían entre 3 y 5 años para que estos sistemas puedan pasar a la etapa operativa, en condiciones de producción sostenible, provisión y empleo¹⁵⁸.

Algunos expertos consideran que la escasa capacidad relativa de los sistemas de cálculo de que dispone este país sería probablemente parte de la causa del retraso de algunos de los programas en curso. Relacionado con ello, según un informe del *South China Post* del año 2015: “La falta de poder de cálculo computacional retrasa a los científicos en su esfuerzo por crear y verificar mediante simulaciones sus diseños en armas hipersónicas”¹⁵⁹. Disponer de “super-computadoras” permitiría incluso crear “túneles de viento digitales”, que acelerarían notablemente el proceso de desarrollo de prototipos para ensayo en vuelo.

El citado informe expresa además: “las Super Computadoras de Estados Unidos son hasta 10 veces más veloces que las de China, y ello hace que los investigadores pierdan gran cantidad de tiempo en sofisticados cálculos que sólo pueden hacer esas máquinas”¹⁶⁰.

No obstante lo expresado, pese a la escasa información disponible e incluso a la dudosa confiabilidad de las fuentes, los expertos en el tema difieren acerca de las posibilidades reales de China de alcanzar resultados exitosos en el corto plazo.

Los más pesimistas afirman que aún están algunas décadas atrás de lograr el desarrollo exitoso de un HGV. Por su parte, los más optimistas afirman que hacia 2020, China estaría en condiciones de presentar un sistema operacional¹⁶¹. Como naturalmente ocurre, probablemente la verdad se encuentre en un punto medio entre ambas opiniones.

Probablemente, la situación estratégica por la disputa territorial en el “*South China Sea*”, que debería dirimirse en primera instancia con el empleo de armas “no-nucleares”, acelera la necesidad de acortar los tiempos de desarrollo para todos los potenciales contendientes. Y en ese escenario de guerra fundamentalmente aeronaval, las armas hipersónicas podrían jugar un papel determinante en la batalla.

158 <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-6034427/China-tested-hypersonic-aircraft-called-Starry-Sky-2-fire-nuclear-missiles.html>.

159 <https://thediplomat.com/2016/04/china-tests-new-weapon-capable-of-breaching-u-s-missile-defense-systems/>.

160 Idem.

161 Idem.

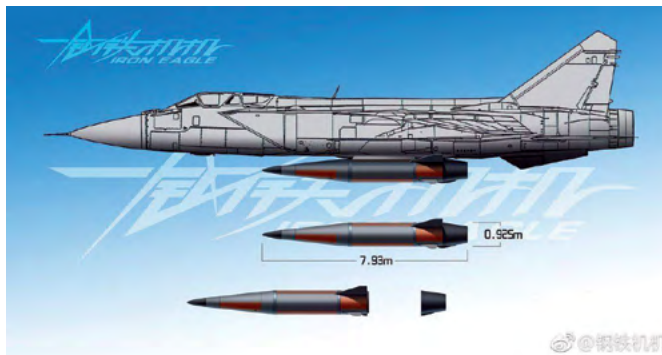
c. **Rusia:** En la ceremonia del “Día de la Victoria” el 9 de mayo de 2018, el presidente Vladimir Putin fue muy enfático respecto de la necesidad de ese país de colocarse nuevamente a la vanguardia en el desarrollo de misiles hipersónicos, para hacer frente a la amenaza latente de Estados Unidos, así como el despliegue de la OTAN sobre las fronteras con su país.

Los expertos consideran que Rusia aprovechó la experiencia obtenida con la India, en el desarrollo binacional del misil de crucero Supersónico “BRAHMOS” para llevar adelante los siguientes proyectos de armas hipersónicas:

I. KINZHAL: Se trata de un misil de crucero hipersónico, del tipo “*air-breathing*” para ser lanzado desde aeronaves. Según fuentes rusas alcanza velocidades superiores a MACH 6 y una gran maniobrabilidad en todas las fases de su trayectoria de vuelo¹⁶². Emplea como plataforma de lanzamiento al interceptor MIG-31 “*Mikoyan*” (*En servicio*), cuyo techo operativo cercano a 60.000 pies (18.300 metros) y su velocidad supersónica (hasta MACH 2.8), permitirían un óptimo desempeño del vector.

Se estima que el misil tendría un alcance de 1000 kilómetros que, sumados a la autonomía propia superior a los 2000 kilómetros de la aeronave, otorgaría al sistema un alcance total de

FIGURA 34: MISIL MISIL HIPERSÓNICO KINZHAL (RUSIA)



3000 kilómetros. Ello permitiría disponer de un arma muy difícil de detectar y neutralizar en su fase final autónoma con capacidad letal para destruir objetivos vitales, como los portaaviones de la flota estadounidense desplegados alrededor del mundo, así como atacar objetivos específicos empleando cargas nucleares de las denominadas “*low-yield*”¹⁶³.

Además, la posibilidad de llevar un misil hipersónico en la condición “*Stand-off*”, para

ser lanzado desde aeronave, le otorga al sistema un mayor factor sorpresa, debido a que puede resultar difícil discriminar con antelación el *tipo de ataque que está en curso*, hasta una distancia en la cual ya resulte imposible interceptar al misil.

Rusia afirma que ya ha desplegado 10 MIG-31 modificados, equipados con misiles *Kinzhal* en alguna de sus fronteras, a fin de someterlos a pruebas reales en condiciones de combate¹⁶⁴.

II. ZIRCON (3M22): Se trata de un misil de crucero hipersónico del tipo “*air breathing*” para ser lanzado desde plataformas navales y de empleo específico antibuque. Según diferentes fuentes

¹⁶² Respecto a la velocidades cercanas a MACH 10, expertos y analistas occidentales son escépticos acerca de esos valores y consideran que se trata de una exageración / sobreestimación propia de la propaganda rusa. No obstante ello, se estima que alcanzaría velocidades muy elevadas. Fuente: <https://www.defensenews.com/pentagon/2018/03/02/as-putin-touts-hypersonic-weapons-america-prepares-its-own-arsenal-will-it-be-in-time/>.

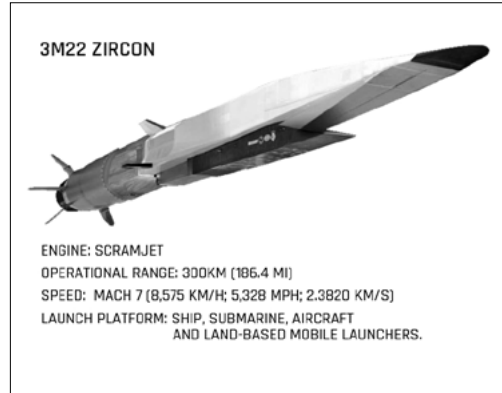
¹⁶³ Low yield warhead: Cabeza de guerra de bajo rendimiento. Se suele denominar así a aquellas cabezas con carga nuclear cuyo efecto, particularmente el nuclear, es de menor poder / escala.

¹⁶⁴ <https://www.defensenews.com/pentagon/2018/03/02/as-putin-touts-hypersonic-weapons-america-prepares-its-own-arsenal-will-it-be-in-time/>.

tes, su alcance varía entre 350 y 500 kilómetros (*En modo M-M*) y 900 kilómetros (*En modo A-M*), pudiendo alcanzar velocidades de hasta MACH 8¹⁶⁵. Emplea un motor cohete de combustible sólido, para el lanzamiento inicial que lo acelera hasta alcanzar velocidad supersónica alta (MACH 4.5), en que comienza a funcionar el Scramjet. Según los órganos de propaganda rusa, por su velocidad y alcance (*que triplica al del misil antibuque de mayor alcance actual de Estados Unidos, el HARPOON*), lo convierten en el **“más letal de los misiles antibuque en servicio”**. Como un aspecto adicional, en su diseño se contempló que pudiera ser disparado desde las plataformas de lanzamiento vertical de misiles 3S -14 VLS System, actualmente provistas en la mayoría de las Corbetas y Cruceros de la Armada rusa.

Estas permiten el lanzamiento de los misiles supersónicos ONYX, así como los subsónicos KALIBR¹⁶⁶. Con el agregado del hipersónico ZIRKON, Rusia adquiere entonces la capacidad de armar sus plataformas de combate navales con una verdadera familia de misiles que le otorgan un gran poder de combate, modularidad y flexibilidad de empleo. Esto último constituye un motivo de gran preocupación para la Marina de Estados Unidos, cuyos sistemas son bastante más rígidos, respecto de sus plataformas de lanzamiento. Si todo se cumple de acuerdo a lo planificado, el sistema estaría operativo hacia el 2020.

FIGURA 35: MISIL HIPERSÓNICO ZIRKON. (3M22). (RUSIA)



III. AVANGARD: YU 71-“Unmanned Hyperglide Vehicle”: En abril de 2016, Rusia condujo y anunció los ensayos en vuelo de su nuevo vehículo hipersónico YU-71. Se trata de un misil del tipo “*Hypersonic Glide*”, lanzado en ese momento desde un misil ICBM SS-19.

Si bien el Presidente Putin expresó que podría alcanzar velocidades de hasta MACH 20, esto no ha podido confirmarse. Sin embargo, esos valores podrían considerarse viables, por tratarse de un típico “*vehículo de re-entrada*”, con capacidad *Glide* para su etapa de vuelo final hacia el objetivo, en un ataque realizado además por cabezas múltiples.

Obviamente resultan de gran preocupación las velocidades mencionadas (*del orden de 24.700 kilómetros por hora*), que permitiría alcanzar cualquier punto de la tierra en menos de una hora, con el agregado de las dificultades que genera la detección y adquisición de este tipo de vectores, que como mencionamos anteriormente, puede estar conformado por cabezas múltiples autónomas, de gran velocidad y trayectoria impredecible. Detalles del proyecto o sus capacidades específicas son desconocidas, existiendo además noticias acerca del desarrollo de un nuevo vehículo denominado YU-74¹⁶⁷.

¹⁶⁵ Valor que a juicio de algunos expertos resulta exagerado y no existen pruebas ciertas de ello. Se estima que la velocidad real sería del orden de MACH 5 / 6.

¹⁶⁶ <https://nationalinterest.org/blog/the-buzz/imagine-almost-every-russian-warship-hypersonic-missiles-22675>.

¹⁶⁷ JAPCC. Journal edition Nro 24 (2017)- H.L Besser, D. Gogge, M. Huggins, A. Shaffer, D. Zimper- “Hypersonic Vehicles: game changers for a future warfare?”.

Algo más acerca de los Proyectos de Rusia: Como mencionamos anteriormente, este país promociona una gran variedad de proyectos de diferente tipo, llevando adelante un activo programa de ensayos que trata de presentar evidencias acerca de su ventaja respecto de las otras potencias y que se encontraría próximo a pasar a la etapa operativa de los sistemas. Lo cierto es que muchos ensayos han sido exitosos y otros no tanto.

Es cierto también que mientras **Estados Unidos** sigue adquiriendo experiencia e incrementando progresivamente los presupuestos en el área, **Rusia** afirma ya tener algunas de estas armas operativas, e incluso como el caso del *misil antibuque ZIRCON*, muy próximo a su despliegue operativo. Esto preocupa a las autoridades de Estados Unidos que reconocen que tarde o temprano, tanto **Rusia** como **China** alcanzarán un *estado tecnológico adecuado*, como para concretar la operatividad de las armas y sus respectivas plataformas. Sólo es cuestión de tiempo y bastará que se presente la oportunidad de probarlas en combate, para poder determinar si se trata realmente de "*Tecnologías Disruptivas*" y si estas han alcanzado el grado de madurez que las autoridades de estos países afirman.

Aún con opiniones disímiles en cuanto a la veracidad de todo lo expuesto como logros alcanzados por estas potencias, la mayoría de los expertos en el tema reconocen que estas armas han llegado para revolucionar el área de los misiles y abren un camino de consecuencias difícilmente predecibles.

d. India

Este país inició su incursión en el ámbito de los Misiles de Crucero, a partir del desarrollo del "*BRAHMOS I*". Consistió en un proyecto conjunto, realizado entre la Defense Research Development Organization (DRDO) de India y la "NPO-Mashinostroyeniya" de Rusia, conformando en el año 1998 la empresa Brahmos Aerospace Private Limited¹⁶⁸.

El objetivo fue desarrollar un "misil de crucero supersónico", con velocidad de *MACH 3* y un alcance eficaz de 290 kilómetros. La limitación impuesta en alcance se debe a que tanto India como Rusia son signatarios del MTCR¹⁶⁹, tratado que, entre otros aspectos, impone restricciones en el alcance (menos de 300 kilómetros) y la carga útil en su cabeza de guerra (menos de 500 kilos), para el desarrollo de vectores convencionales de uso militar. El *BRAHMOS I* tiene un techo máximo de servicio de 14.000 metros y una altura mínima de vuelo crucero de 5 metros con capacidad "*F&F - fire and forget*"¹⁷⁰, por lo que es considerado y promocionado aún como el "más veloz de los misiles de crucero" supersónicos actualmente en servicio, superando en 4 veces la velocidad del renombrado BGM - 109 "*Tomahawk*" (MACH 0.75).

El éxito obtenido con el *BRAHMOS I* y el interés de India y Rusia de avanzar en las capacidades necesarias para el desarrollo de vectores hipersónicos dio lugar a partir del 2010 al Programa *BRAHMOS 2*. Este continúa en el marco del Acuerdo con Rusia, al punto que algunos expertos citan al misil Hindú como una versión del ZIRKON ruso citado anteriormente. Este misil, del tipo *air-breathing* está equipado con un motor Scramjet para su fase de crucero, que le permitiría un alcance de 290 kilómetros y velocidades de hasta MACH 7. Si bien se continúan respetando las restricciones del MTCR¹⁷¹, se estima que el misil tendría un alcance real cercano a 500 kilómetros.

¹⁶⁸ <http://www.brahmos.com/index.php>.

¹⁶⁹ MTCR: Missile Technology Control Regime.

¹⁷⁰ Fire and forget (F&F): Dispare y olvide. Método de guiado de misiles considerado de tercera generación. Se emplea éste término para todo misil que no requiere ser guiado por terceros después de su lanzamiento, siguiendo su trayectoria hacia el objetivo de manera totalmente autónoma. Normalmente la información acerca del blanco es programada previo al disparo.

¹⁷¹ MTCR: Missile Technology Control Regime.

Según fuentes rusas, la sorprendente velocidad alcanzada por este misil de crucero que lo convertiría también en el “más veloz” de su clase, se debería, entre otras cosas, al desarrollo de una formulación especial de combustible, para vehículos aéreos en régimen hipersónico, que constituye uno de los secretos más celosamente guardados del programa¹⁷².

El desarrollo prevé su lanzamiento desde múltiples plataformas, aéreas, navales, submarinas, e incluso desde plataformas móviles terrestres. Se tiene conocimiento de que Rusia lo ha ensayado en condiciones operacionales desde sus destructores multipropósito de “Cuarta Generación”¹⁷³.

En 2015, el BRAHMOS 2 fue oficialmente presentado en el “Bangalore Air Show”, estimándose que en el 2020 estaría disponible para su comercialización. Según fuentes de India, existiría interés en países como: Sudáfrica, Indonesia, Vietnam, Malasia, Egipto, Sri Lanka, Omán, Brasil, Chile y Venezuela entre otros¹⁷⁴.

e. Alemania

La investigación y desarrollo en tecnologías hipersónicas se lleva adelante en un Centro de Investigación de actividades aeroespaciales estatal, el *Institute of Aerodynamic and Flow Technology* –DLR. Este instituto lleva

FIGURA 36: MISIL DE CRUCERO SUPERSÓNICO BRAHMOS I. (INDIA)

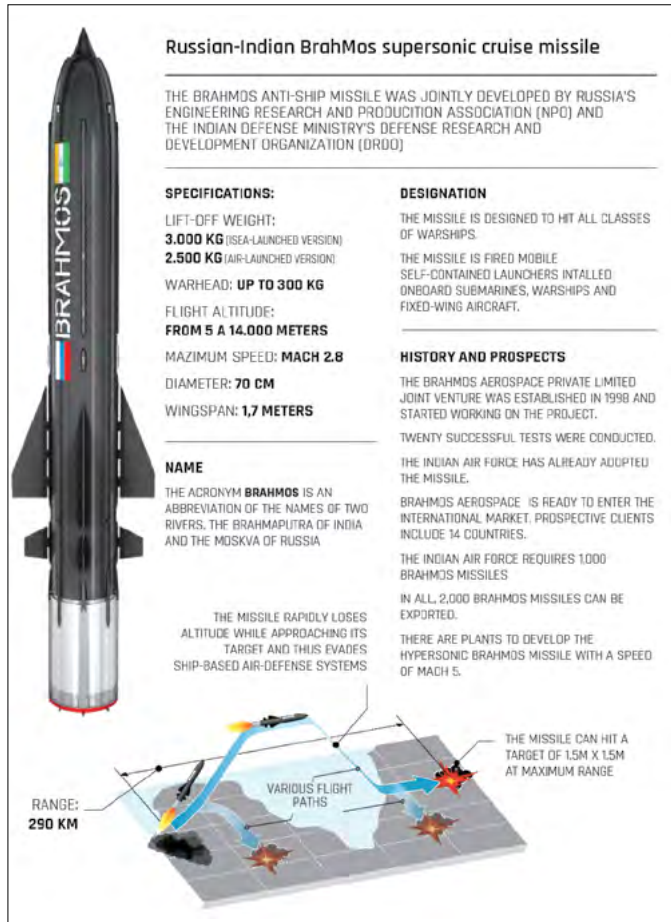
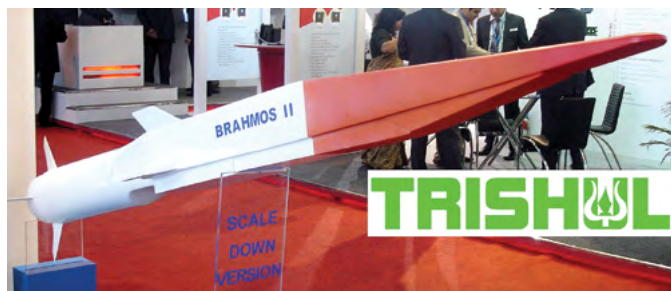


FIGURA 37: MISIL DE CRUCERO HIPERSÓNICO BRAHMOS 2 (INDIA)



¹⁷² <https://sputniknews.com/military/201502201018535730/>

¹⁷³ <http://www.brahmos.com/content.php?id=27>

¹⁷⁴ Para mayor información de fuentes oficiales, se puede consultar la página de “Brahmos Aerospace”: <http://brahmos.com/>.

varias décadas desarrollando investigaciones en el área, pero no necesariamente para su empleo militar. Está orientada específicamente a “dominar la tecnología” requerida para avanzar en cualquiera de las ramas, según las necesidades futuras.

Uno de sus programas más relevantes es el *Sharp Edge Flight Experiment* (SHEFEX)¹⁷⁵. El propósito de este programa es la investigación del comportamiento aerodinámico y los problemas térmicos que resultan de la utilización de diferentes configuraciones y formas para el lanzamiento de futuros vectores hipersónicos, así como *vehículos de reentrada*¹⁷⁶.

Se desarrollan y ensayan vectores del tipo *Boost glide*, con los que se busca adquirir experiencia en el comportamiento de los materiales y estructuras, especialmente en la fase y proceso de reentrada del vehículo.

El SHEFEX II se lanzó en Noruega en el año 2012, empleando un motor cohete configurado en dos etapas de propulsión y llevando una importante carga de sensores específicos. En su apogeo, el mismo alcanzó una altura de 177 kilómetros, con velocidades cercanas a MACH 9.

La información aportada por la variedad de sensores permitió obtener gran cantidad de datos tanto de las fases de ascenso como descenso y mediciones de P y T en diferentes puntos de la estructura, así como la fluctuación de los valores en función de los diferentes ángulos de ataque, en distintas condiciones de altura y velocidad, todo ello de gran utilidad para posteriores desarrollos¹⁷⁷. Y lo más importante y que resulta el objetivo final del proyecto, adquirir conocimiento y experiencia para investigadores y desarrollistas.

Si bien no se conocen previsiones de programas específicos de empleo militar, obviamente el dominio de estas tecnologías otorga la capacidad potencial de su aplicación en diferentes ámbitos según necesidades futuras. Un aspecto interesante para destacar, es que existen convenios de este país para desarrollos conjuntos con la Fuerza Aérea de Estados Unidos, Universidad de Queensland (Australia) y Japón.

f. El Ejército de Estados Unidos y las armas hipersónicas

Venimos observando en los últimos meses diversas declaraciones de autoridades del **Ejército de Estados Unidos** que manifestaban su interés por disponer de sistemas de armas hipersónicas, para su empleo desde plataformas terrestres. Nos preguntamos:

- > *¿Cuál es la razón por la cual un **Ejército requiere armas hipersónicas?***
- > *¿Por qué un Ejército demanda armas **tradicionalmente asignadas a la Fuerza Aérea o Armada**, que requieren disponer orgánicamente, de **capacidad de ejecutar misiones de fuego de largo alcance**, empleando misiles de **Crucero**, aeronaves de ataque o bombarderos?*

Como mencionamos en la introducción del presente trabajo, dentro de las “**6 Prioridades de Modernización**”¹⁷⁸ definidas para el Ejército de Estados Unidos, una de las más destacadas es la capacidad de “*Long Range Precision Fires -LRPF*”. Básicamente disponer de Fuegos de Apoyo con: capacidad de respuesta más rápida – a más distancia – con más precisión – más letales.

Los *LRPF* incluyen como objetivos principales: la modernización de las armas de tubo y sus proyectiles - Dotar de mayor precisión y alcance a sus sistemas de Cohetes - Dotar de mayor

¹⁷⁵ <https://core.ac.uk/download/pdf/11135470.pdf>.

¹⁷⁶ T. Eggers, A. Stammering y otros. “The Hypersonic Experimente SHEFEX”.

¹⁷⁷ DLR: “Aerodinamics Analisis and design”. Fuente: https://www.dlr.de/as/en/desktopdefault.aspx/tabid-190/391_read-14541/.

¹⁷⁸ Tal cual lo planteamos al inicio del presente trabajo, las prioridades de modernización de US Army son: Long Range Precision Fires – Soldier Lethality – Vertical Lift – Next Generation Combat Vehicle – Network – Air and Missile Defense Capabilities.

alcance en sus sistemas de Misiles. Como podemos observar entonces, el interés del Ejército de Estados Unidos por las armas hipersónicas está alineado con los objetivos de modernización definidos por sus autoridades. Por ello, incorporar estas revolucionarias tecnologías resulta una lógica mejora y un incremento de su capacidad para proporcionar *LRPF* en apoyo de las operaciones.

Los *LRPF* actualmente son ejecutados por sus principales sistemas de artillería de vectores de largo alcance, como el *GMLRS* y *ATACMS*¹⁷⁹. Debido a los avances en el área, el alcance de esos sistemas y su capacidad de respuesta no resultarían satisfactorios, dejando a esta fuerza en inferioridad de condiciones frente a sus eventuales oponentes.

Por otra parte, el interés del Ejército de Estados Unidos en estas armas no es una novedad. Años atrás, llevó adelante un programa denominado *Advanced Hypersonic Weapon* con la finalidad de obtener un sistema hipersónico para ser lanzado desde plataformas terrestres. Ensayado con éxito en el 2011, empleaba para la etapa inicial alguno de los motores cohete y lanzadores ya existentes en servicio. En el 2014, se realizaron nuevos ensayos, pero los resultados no fueron satisfactorios y el programa fue suspendido.

A la fecha y enmarcado en los *LRPF*, la idea ha retomado impulso con el objetivo de obtener un sistema de vectores, que supere incluso el alcance de 500 kilómetros establecido por el tratado “Intermediate Range Nuclear Forces Treaty - INF”¹⁸⁰, que China nunca suscribió y Rusia, pese a haberlo firmado, tampoco ha cumplido¹⁸¹.

El alcance que hoy tienen los sistemas del Ejército de Estados Unidos se considera insuficiente para hacer frente a una guerra de escala global con sus principales oponentes. Y disponer de mayores alcances no debe ser considerado como una superposición de roles, sino como sinergia entre las capacidades disponibles en las diferentes fuerzas¹⁸².

Desde el punto de vista defensivo, un lanzador terrestre móvil puede ocultarse fácilmente en zonas boscosas, ciudades, posiciones enmascaradas, etc., en lugares donde los sistemas navales no pueden hacerlo. Esto dificulta al oponente su destrucción previa al lanzamiento.

Desde el punto de vista ofensivo, si los sistemas de defensa aérea del oponente neutralizan los ataques aéreos o navales propios, allí estarán todavía los sistemas terrestres para atacar, con mayores alcances y velocidad de respuesta¹⁸³. Ello permitiría responder a un ataque desde diferentes frentes y con el concepto de “*multi-domain operations*”¹⁸⁴, lo que garantiza el mantenimiento de la superioridad relativa y la libertad de acción.

Por otra parte, esta iniciativa sigue los lineamientos establecidos por las autoridades del Ministerio de Defensa¹⁸⁵, que establecen directivas concretas para los nuevos sistemas a desarrollar. Los mismos deben respetar el concepto de “Multi-servicio”, lo que implica disponer de suficiente flexibilidad y modularidad, como para ser adaptados y empleados en diferentes plataformas

179 GMLRS: Guided Multiple Launch Rocket System – ATACMS: Artillery Tactical Missile System.

180 INF Treaty: <https://www.armscontrol.org/factsheets/INFtreaty>.

181 https://breakingdefense.com/2018/08/army-warhead-is-key-to-joint-hypersonics/?utm_campaign=Breaking%20News&utm_source=hs_email&utm_medium=email&utm_content=65399115&_hsenc=p2ANqtz--W8HZPP8g5ORTCL4q1v0_fEO1gRCn51b50FG_gqyujRqQyK6tjBFPEsY-kEWoEzDi-s3rLy1-Y1EYwJD_GuzFnFSM_w&_hsmi=65399115.

182 Idem.

183 “Army’s warhead is key to joint hypersonics”. Fuente: https://breakingdefense.com/2018/08/army-warhead-is-key-to-joint-hypersonics/?utm_campaign=Breaking%20News&utm_source=hs_email&utm_medium=email&utm_content=65399115&_hsenc=p2ANqtz--W8HZPP8g5ORTCL4q1v0_fEO1gRCn51b50FG_gqyujRqQyK6tjBFPEsY-kEWoEzDi-s3rLy1-Y1EYwJD_GuzFnFSM_w&_hsmi=65399115.

184 “Multi-domain operations”. Fuente: http://www.airpower.au.af.mil/apjinternational/apj-c/2016/2016-2/2016_2_04_reilly-E.pdf

185 US DoD: Departamento de defensa de Estados Unidos.

terrestres, aéreas o navales. Y las armas hipersónicas y los presupuestos que se asignan para su desarrollo e implementación, deben respetar esa premisa fundamental.

Todo lo mencionado anteriormente, nos permite comprender por qué el Ejército de Estados Unidos también "quiere" armas hipersónicas.

g. La fabricación aditiva (3D PRINTING): Empleo en sistemas hipersónicos

Dado que el tema central que tratamos en esta parte del trabajo son las tecnologías específicas para el área de hipersónicos, considero conveniente realizar una breve mención acerca del impacto que también en esta área está teniendo la revolucionaria tecnología de producción denominada Fabricación Aditiva (*Additive Manufacturing* - AM) y conocida también como "*3D - Printing*".

En versiones anteriores de nuestra publicación TEC1000¹⁸⁶, ya hicimos mención a su aplicación específica a la fabricación de componentes de armas portátiles, así como a partes de proyectiles de mortero o pequeñas piezas de cohetes y misiles. También vimos cómo algunas Fuerzas Armadas ya las han incorporado a su sistema logístico¹⁸⁷, desplegando unidades móviles de AM en módulos contenedores que tienen el equipamiento y la información técnica necesaria en formato digital, como para fabricar en muy poco tiempo y bajo costo, pequeñas piezas de recambio para armamento o sistemas varios.

Muchos fabricantes de motores cohete fabrican ya piezas vitales para sus productos con AM y hasta la misma empresa **SpaceX**¹⁸⁸, emplea esta revolucionaria tecnología para sus proyectiles de cohetes espaciales.

Otro ejemplo sorprendente es el de la **NASA** que tiene un equipo denominado "AMF - Additive Manufacturing Facility" en la INTERNATIONAL SPACE STATION¹⁸⁹. Este asiste a las tripulaciones, en necesidades propias del mantenimiento de la estación espacial para construir herramientas nuevas o reparar pequeñas secciones de la instalación en casos de emergencia.

El impulso que las grandes potencias están dando al desarrollo de sistemas de armas hipersónicas y los desafíos tecnológicos que los diferentes programas presentan, han motivado que se ponga especial interés en la AM, como una tecnología clave para la fabricación de determinados componentes que resultan muy costosos y difíciles de producir con los sistemas tradicionales. La posibilidad que da AM de construir piezas, "*punto por punto y capa por capa*" resulta muy útil cuando se fabrican aeronaves, vehículos espaciales o vectores en general.

Pero cuando específicamente nos referimos al desarrollo de misiles hipersónicos, observamos que se requieren materiales muy especiales y piezas o componentes con geometrías realmente

FIGURA 38: IMPRESORA 3D EN EL ESPACIO. ADDITIVE MANUFACTURING FACILITY. (AMF)



186 TEC1000 es una publicación anual del Centro de Estudios de prospectiva tecnológica Militar "Grl Mosconi" (CEPTM), perteneciente a la Escuela Superior Técnica del Ejército Argentino (Facultad de Ingeniería del Ejército). <http://www.ceptm.iue.edu.ar/tec1000-17/>.

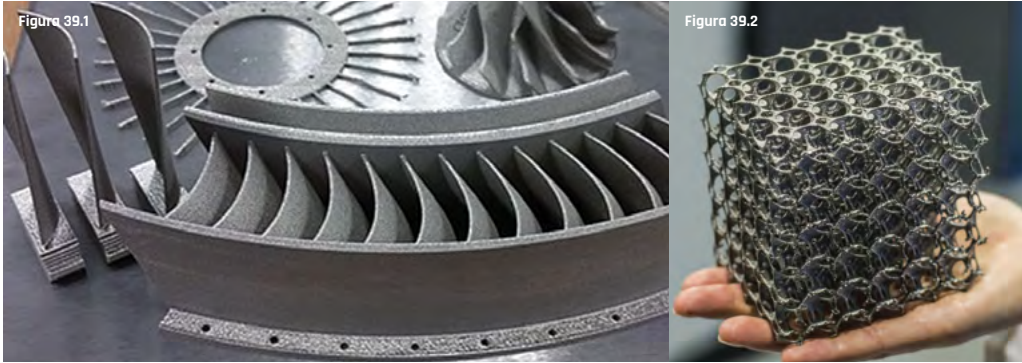
187 Como es el caso de los US Marines en sus unidades logísticas orgánicas a nivel brigada. O como la Armada de República Popular China (PLA) en sus portaaviones y buques logísticos.

188 SpaceX: Compañía de EUA cuyo propietario es Elon Musk. Desarrolla, fabrica y efectúa el lanzamiento de cohetes y naves espaciales. Fundada en 2002, como una empresa destinada a producir cambios revolucionarios en las tecnologías aeroespaciales, con el objetivo final de lograr que los seres humanos puedan vivir en otros planetas. Fuente: <https://www.spacex.com/about>

189 https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/2198.html

complejas, que solo se pueden lograr con AM. Además, los costos finales de fabricación resultan cada vez más aceptables, para un futuro pasaje a la etapa de producción.

FIGURA 39: PIEZAS COMPLEJAS REALIZADAS CON AM (ALGUNAS DE ELLAS PARA LA INDUSTRIA AERONÁUTICA)



Esto ha motivado que muchas empresas incursionen progresivamente en las aplicaciones específicas de AM para satisfacer necesidades de componentes de las armas hipersónicas. Las empresas RAYTHEON y ORBITAL ATK, son algunas de ellas.

La empresa RAYTHEON emplea desde hace años la AM para la fabricación de algunas piezas del proyectil guiado de artillería “EXCALIBUR”, utilizado por Estados Unidos en Iraq y Afganistán, así como en muchos otros productos.

RAYTHEON también compete para formar parte de dos grandes proyectos de armas hipersónicas financiados por DARPA, que ya hemos mencionado anteriormente (Proyectos TBG y HAWC)¹⁹⁰. Sus profesionales han expresado que la AM, presenta soluciones concretas a uno de los problemas críticos que tiene el vuelo hipersónico, relacionado con las temperaturas extremas que en este se generan.

La necesidad de desarrollar piezas con formas muy específicas para los motores, que requieren de una verdadera red compleja de conductos que faciliten y optimicen el flujo del aire, para una mayor refrigeración de los componentes en el caso de Scramjet, sólo puede ser logrado de manera asequible con AM¹⁹¹.

Como expresan los ingenieros de **RAYTHEON**, la única manera de construir piezas con esas geometrías y materiales especiales, es “haciendo crecer las piezas capa por capa”, como sólo se puede lograr con AM, en lugar de fabricarlas por otros métodos como inyección, moldeo o los extractivos tradicionales.

FIGURA 40: RAYTHEON EMPLEA ADDITIVE MANUFACTURING (AM) PARA ALGUNAS PIEZAS DEL PROYECTIL DE ARTILLERIA EXCALIBUR Y MISILES.



¹⁹⁰ TBG (Tactical Boost Glide) y HAWC (Hypersonic Airbreathing Weapons Concept).

¹⁹¹ <https://breakingdefense.com/2016/03/3d-printing-key-to-hypersonic-weapons-raytheon/>

Otro caso de interés es el de la empresa **ORBITAL ATK**, reconocida mundialmente por sus aportes en tecnología de avanzada en el área de armamentos. Esta empresa ha venido observando el acelerado avance de los proyectos de hipersónicos y sus directivos están convencidos de que, en algún momento, el desarrollo de las cabezas de guerra pasará a ser también una prioridad. Por ello y anticipándose a la “demanda”, han decidido invertir preventivamente en el desarrollo de componentes para las cabezas de guerra de misiles hipersónicos. Y saben que para ello, la tecnología de AM resulta una herramienta vital.

Un sector de la empresa denominado *Warheads Development Programs* ya viene trabajando en proyectos que están enmarcados en el concepto de *Lethality Enhanced Ordnance – (LEO)*¹⁹². Aplicado inicialmente a proyectiles de artillería y morteros, tiene por objetivo desarrollar y experimentar diferentes diseños de la cabeza de guerra, que permitan obtener determinados patrones de fragmentación, progresivos y controlados, con el fin de incrementar la letalidad de los proyectiles explosivos. Y eso sólo puede ser logrado con la manera de conformar las piezas que se logra con AM.

Esta empresa ha adquirido enorme experiencia en el desarrollo de proyectiles de mortero y artillería fabricados con AM, habiendo realizado en abril de 2018 ensayos de fragmentación controlada con cabezas de guerra de 23 kilos, destinados a su eventual empleo en futuros proyectiles hipersónicos. Como mencionamos antes, **ORBITAL ATK** se ha impuesto el objetivo de disponer de suficiente experiencia, información técnica necesaria y capacidad de respuesta adecuada, para cuando la etapa de ensayo integral de los misiles con su cabeza de guerra comience¹⁹³.

Podemos observar así cómo las empresas que desean participar activamente en los proyectos del sector de defensa hacen un enorme esfuerzo, muchas veces con erogaciones “a riesgo propio”, para mantenerse actualizados en las tecnologías “de punta” relacionadas con estos modernos sistemas. Comprenden que es la única manera de, llegado el momento, poder competir en condición de paridad con otras empresas, por la asignación de las partidas presupuestarias que normalmente sustentan estos proyectos. Y en las grandes potencias y en proyectos del área de la Defensa, nadie quiere quedar fuera de la competencia.

4. Implicancias del desarrollo de sistemas hipersónicos

a. El replanteo de los sistemas de Defensa Aérea y Misilísticos

Como vimos anteriormente, la capacidad de desarrollo de armas hipersónicas se encuentra concentrada en muy pocos países y se estima que solamente tres ellos estarían en condiciones de hacer operativos estos sistemas en el mediano plazo. (*Estados Unidos - Rusia - China*).

Sin embargo, el acceso a la tecnología se ha facilitado enormemente en los últimos años, por lo que no se puede descartar que estén disponibles para otros países en un futuro cercano. Uno podría ser el caso del misil de crucero hipersónico Indo / Ruso *Brahmos 2*, que se ha publicitado para su comercialización una vez finalizado el desarrollo.

Ocurre entonces que, de producirse un acceso indiscriminado a vectores hipersónicos e incluso a simples misiles de crucero, esto no solamente afectaría a aquellos países que carecen de sistemas de defensa aérea y marina. Porque de progresar y llegar a hacerse operacionales,

¹⁹² LEO: “Lethality Enhance Ordnance”. Munición de Letalidad Mejorada.

¹⁹³ https://www.defensenews.com/land/2018/04/09/orbital-atk-tests-partially-3d-printed-warhead-for-hypersonic-weapons/?utm_source=Sailthru&utm_medium=email&utm_campaign=Defense%20DNR%2004-09-18&utm_term=Editorial%20-%20Daily%20News%20Roundup.

hasta los más modernos sistemas disponibles podrían resultar insuficientes para neutralizar las amenazas, particularmente de los *misiles de crucero anti -buque*.

Algunos ejemplos para considerar son el ataque con un misil de crucero al destructor *USS Mason (DDG-87)* en las costas de Yemen en 2016, neutralizado por una acción sincronizada de sistemas sensores y de interceptación disponibles en ese moderno buque de la clase AEGIS. También se produjo un ataque a un buque de Emiratos Árabes en el mismo año o el ataque con un misil de crucero a una corbeta israelí en 2006¹⁹⁴.

Expertos en defensa aérea y marina coinciden en que, años de superioridad aérea y naval por parte de las Coaliciones Occidentales, en los escenarios de combate en los que han participado, han llevado a un exceso de confianza acerca de las capacidades ciertas de los sistemas que recién pueden ser probados en condiciones reales cuando el conflicto ya se inició¹⁹⁵.

Como vimos anteriormente, el ataque con armas hipersónicas se caracteriza por su escaso tiempo de preaviso y en muchos casos nula posibilidad de respuesta. Esto y la dificultad de saber a ciencia cierta cuál es el blanco que está siendo atacado, debido a la trayectoria impredecible del vector, aumentan la vulnerabilidad de cualquier sistema. Según expertos en la materia, en algunos casos ni siquiera importa que la amenaza sea detectada. Porque aunque el sistema de radares y sensores diera el alerta, no se estaría en capacidad de adquirir y neutralizar un vector con esas características.

Volviendo al caso de las principales potencias, Estados Unidos ha estado en las dos últimas décadas haciendo la guerra contra adversarios de menor poder militar y en los que su componente Aéreo o Naval operaba siempre con “superioridad propia” y normalmente con muy bajo riesgo para sus grandes plataformas de combate. La mayor parte del esfuerzo bélico era llevado adelante por fracciones de las fuerzas terrestres, altamente móviles y que empleaban apoyo de fuegos de precisión a requerimiento. Y esos elementos de apoyo de fuego rara vez se encontraban “bajo amenaza”.

Pero ocurre que los sistemas de defensa aérea y marina disponibles, aún los que se consideran más avanzados y que se están adquiriendo hoy, poseen equipamiento para la detección – adquisición - respuesta, diseñados y preparados para un tipo de amenazas que se aproximan en regímenes de velocidad “normales”, con una trayectoria predecible y otorgando un adecuado tiempo de preaviso.¹⁹⁶

Sobre la base de lo mencionado, tanto **Rusia** como **China** han dado un impulso enorme al desarrollo de sus propios sistemas misilísticos, particularmente los hipersónicos, que permitan, en caso de una confrontación, atacar desde el inicio de las hostilidades los principales sistemas del oponente. Sumado a ello, ya es una realidad el empleo de UAV de reconocimiento y adquisición de blancos, como soporte de las municiones guiadas, los misiles de crucero y balísticos. Y Rusia lo ha experimentado exitosamente con los UAV y la munición guiada en la guerra con Ucrania en 2015¹⁹⁷.

A lo anteriormente expresado, se agrega que existe todavía una activa participación de operadores humanos en el ciclo, y estos últimos podrían ser incapaces de responder adecuadamente, en los tiempos que transcurren desde que la amenaza es detectada hasta el impacto.

194 Distributed Defense. https://csis-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/publication/171206_Karako_DistributedDefense_Web_0.pdf?GqH4lie2m_7aMFqFKMRWu.3vdT18tMdO

195 Como puede ser el caso ya citado como ejemplo del sistema de armas Super Ethendart / misil Exocet, que mostraron su extrema eficacia en combate durante la Guerra de Malvinas entre Argentina y RUGB.

196 Como podría ser el caso de un ataque empleando bombarderos estratégicos o ICBM.

197 Potomac Foundation (2015). Dr.P. Karber. “Lessons learned from the Russo – Ukrainian war”

Recordemos que nos referimos a un misil desplazándose a MACH 6, (2 kilómetros por segundo), pero siguiendo una trayectoria impredecible y con capacidad de realizar maniobras evasivas para sobrevivir a las defensas aéreas.

Se analiza y discute entonces en diferentes ámbitos la opción de retirar al operador humano del ciclo de decisión ("*Men out of the loop*") y que todo el proceso quede en manos del sistema computarizado. Pero esa alternativa plantea tanto problemas de orden técnico como cuestiones de organización, en relación con las responsabilidades inherentes a la conducción misma de las operaciones militares y sus consecuencias.

Definitivamente, estamos ante una tecnología por ahora emergente, que dará lugar a discusiones en los más diversos ámbitos, pero resulta evidente que de convertirse en disruptiva, obligará a repensar cuestiones de distinto orden.

Su instrumentación como sistemas de armas obrará como "multiplicador del poder de combate" de aquellos que dispongan de estas armas en sus arsenales, otorgándoles una enorme ventaja ante la eventualidad de un conflicto.

b. Un nuevo desafío para la proliferación de las tecnologías específicas

Debido al incremento de la investigación y desarrollo en estas tecnologías, dispersas en diferentes países, con variados grados de libertad en organizaciones estatales o privadas, universidades y empresas, conlleva también un potencial "riesgo de proliferación". Existen entonces consideraciones de orden estratégico, relacionados con la paz mundial por los cuales el desarrollo de estas armas debería ser limitado o al menos debidamente monitoreado¹⁹⁸.

Si su disponibilidad se generalizara, en lugar de estar limitada a unas pocas potencias como ocurre actualmente, podría dar lugar a crisis que resultarían difíciles de controlar, una vez iniciadas. Los conflictos actuales con **Corea del Norte** o **Irán** son un ejemplo de ello. O casos como el ataque realizado por las milicias Houtis de Yemen en 2018, con misiles de mediano alcance sobre Ryhad, capital de Arabia Saudita, provocando daños en su aeropuerto, ponen en evidencia como grupos irregulares pueden acceder a tecnología de avanzada.

Además, aún en el caso de Fuerzas Regulares, el despliegue operacional de misiles hipersónicos generaría preocupación en aquellos que no las disponen, de ser "desarmado" por el oponente antes que comiencen las hostilidades a mayor escala. Es muy probable que en menos de una década, esta amenaza potencial pueda resultar el disparador de nuevas situaciones de crisis e inestabilidad¹⁹⁹.

Pero el riesgo incluso es para aquellas potencias que disponen y desarrollan esta tecnología. Existe la posibilidad de que un país que ya tenga desplegadas estas armas realice un ataque estratégico, violento y breve sobre otra, sólo para neutralizar determinados sistemas militares. (como por ejemplo, destruir una instalación crítica, de vigilancia, de Comando y Control o que produzca componentes vitales para determinado programa nuclear).

Esta situación obliga a las partes, a estar en forma permanente en un estado preventivo, denominado *Launch on warning*²⁰⁰. El mismo implica un grado máximo de alerta por el cual, ante el menor indicio de un potencial ataque "en curso", es probable que el país agredido de-

¹⁹⁸ RAND Corp (2017). Richard H. Speier, George Nacouzi, Carrie A. Lee, Richard M. Moore. "Hypersonic Missile non- proliferation: Hindering the spread of a new class of weapons"

¹⁹⁹ Idem.

²⁰⁰ "Launch on warning": Expresión empleada normalmente durante los años de la "Guerra fría". Cuando una de las partes detectaba el lanzamiento de ICBM o un ataque nuclear en curso con otros medios, a su vez respondía con un ataque preventivo en respuesta, a fin de evitar que sus propios sistemas nucleares fueran destruidos. La disuasión que ello generaba, constituía cierta garantía de "no agresión" mutua.

cida lanzar un ataque preventivo como réplica. En ese caso, resultará difícil determinar y discriminar adecuadamente, si el vector lanzado por el oponente, *constituye o no una agresión del tipo Nuclear*. Todo ello pone a las partes en una situación de permanente inestabilidad, que motiva incluso que cada vez más países pugnen por acceder a sofisticados sistemas de respuesta, inclusive del tipo hipersónico.

Pero es cierto además, que en la medida que la disponibilidad de estas sofisticadas armas se generalice, existirán mayores posibilidades de generar nuevas crisis.

Un aspecto que obra como freno a la proliferación es que existen una cantidad de barreras tecnológicas difíciles de atravesar, incluso para aquellos países que hace décadas están trabajando en estos desarrollos. El manejo de las enormes cargas mecánicas y térmicas derivadas del régimen de vuelo hipersónico, el desarrollo de nuevos materiales, aspectos estructurales y comportamiento aerodinámico del vector, la propulsión para el caso de los HCM²⁰¹ así como el guiado y control, son algunas de ellas.

Otro tema que obra como freno a la proliferación es la disponibilidad de equipamiento específico para simulación, así como los costosos bancos de ensayo y túneles de viento para regímenes de vuelo hipersónico. Requiere además de conocimientos y experiencia, así como importantes recursos humanos, materiales y económicos, que sólo están al alcance de unos pocos países. Todo ello oficia de “barrera natural” de contención de la proliferación²⁰².

Respecto de la forma de regular la proliferación de estas tecnologías, el modelo adecuado parece ser es el aplicado con el MTCR²⁰³, que en su legislación ya incorpora el control sobre tecnologías y ciertos componentes de empleo en armas hipersónicas. Sin embargo, como el objetivo del MTCR es controlar y evitar la proliferación sólo de misiles y sus componentes críticos, cuya carga letal contenga componentes QBN, que además satisfagan determinadas condiciones de alcance y carga útil, el citado tratado no alcanzaría por ahora a los vectores hipersónicos²⁰⁴.

Por todo lo expresado, la llegada de estas tecnologías, también da lugar a la necesidad de alcanzar acuerdos específicos entre las Naciones, a fin de establecer regímenes de control eficaces, que permitan mitigar el impacto de su proliferación sobre la paz mundial.

5. A modo de resumen de hipersónicos

- a. Los expertos de muchos países discuten acerca de la necesidad y conveniencia de continuar invirtiendo en grandes sistemas nucleares de disuasión. Es que de iniciarse una confrontación nuclear, lo único que está asegurado es la destrucción total de las partes y una catástrofe para la humanidad. Paradójicamente, cuanto más débiles son los enemigos, menos justificable pasa a ser la opción nuclear. Porque, además, como se sabe que su empleo está vedado por una cuestión de desproporcionalidad, seguramente los escenarios que veremos serán pequeños conflictos muy localizados, que demandan otras opciones más eficientes y razonables que la nuclear.
- b. Por sus características, las armas hipersónicas son una opción “no nuclear”, apta para ser empleada tanto en el campo táctico como el estratégico, con un rango de capacidades y di-

²⁰¹ HCM: Hypersonic Cruise Missile.

²⁰² RAND Corp (2017). Richard H. Speier, George Nacouzi, Carrie A. Lee, Richard M. Moore. "Hypersonic Missile non-proliferation: Hindering the spread of a new class of weapons"

²⁰³ Missile Technology Control Regime.

²⁰⁴ RAND Corp (2017). Richard H. Speier, George Nacouzi, Carrie A. Lee, Richard M. Moore. "Hypersonic Missile non-proliferation: Hindering the spread of a new class of weapons"

versidad de empleo verdaderamente revolucionario, que hasta podrían ser utilizadas como medio para neutralizar la infraestructura y los sistemas nucleares del oponente. Esto ha obligado a una carrera entre las potencias, para ver quién es capaz de desplegarlos con capacidad operativa, anticipándose al resto.

- c. Se prevé que en los futuros conflictos, tal como se observó en los últimos años, resultará importante disponer de: capacidad de batir blancos específicos – a gran distancia – en cualquier punto del planeta – con enorme precisión – muy rápido.
- d. Las armas hipersónicas incorporan la velocidad de los ICBM, con la capacidad de maniobra de los misiles de crucero. Estas dos características dan como resultado una mayor capacidad de supervivencia, por ser mucho más compleja su detección, adquisición y neutralización por parte de los sistemas de defensa aérea y marina actuales.
- e. El enorme avance alcanzado en los sistemas de guiado con precisiones impensadas hace sólo unas décadas atrás, ha dado un impulso extraordinario a estas armas. Basta imaginar que varios de estos misiles sean capaces de impactar simultáneamente en la superficie de un portaaviones de última generación, estratégicamente ubicado en cualquier punto de la superficie terrestre y de esa manera, neutralizar o al menos disminuir la capacidad de un “*Navy Battle Group*” en operaciones.
- f. Si bien se las suele considerar armas estratégicas, se analiza también el empleo de las armas hipersónicas en el “marco táctico”, lo que podría resultar vital para neutralizar desde el inicio de las operaciones, los principales sistemas del oponente. Fuegos de largo alcance orgánicos que permitan una respuesta rápida - alta velocidad - alta maniobrabilidad – precisión extrema – dificultad para ser detectadas y neutralizadas – reducido daño colateral, serían los principales aportes de estas armas para un comandante táctico.
- g. Se trata de una tecnología emergente (TE), potencialmente disruptiva, que obliga a repensar los sistemas de defensa aérea y marina. Los sistemas actuales no estarían en capacidad de responder en tiempo adecuado, como para detectar y adquirir la amenaza, así como los más modernos misiles existentes resultarían ineficaces para neutralizarlas. Un informe del *US AIR FORCE Studies Board*, alerta acerca de la incapacidad de Estados Unidos de defenderse contra sistemas aéreos convencionales²⁰⁵, altamente maniobrables del tipo *High- supersonic* o hipersónicos. La velocidad, su perfil de vuelo y su alta maniobrabilidad podrían hacerlos inmunes a los sistemas de defensa aérea y marina que Estados Unidos desarrolló para hacer frente a la amenaza de los ICBM y los misiles de crucero de baja velocidad²⁰⁶.
- h. Estados Unidos en su *2018 National Defense Strategy* ha identificado a Rusia y China como potenciales desafíos a la seguridad. Y dentro de ello, se resalta a la “tecnología de hipersónicos”, como un elemento clave para un probable desbalance futuro en las capacidades militares estratégicas²⁰⁷.
- i. Relacionado con el punto anterior, la *National Defense Industrial Association (NDIA)* ha identificado a las armas hipersónicas como tecnologías emergentes que cambiarán incluso hasta el carácter de la guerra. Esto demanda una absoluta transformación e integración entre gobierno, industria y Fuerzas Armadas para asegurar la ventaja tecnológica de ese país ante un eventual conflicto. En orden a ello, han convocado para el 13 de diciembre de 2018 al lan-

²⁰⁵ No nucleares.

²⁰⁶ <https://www.dsiac.org/resources/news/us-signals-major-boost-hypersonic-weapons-2019EMAIL>

²⁰⁷ <http://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2018/6/21/selva-us-will-fall-behind-china-unless-rd-investments-made>.

zamiento de la denominada *Hypersonics Community of Influence* con el objetivo de integrar sinérgicamente las capacidades y potencialidades disponibles en ese país.²⁰⁸

- j. Un RIESGO: La proliferación. Pequeños países pueden obtener estas tecnologías con el fin de realizar ataques específicos, resultando una amenaza creciente incluso para las grandes potencias.
- k. Los misiles de crucero (*Hypersonic Air-Breathing*) y su empleo en países con menores recursos podría generar desbalances en el poder militar entre los mismos, por resultar una alternativa de empleo muy apropiada para conflictos de carácter regional. Y ello aumenta la potencialidad de conflictos, ante la amenaza de su empleo y la réplica de aquel que se sienta amenazado.
- l. MERCADO POTENCIAL: Quien disponga de la capacidad de desarrollo de las tecnologías y esté dispuesto a comercializarla, generará un mercado potencial de gran interés pero de enorme riesgo global, que podría resultar muy difícil de controlar. Ello exige un régimen especial de control del desarrollo e incorporación de estos sistemas, al estilo MCTR, etc.
- m. Sin embargo, por ahora y tal vez por varias décadas, la tecnología de armas hipersónicas seguirá siendo un medio más de disuasión y parte del “juego de poder” relativo entre las Grandes Potencias.
- n. Un aspecto importante: Proyectos comunes entre los países que permitan un adecuado intercambio de información y experiencias mutuas en aspectos que tienen una enorme complejidad técnica generan sinergias para avanzar más rápidamente en el dominio de la tecnología, posicionando mejor a las partes para un eventual empleo futuro. Casos como proyecto HiFIRE (Estados Unidos/Australia) o el SHEFEX (Alemania / Estados Unidos / Japón) son algunos ejemplos de esfuerzos sinérgicos en el área.
- o. ¿Por qué son potencialmente tecnologías disruptivas? Velocidades de escala hipersónica, mayores alcances, precisión extrema, difíciles de neutralizar, en armas cada vez más pequeñas, se presentan entonces como la opción de disponer, tanto en el marco estratégico como táctico, de nuevas herramientas para ser más letales, a mayores distancias y con mayor autonomía. Esas son las capacidades que proporcionan los sistemas de armas hipersónicas.

7. MERCADO

Si bien el objetivo primario del presente trabajo es desarrollar el estado del arte y evolución de algunas tecnologías emergentes, potencialmente Disruptivas en el área de los Fuegos de Precisión de Largo Alcance (*LRPF*), creíamos conveniente como parte de las tareas de Vigilancia Tecnológica que realizamos en el CEPTM “*Mosconi*”, presentar algunos datos de interés respecto de la situación global del mercado de la defensa, así como de las empresas que participan en el sector denominado A&D “*Aerospace & Defense*”.

a. SITUACIÓN GLOBAL

Tomamos como referencia lo expuesto por el *SIPRI* (*Stockholm International Peace Research Institute*) en su Informe anual de 2017²⁰⁹. Tomamos información consolidada de interés, para tener una idea general de los gastos globales en el sector de defensa y la participación de las empresas del rubro A&D. La información presentada es la de carácter público de los respectivos países y abarca fundamentalmente los años 2016 y 2017²¹⁰.

²⁰⁸ <http://www.ndia.org/events/2018/12/13/9ld1-hypersonics-senior-executive-series>.

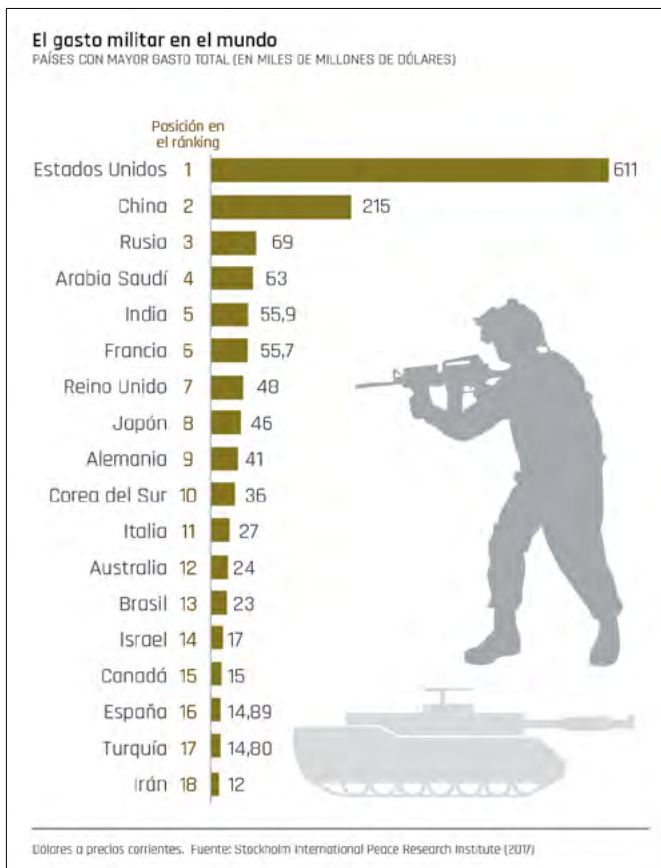
²⁰⁹ SIPRI (2017). N. Tian, A. Fleurant, A. Kuimova, P. Wezeman, D. wezeman. “Trends in World Military expenditure 2017”. Fuente: https://www.sipri.org/sites/default/files/2018-05/sipri_fs_1805_milex_2017.pdf

²¹⁰ Idem.

1. Información global consolidada de interés

- Los gastos totales en el sector de defensa (**GME - Global Military Expenditure**) en el año 2017 fueron de **US\$ 1.739 billones** y ello significó un incremento del **1,1 por ciento** respecto del 2016.
- Ese **GME** representa un **2,2 por ciento** del Producto Bruto Interno Global (**GDP – Gross Domestic Product**) calculado para el 2017 en US\$ 80.684 trillones²¹¹.
- Representa aproximadamente **US\$ 230** por habitante del mundo, valor que resulta de utilidad para dimensionar el impacto que producen en los diferentes países los recursos nacionales afectados a gastos militares.
- Los **cinco países con mayores gastos en defensa (2017)** son: Estados Unidos – China – Rusia - Arabia Saudita – India.
- El monto erogado por esos cinco países representa el **60 por ciento del gasto total en defensa- GME**.

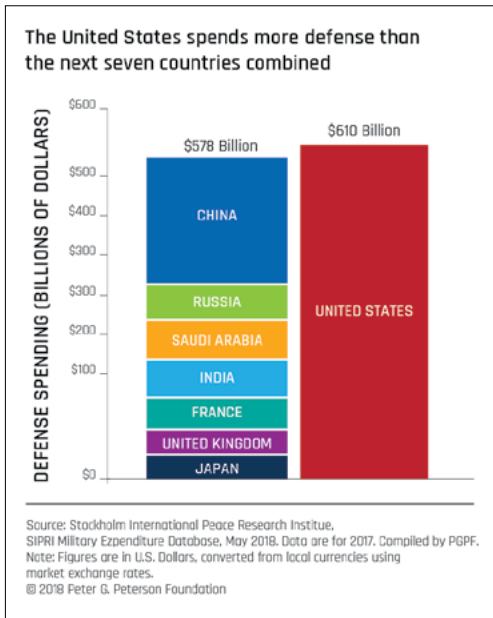
FIGURA 41: GASTOS MILITARES MUNDIALES (2017). PRINCIPALES PAÍSES



- El monto erogado por los 15 primeros países representa el **81 por ciento** del GME.
- Mientras el gasto de **Estados Unidos** prácticamente se mantuvo (US\$ 610 billones), China los incrementó en un 5,6 por ciento, Arabia Saudita en 9,2 por ciento e India en 5,5 por ciento. Rusia redujo sus gastos en un 20 por ciento.
- Relacionado con lo anterior, el gasto sólo de Estados Unidos representa **más de un tercio del GME** y ese valor es **2,7 veces mayor** que el país que le sigue en orden de importancia (China). Además, el gasto de Estados Unidos es **mayor que la suma de los siete países** que le siguen.

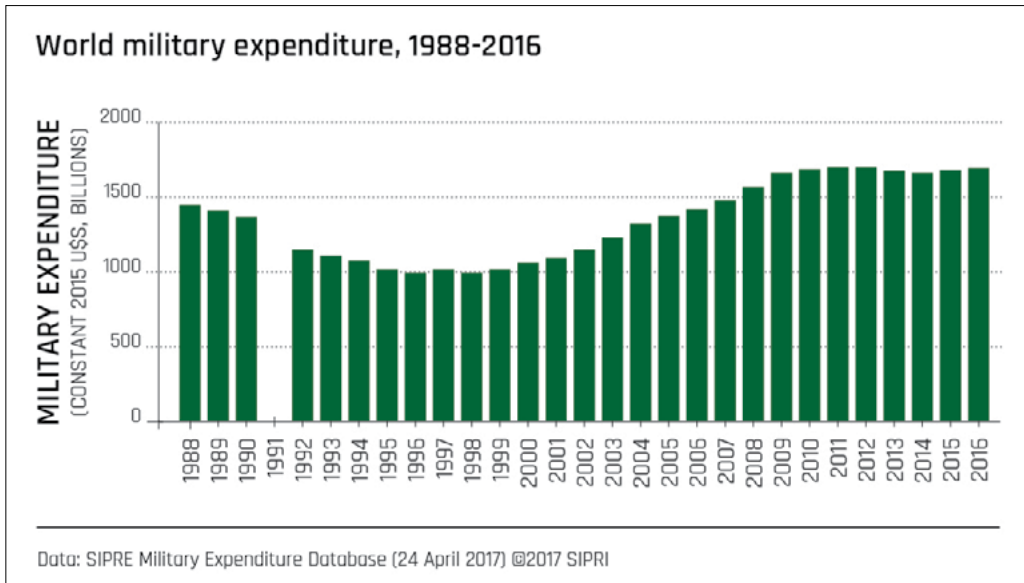
²¹¹ El GDP Global se estimó (2017) en US\$ 80.684 Trillones: World Bank Group. <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD>.

FIGURA 42: GASTO MILITAR DE ESTADOS UNIDOS COMPARADO CON OTROS PAÍSES (2017)



- i. Considerando la evolución del GME en el período 1988 - 2016, se observa una tendencia creciente a nivel mundial desde 1999, que pareciera encontrar su equilibrio a partir del 2009. (La ausencia de datos de la Unión Soviética en el año 1991 motivó que no pudieran consolidarse los datos globales para ese año).
- j. Excepto el caso de **Arabia Saudita**, la mayoría de los países exportadores de petróleo han reducido sus gastos en defensa como consecuencia de la disminución del valor internacional de ese *commodity*²¹² y otros problemas económicos propios de cada uno de ellos.
- k. Considerando el impacto porcentual del gasto militar respecto del PBI de los países, 7 de los 10 primeros se encuentran en **Medio Oriente**: Omán (12 por ciento del PBI) – Arabia Saudita (10 por ciento) – Kuwait (5,8 por ciento) – Jordania (4,8 por ciento) – Israel (4,7 por ciento) – Líbano (4,5 por ciento) – Bahrein (4,1 por ciento).

FIGURA 43: EVOLUCIÓN DEL GASTO MILITAR MUNDIAL (1988 - 2016)



²¹² Se denomina Commodity a todo bien que es producido / extraído en masa por el hombre, del cual pueden existir incluso enormes cantidades disponibles en la naturaleza. Por lo tanto, establecido un estándar mínimo de calidad y propiedades, pueden comercializarse en el mercado global, fijándose para ellos un valor común de referencia.

1. Otro aspecto de interés que podemos observar es la evolución porcentual (% GME) del gasto en los principales países en un período de 10 años (2007 – 2016). Se puede ver cómo China – Rusia – India han incrementado sensiblemente sus gastos en defensa.

Debe tenerse en cuenta que esos tres países demoraron durante años la modernización de sus principales sistemas. Frente a la posibilidad de nuevos escenarios de conflicto en el mediano plazo, debieron invertir principalmente para la actualización e incorporación de nuevas plataformas terrestres, navales y aéreas, a fin de alcanzar una situación de paridad de fuerzas con sus eventuales oponentes.

FIGURA 44: EVOLUCIÓN PORCENTUAL DE LOS GASTOS MILITARES EN LOS PRINCIPALES PAÍSES (2007 - 2016)

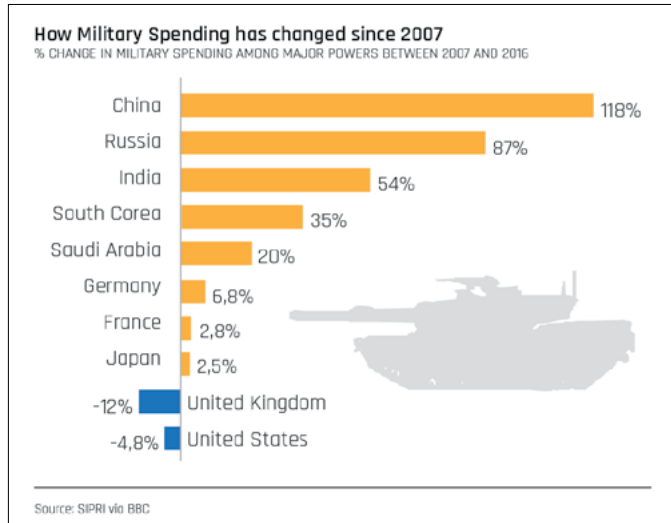
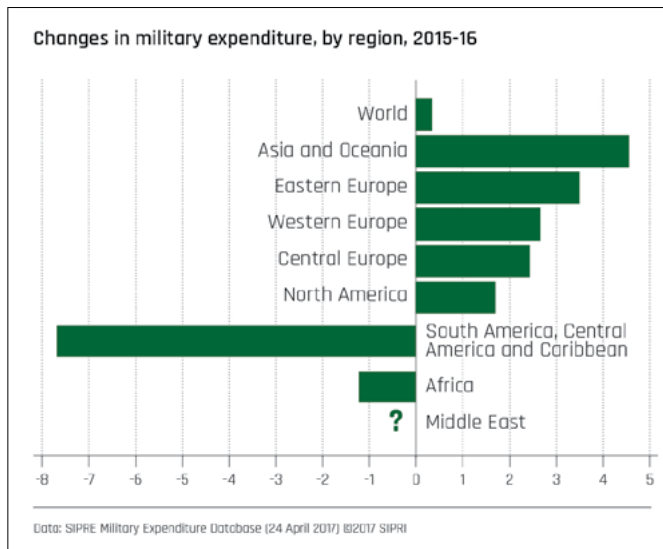


FIGURA 45: VARIACIÓN PORCENTUAL DEL GASTO MILITAR (POR REGIONES) EN EL PERÍODO 2015 - 2016



m. Evolución de los gastos militares por regiones

Otro gráfico de interés proporcionado por el informe de SIPRI²¹³ muestra la evolución del gasto en las diferentes regiones del mundo. Si bien a nivel global, los gastos se han mantenido con valores prácticamente constantes, observamos cómo Asia y Oceanía han incrementado los mismos gastos en algo más del cuatro por ciento y le siguen en orden de importancia las demás regiones. Particularmente podemos ver cómo Sudamérica, América Central y Caribe es la región en la cual los gastos en defensa han disminuido porcentualmente en mayor medida en el período 2015-

2016. Posiblemente, la ausencia de amenaza de un conflicto de magnitud “entre países” en el corto

²¹³ SIPRI (2017). N. Tian, A.Fleurant, A. Kuimova, P. Wezeman, D. wezeman. "Trends in World Military expenditure 2017". Fuente: https://www.sipri.org/sites/default/files/2018-05/sipri_fs_1805_milex_2017.pdf.

plazo, sumado a la inestabilidad económica y política en muchos de los casos, sea la razón por la cual se observe esa tendencia negativa en el gasto.

n. Gasto militar en países de América

Nos pareció de interés destacar lo ocurrido en el continente americano y sus gastos militares. Podemos observar que el gasto de dos países (Estados Unidos – Canadá) de US\$ 626 billones representa el **91 por ciento del gasto total** del continente. Obviamente en ambos países la inversión en tecnología para sus principales plataformas y sistemas de armas, así como el desarrollo de una industria de la defensa propia constituyen políticas de estado que se materializan a través de la continuidad en los programas de modernización y obtención, así como los presupuestos plurianuales asignados a los mismos.

FIGURA 46: GASTO MILITAR EN EL CONTINENTE AMERICANO (2007-2016)

Military expenditure in the Americas			
	Spending, 2017 (\$ b.)	Change (%) ^a	
		2016-17	2008-17
Americas ^b	695	0.0	11
Central America and Caribbean ^b	7.6	-6.6	39
North America	630	-0.2	-13
South America	57.0	4.1	17

^a Changes are in real terms. ^b Total Excludes Cuba.

Source: SIPRI Military Expenditure Database. © SIPRI 2018

o. Gastos en países de América Latina y Caribe

América Latina presenta altos índices de inseguridad que se potencian con el narcotráfico y la acción de bandas o paramilitares en algunos países. Como dato de interés, la proliferación de armas ilegales en la región de las denominadas livianas, se estima en unos 80 millones de armas²¹⁴.

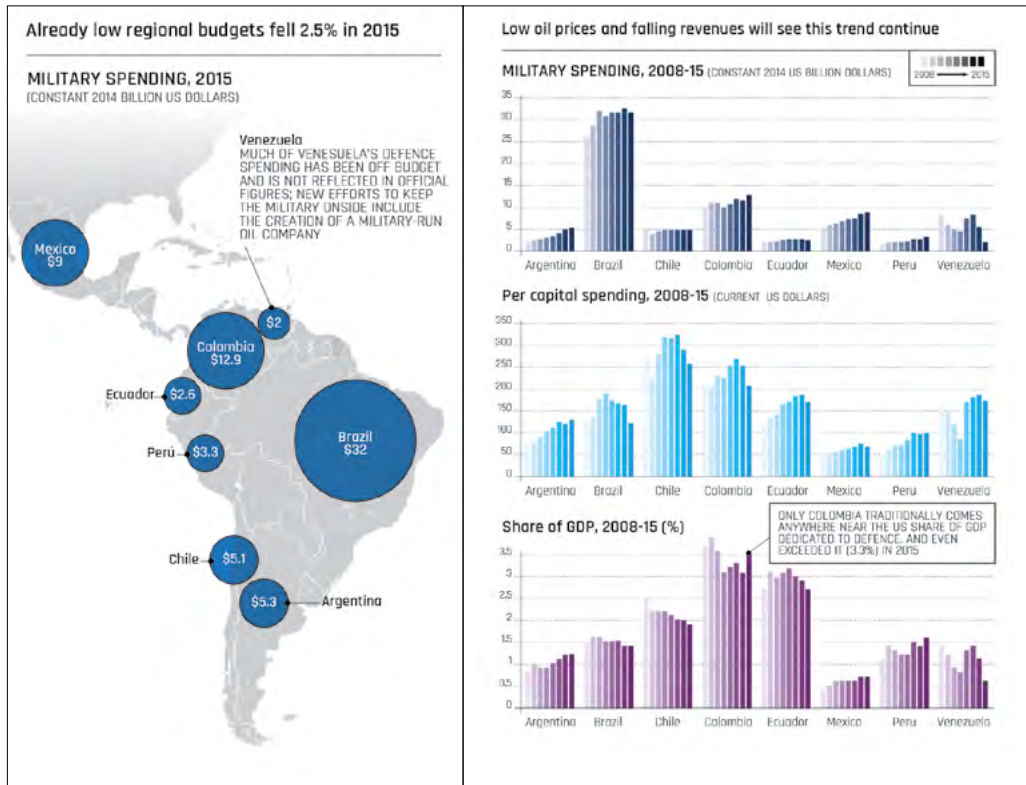
Sin embargo, la ausencia de amenaza de un conflicto de magnitud “entre países” en el corto plazo, sumado a la inestabilidad económica y política en muchos casos, probablemente sea la razón por la cual se observe una tendencia negativa en el “gasto militar”. Los estados disponen de escasos recursos presupuestarios para asignar a defensa, al tener que priorizar la atención de necesidades relacionadas con la extrema pobreza, la salud, la seguridad de las personas y bienes, así como la educación. Sumado a ello, el recuerdo de la experiencia de los **conflictos guerrilleros de las décadas del 70 y 80** es otro aspecto que genera enorme resistencia de los dirigentes políticos a la participación de fuerzas militares en conflictos internos e incluso a realizar inversiones en defensa. A las autoridades políticas les resulta difícil entonces justificar grandes inversiones en el sector, más allá de lo relacionado con incrementar las capacidades de vigilancia y patrullaje en las enormes y “porosas” fronteras que estos países tienen.

La decisión de modernizar, desarrollar o adquirir grandes sistemas como plataformas terrestres, navales o aéreas implica la asignación de importantes recursos plurianuales que no están disponibles o al menos, no son considerados prioridad por las autoridades ni por la ciudadanía en general. Por esa razón, los gastos en defensa en valores porcentuales respecto de los PBI, se mantienen en bajos niveles desde hace años y se estima que continuarán así por todo lo expresado anteriormente.

214 Oxford Analitica. <https://dailybrief.oxan.com/Analysis/GA210792/Latin-America-military-spending>

Sin embargo, podríamos considerar como una excepción en la región el caso de países como Brasil y Chile. Estos han mantenido una política sostenida de modernización de sus principales sistemas de armas terrestres, navales y aéreas. Particularmente Brasil ha invertido importantes recursos en el mantenimiento, modernización y desarrollo de su industria de defensa. Esto le permite incluso participar competitivamente en el mercado internacional de *A&D - Aerospace & Defense*, mediante la comercialización de sus productos, como es el caso de EMBRAER (Aerona- ves) o AVIBRAS (Sistemas de Defensa).

FIGURA 47: GASTO MILITAR EN AMÉRICA LATINA Y CARIBE (2008 - 2015)



2. Información específica del mercado global Aerospace & Defense

a. Informe DELOITTE (2017)

Para quien quiera ampliar el conocimiento acerca del sector comercial denominado “*Aerospace & Defense*”, sugiero consultar el trabajo realizado por la empresa DELOITTE, denominado “*2017 – Global Aerospace and Defense Sector financial performance study*”²¹⁵.

En él podemos encontrar información de gran interés acerca de las 100 principales compañías del sector, así como datos comparativos de los ingresos por ventas, participación porcentual de cada una de ellas, resultados netos del ejercicio, cantidad de empleados e ingresos

215 DELOITTE. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/consumer-industrial-products/gx-cip-global-aerospace-defense-financial-performance-study.pdf>

por empleado, etc. En este se analiza también el estado y evolución de las principales empresas fundamentalmente de Estados Unidos y Europa. Los datos obtenidos y analizados en el estudio surgen de la información pública puesta a disposición por las respectivas empresas.

Algunos datos consolidados de interés:

- > Los ingresos totales en el año 2016 de las **“Top 100” compañías** del sector A&D fue de US\$ 674.4 billones, con un crecimiento del 2,4 por ciento respecto del año anterior.
- > Si se considera solamente el “Subsector Defensa”, los ingresos totales fueron de US\$ 351,3 billones.
- > Los ingresos por ventas de las 20 principales empresas del Sector A&D representan el 73,7 por ciento de los ingresos totales.
- > La empresa con mayores ingresos por ventas en el año 2016 fue **BOEING Co.** con un total de US\$ 94.571 millones.
- > La Compañía cuyos ingresos por ventas crecieron en mayor medida en el período 2016 fue **HARRIS Corp.** con un incremento del 46,9 por ciento.
- > Considerando las 100 empresas de mayor importancia del Sector de A&D, estas emplean cerca de dos millones de personas.
- > La empresa con mayor número de empleados es **Boeing Co.** con un total de 150.500 personas.
- > Lo expuesto es un ajustado resumen de la información consolidada disponible. El estudio presenta, además, gran cantidad de información específica, que aporta detalles de sumo interés para quien quiera ampliar el tema²¹⁶.

b. FORTUNE 500

Teniendo en cuenta que Estados Unidos es el país con el mayor gasto militar a nivel mundial resulta interesante ver cuál es la participación en el ranking de las denominadas “FORTUNE 500”²¹⁷, de las compañías estadounidenses que operan en el ámbito de la defensa.

En el mismo hay 13 empresas del rubro denominado *A&D (Aerospace & Defense)*, incluidas dentro de esas primeras 500.²¹⁸ Obviamente los valores de ingresos mencionados incluyen las ventas al mercado interno, así como las exportaciones de equipamiento de defensa y seguridad, autorizadas por el gobierno de ese país.

Para tener un valor comparativo del posicionamiento de las empresas del rubro A&D frente al resto, nos pareció interesan-

FIGURA 48: COMPAÑÍAS ESTADOUNIDENSES DEL RUBRO A&D INCLUIDAS EN EL “FORTUNE 500”

PUESTO	EMPRESA	VENTAS (US\$ M)
27	BOEING Co.	93.392
51	UNITED TECHNOLOGIES.	59.337
59	LOCKHEED MARTIN.	51.048
98	GENERAL DYNAMICS.	30.973
118	NORTHROP GRUMMAN.	25.803
119	RAYTHEON.	25.348
208	TEXTRON.	14.198
225	ARCONIC.	12.960
276	L3 TECHNOLOGIES.	11.002
381	HUNTINGTON INGALLS INDUSTRIES.	7.441
405	SPIRIT AEROSYSTEMS HOLDINGS.	6.983
407	HARRIS.	6.939
415	ROCKWELL COLLINS.	6.822

Fuente: <http://fortune.com/fortune500/list/>

²¹⁶ Idem.

²¹⁷ FORTUNE 500: Es una compilación anual publicada por la revista “Fortune Magazine” de las 500 compañías estatales y privadas estadounidenses, que han obtenido los mayores ingresos anuales en determinado período fiscal. Fuente: <http://fortune.com/fortune500>.

²¹⁸ <http://fortune.com/fortune500/list/>

te destacar que la número 1 en el ranking 2018 de las "FORTUNE 500" es la empresa **WAL MART**, con ingresos por ventas de US\$ Millones 500.000.

La número 4 es **APPLE** (US\$ M 229.234) y la número 8 es **AMAZON** (US\$ M 177.866)²¹⁹.

El siguiente cuadro muestra las 13 Compañías estadounidenses de A&D, incluidas en el citado ranking 2018²²⁰:

Podemos observar cómo las empresas líderes del sector están relacionadas con el desarrollo y fabricación de las grandes plataformas de uso militar, en especial los sistemas aeroespaciales, navales y terrestres, los sistemas misilísticos y de defensa aérea, considerando en todos ellos el aporte revolucionario de los más modernos desarrollos en electrónica, informática e inteligencia artificial.

Pero observamos también cómo todas estas empresas tienen diversificada de tal manera su cartera de productos, que su participación resulta fuerte tanto en el ámbito de la defensa como en el civil, por lo cual no dependen solamente de la asignación de los recursos estatales, para mantener un nivel de ingresos adecuado y un resultado económico sustentable.

Podemos destacar el caso de UNITED TECHNOLOGIES, que, además, es fabricante de los renombrados ascensores "Otis" y los sistemas de aire acondicionado "Carrier".

Otro caso interesante es el de la menos conocida ARCONIC, una empresa que aporta soluciones de ingeniería y desarrollos para la industria aeroespacial, automotriz, construcción e incluso incursiona en el ámbito de la energía.

O el caso de HUNTINGTON INGALLS, con 132 años en la Industria naval civil y militar, actualmente fabricando los más modernos portaaviones y submarinos de la Marina de Estados Unidos.

Cada vez más, el desarrollo y sostenimiento de una industria para la defensa, con bases sólidas y que sea económicamente sustentable, depende del grado de flexibilidad y modularidad de sus estructuras de ingeniería, de producción, logísticas y administrativas, que le permitan mantener la capacidad de funcionar con resultados económicos aceptables, aun cuando los presupuestos específicos para la defensa disminuyan.

8. CONSIDERACIONES FINALES

*"Pase lo que pase, nosotros tenemos las **Ametralladoras Maxim**. Y ellos no!"*

Joseph Hilaire Belloc²²¹.

*Pese a la antigüedad de la cita (finales del siglo XIX - Inglaterra), resulta de gran vigencia. Muestra la sensación de superioridad que generan algunos sistemas de armas cuando hacen su irrupción en los campos de batalla y cómo disponer de una **tecnología disruptiva** puede cambiar las relaciones de poder militar entre las partes en conflicto.*

²¹⁹ <http://fortune.com/fortune500/walmart/>

²²⁰ <http://fortune.com/fortune500/list/>

²²¹ Joseph Hilaire Pierre René Belloc fue un escritor e historiador Anglo- Francés naturalizado británico en 1902. Fue uno de los más prolíficos escritores de la "Era Victoriana". Muy conocido por sus dotes de orador, poeta, y activista político. La frase citada hace referencia a la importancia que las ametralladoras MAXIM tuvieron durante la etapa de colonización británica a fines del siglo XIX.

Fuente: https://www.goodreads.com/author/show/4025.Hilaire_Belloc

- > La **TECNOLOGÍA** es sólo una de las partes del poder militar y no puede considerarse la más importante. Sin embargo, una tecnología que se transforma en **DISRUPTIVA**, aplicada correctamente y en un marco operacional adecuado obliga al oponente a realizar un replanteo integral de su organización, equipamiento y doctrina, para hacer frente a esta nueva amenaza. La tecnología de hipersónicos y las armas electromagnéticas son algunos ejemplos de ello.
- > Las tecnologías disruptivas producen sorpresa tecnológica, al explotar vulnerabilidades conocidas o desconocidas sobre los sistemas militares del oponente, negando o neutralizando su accionar en los niveles táctico, operacional o estratégico de la guerra²²².
- > Considerando una perspectiva “macro” de las tecnologías disruptivas, en ocasión del *GLOBSEC 2017*, se concluyó que podemos observar ciertas tendencias definidas en el ámbito militar²²³.
 - > Nos estamos moviendo gradualmente hacia un mundo multipolar, como resultado de la globalización de la economía y el poder militar. El poder se ha difundido, como consecuencia de la disponibilidad y proliferación de modernas tecnologías al alcance de muchos más actores.²²⁴
 - > Las tecnologías más modernas continuarán expandiéndose, a menos que ocurra un colapso del sistema internacional de comercio.
 - > Como corolario, resultará muy difícil para los países líderes mantener una situación de superioridad tecnológica en el largo plazo.

Además, existe un efecto muy interesante denominado “Penalización por estar adelante – Penalty for taking the lead”. Este muestra que quien dispone del liderazgo tecnológico hace un enorme esfuerzo y enfrenta todos los costos, aún el de los fracasos, mientras que los demás observan, aprenden, adquieren experiencia y obtienen información. Y, oportunamente, llevan adelante sus propios proyectos, con menores costos, más rápido y de manera más eficiente. El desarrollo de armas hipersónicas, el Railgun o las Armas de Energía Directa (DEW) por parte de China son una muestra de ello. Ese país ha “imitado” muchas de las tecnologías desarrolladas por Estados Unidos, en lugar de desarrollar las propias, llegando así mucho más rápido a la etapa de industrialización de estas.

- > De acuerdo a lo expuesto en el Simposio “**Disruptive Technology for Defense Transformation**” (realizado en Londres entre el 15 y el 22 de septiembre de 2018), se puede concluir que las principales tecnologías disruptivas que se observan en el ámbito de la Defensa tienen sus principales campos de aplicación en²²⁵:
 - > El comando y control de las operaciones, que será cada vez más veloz y la capacidad de procesamiento de la enorme cantidad de información disponible, requerirá la participación generalizada de sistemas computacionales de gestión de la información. Además, es motivo de análisis la capacidad real del ser humano de responder eficazmente en los tiempos disponibles.
 - > La experimentación de toda la potencialidad que ofrecen los sistemas autónomos letales. El concepto de “*Enjambre – Swarm*” se generalizará con sistemas de menor tamaño y costo, obligando a repensar los esquemas de defensa respectivos, no preparados para este tipo de

222 “Disruptive technologies on war”. Fuente: <https://www.globsec.org/news/disruptive-technologies-war/>

223 Idem.

224 *El caso de Corea del Norte o Irán son ejemplos de ello. O el caso de las Milicias Houtis empleando misiles balísticos de largo alcance contra potencias militares como Arabia Saudita. O la proliferación del empleo de drones como armas letales.*

225 “Disruptive Technologies for defense transformation: Exploiting Technological innovation to retain military advantage.”. <https://disruptivetechdefence.iqpc.co.uk/>

amenazas. Por otra parte, su empleo continuará generando un ámbito de discusión cada vez más complejo, acerca de la legalidad y legitimidad de su uso.

- > Los desarrollos en **inteligencia artificial, realidad aumentada y simulación** serán vitales para el adiestramiento y la conducción de las operaciones.
- > Una gran cantidad de **tecnologías emergentes** que deben ser observadas con mucha atención: Sistemas Autónomos (UAS) - Tecnologías de Vuelo Hipersónico - Armas Electromagnéticas – Armas de Energía Directa (DEW) – Biomimetismo - Additive Manufacturing (AM) – Exoesqueletos - Realidad Virtual, Simulación, Aumentación - Generación y Gestión de la Energía - Electrónica en textiles (vestuario y equipo) - etc.

El tiempo y la experimentación demostrarán si son capaces de convertirse en **“tecnologías disruptivas”** también para el ámbito militar. En todos los casos constituirá una buena referencia observar su evolución en el mercado de uso civil.

- > La modularidad, flexibilidad y adaptabilidad de los sistemas serán un aspecto clave. La posibilidad creciente de tener que enfrentar amenazas en escenarios “Multi – dominio” obliga a pensar el desarrollo de nuevos sistemas, que sean aptos para ser empleados en cualquiera de las fuerzas. Las tecnologías emergentes mencionadas en el punto anterior, son todas potenciales capacidades de interés común para la defensa y en las cuales, los recursos disponibles deben ser planificados y asignados con absoluta rigurosidad con un criterio de empleo “Múltiple”.
- > Los avances tecnológicos en el área de los *“Long Range Precision Fires” – LRPF*, otorgan enormes ventajas a quienes posean estos sistemas, permitiéndoles anticiparse al accionar de sus adversarios, con capacidad de eliminar su complejo industrial, neutralizar o dificultar su capacidad de movilización y desplazamiento, así como batirlos con más precisión, minimizando el daño colateral. Además, al reducir la exposición al riesgo de las tropas propias, se obtiene un enorme capital político en la retaguardia y una mayor aceptación ciudadana al esfuerzo de guerra.
- > Planificación a largo plazo, cuantiosos presupuestos, recursos humanos calificados y activa participación de grandes empresas del sector de defensa, con el foco de investigación y desarrollo (I&D), permiten afirmar que los sistemas de armas que describimos someramente han alcanzado un grado de madurez tal como para convertirse en programas de los respectivos ministerios de Defensa de los países más avanzados, para su industrialización y puesta en servicio operacional.
- > Por el estado de avance que estos proyectos han alcanzado, continuarán recibiendo presupuestos plurianuales, con la finalidad además de desarrollar progresivamente una base industrial sustentable, que permita una adecuada transición de investigación y desarrollo a la industrialización y provisión para su empleo operacional.
- > En relación con lo expresado anteriormente, resulta imprescindible conocer y entender cómo evolucionarán los sistemas de defensa en un futuro cercano. Ello les permite a las autoridades, analizar y planificar el futuro de manera más eficiente y con visión prospectiva, de manera tal que los recursos presupuestarios destinados a la Defensa Nacional, puedan ser aplicados racionalmente en orden al cumplimiento de los objetivos fijados.
- > Las hipótesis de conflicto y las guerras seguirán existiendo y los países incrementarán sus esfuerzos para seguir disponiendo de suficiente **PODER** como para continuar siendo **militarmente relevantes**. Esto se deduce del análisis de la evolución del “Gasto Militar- GME” de los países y del Mercado de “Aerospace& Defense”.
- > Todo ello y el desarrollo de Sistemas de Armas cada vez más disruptivos están cambiando radicalmente la forma en que se combate y también la forma en que **“la paz es negociada”**.
- > Por lo expresado, mantenemos la esperanza de que todos estos revolucionarios sistemas le-

tales sirvan más como elementos disuasivos para limitar los conflictos que como potenciales generadores de nuevas confrontaciones. Pero lo cierto es que, **quien no los disponga**, o al menos **no esté preparado para defenderse de ellos**, se encontrará en una situación de gran desventaja como para cumplir adecuadamente las misiones asignadas al Instrumento Militar de Defensa de ese país.

Un mensaje

“Sólo podemos ver muy poco del Futuro. Pero lo suficiente como para saber que hay mucho por hacer”.

Alan Mathison Turing (1912-1954).
Matemático, Lógico y Criptógrafo Británico.

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES

- a. American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA). J. Maniglia, J. Smirildo, A. Westfall, G. Zohar. California Polytechnic State University: “*Design, fabrication and testing of an electromagnetic railgun...*”. <http://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1059&context=aerosp>, 2011.
- b. US Congress Office of Technology Assessment: “*Ballistic Missile Defense Technologies*”, 1986.
- c. John Hopkins University. D. Bement, J. Miller, P. Grant III, J. La Camera: “*Naval Theater Ballistic Missile Defense*”, 2001.
- d. AIAA. J. D. Anderson. “*Hypersonic and high temperature gas dynamics –Second edition*”.
- e. Johns Hopkins APL Technical Digest Vol 20, Nro 3 (1999): “*Affordable hypersonic missile for a long range precision strike*”, 2006.
- f. RAND Corp. R. Speier, G. Nacouzi, C.A. Lee, R. Moore: “*Hypersonic Missile non- proliferation: Hindering the spread of a new class of weapons*”, 2017.
- g. JAPCC. Journal edition Nro 24 - H.Besser. D. Gogge, M. Huggins, A. Shaffer, D. Zimper: “*Hypersonic Vehicles: Games changer for a future warfare?*”. https://elib.dlr.de/113912/1/Hypersonic%20Vehicles%20-%20JAPCC%20Journal%20-%20Volume%2024_2017.pdf, 2017.
- h. CSIS. T. Karako, I. Williams, W. Rumbaugh. “*Missile Defense 2020*”: http://missilethreat.csis.org/wp-content/uploads/2017/04/170406_Karako_MissileDefense2020_Web.pdf, 2017.
- i. CSIS. T. Karako, W. Rumbaugh: “*Distributed Defense*”. https://csis-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/publication/171206_Karako_DistributedDefense_Web_0.pdf?GqH4Iie2m_7aMFqFKMRWu.3vdT18tMdO, 2018.
- j. US Air Force. Scientific Advisory Board. (Dec 2000). “*WHY and WHITER: Hypersonic research*”. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.182.8619&rep=rep1&type=pdf>, diciembre de 2000.
- k. Center of New American Future. S. Brimley, B. FitzGerald, K. Sayler. “*Game changers and U.S Defense Strategy*”. https://www.files.ethz.ch/isn/170630/CNAS_Gamechangers_BrimleyFitzGeraldSayler_0.pdf, 2013
- l. Air War College. Air University (USAF). J. Letsinger: “*Hypersonic Global Strike: feasibility and options*”, 2012.

- m. Air Force Research Laboratory. B. Hellman: "Hypersonic Flight Test Window for Technology development testing". <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a592876.pdf>, 2013.
- n. Missile Defense Advocacy Agency - MDA. "Making a world a safer place": <http://missiledefenseadvocacy.org/missile-threat-and-proliferation/missile-basics/hypersonic-missiles>, 2018.
- o. Mitchell Institute for Air Power Studies. R. Hallion. "Hypersonic Power Projection". https://secure.afa.org/Mitchell/reports/MP6_Hypersonics_0610.pdf, 2010.
- p. Breaking Defense. "Falling behind DOD scrambles to buy tech faster", 2018.
- q. IEEE. J. Gallant, T.Vancaeyzeele, B. Lauwens, B. Wild, F. Alouahabi, M. Schneider. "Design Considerations for an Electromagnetic Railgun firing intelligent bursts to be used against Anti-Ship Missiles". <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>, 2015.
- r. Review of Scientific Instruments. D. Whitterspoon; A. Case y otros. "A contoured coaxial plasma gun with injected plasma Armature". http://hyperv.com/pubs/RSINAK808083506_1.pdf, 2009.
- s. Carnegie Endowment for International Peace. J. Acton. "SILVER BULLET: Asking the right questions about Conventional Prompt Global Strike". <https://carnegieendowment.org/files/cpgs.pdf>, 2013.
- t. SIPRI. "Trends in World Military expenditure 2017": https://www.sipri.org/sites/default/files/2018-05/sipri_fs_1805_milex_2017.pdf, 2017.
- u. Price Waterhouse Co. R. Starr. L. Jones. "Aerospace and Defense trends 2018 -19". <https://www.strategyand.pwc.com/media/file/2018-Aerospace-Defense-Trends.pdf>, 2017.
- v. Deloitte. "2018 – Global Aerospace & Defense Industry outlook", 2018. <https://www2.deloitte.com/global/en/pages/manufacturing/articles/global-a-and-d-outlook.html>.
- w. Fortune Review. <http://fortune.com/fortune500/list/>, 2018.

FUENTES DE LAS FIGURAS

1. https://www.google.com/search?biw=1366&bih=608&tbm=isch&sa=1&ei=b9akW8SwDsmuWATvj6aoDw&q=win+in+a+complex+world&oq=win+in+a+complex+world&gs_l=img.3..0i19k1.3537390.3543406.0.3543833.23.13.0.10.10.0.223.1449.0j8j1.9.0....0...1c.1.64.img..4.19.1514.0..0j0i67k1j0i10k1j0i30k1j0i8i30i19k1j0i5i30i19k1.0.afzq83mfEgs#imgrc=kgeyg0aDjNjL1M;
2. https://www.google.com/search?q=SIX+MODERNIZATION+PRIORITIES&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKewjvqd6Mt5XdAhWEh5AKHaMnBWsQ_AUICigB&biw=1366&bih=613#imgrc=rkQWX4HVzoD2TM;
3. https://www.google.com/search?q=SIX+MODERNIZATION+PRIORITIES&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKewjvqd6Mt5XdAhWEh5AKHaMnBWsQ_AUICigB&biw=1366&bih=613#imgrc=cjE1U9nrUcPOSM;
4. https://www.google.com/search?q=long+range+precision+fires&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKewj8w5hupXdAhVDEZAKHQg3DhsQ_AUICigB&biw=1366&bih=613#imgrc=Pski61b0bi31wM;
5. https://www.google.com/search?q=railgun+pdf&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKewi_p9_qt0fbAhXGvJAKHbEbC2oQ_AUICigB&biw=1366&bih=613#imgrc=WffSW3-VbYiYSM;
6. <https://goo.gl/images/kMeQjM>
- 7.1 https://www.google.com/search?q=railgun+components&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKewjK_M_6y6veAHuBEpAKHbmzADOQ_AUIDigB&biw=1366&bih=657#imgrc=ADEcNg0hWTBHIM;
- 7.2 https://www.google.com/search?q=china+railgun+ship&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKewjDtoKd88zdAhWEhJAKHenbDecQ_AUICigB&biw=1366&bih=608#imgrc=gqRsf42nEWNuM;
8. <https://3.bp.blogspot.com/-mJj-hgG7Co/VOTYlB8tRxl/AAAAAABJRM/2feHvIaEYAQtetewMrATX356d0m9e4ifwCLcB/s1600/railguntech.png>
https://www.google.com/search?q=pulse+power+container+raytheon&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKewiytfx49XbAhXCEJAKHSxDDeYQ_AUICygC&biw=1366&bih=613#imgrc=8owSFBjQwU7TM;

- 9.1 https://www.google.com/search?q=china+railgun+ship&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKewjDtoKd88zdAhWEhJAKHenbDecQ_AUICigB&biw=1366&bih=608#imgcr=ZKdntL3LfqSCM
- 9.2 https://www.google.com/search?q=plasma+cannon+rusia&tbn=isch&tbs=rimg:CYPycSdlzHfjiAppsPdVnrUlkK7_1GLX03Mu5Aw-X8H05jExrgQ7m-GdPrGv6FylyqyfZix5mW0SsFglW4jGllk4CoSCYcmmw91WetSEafSOUAxCQOPKhJQrv8YtcCy4RxqSezvP2vDIqEgnkDD5fw7cmMREB_1kiCevuVCSoSCTGuBDub4Z0-EXT95179Q5qklhJsa_1oVjIirJ8RoUbej8oFkuUqEglmLHmZY5kWWBFXXH1Z-PzUjCoSCSvbiMYiKSngEcvw2ZLA1laHe&tbo=u&sa=X&ved=2ahUKewi8s-DtrHdAhUJqAKHXIHAYMQ9C96BAgBEBs&biw=1366&bih=613&dpr=1#imgcr=APxpf2CF0iCXM
10. https://www.google.com/search?biw=1366&bih=613&tbn=isch&sa=1&ei=LumWW67kBsL-wQSyqrugCA&q=general+atomics+railgun&oq=GENERAL+ATOMICS+RAILGUN&gs_l=img.1.0.35i39k1.1138687.1145708.0.1147607.26.25.1.0.0.0.188.3321.0j22.22.0....1c.1.64.img..3.22.3197.0..0j0i67k1j0i30k1j0i19k1.0.zEGODWih7kA#imgcr=WQCjha7N3SKlaM
- 11.1 https://www.google.com/search?biw=1366&bih=608&tbn=isch&sa=1&ei=5pIbXMu0F4mXwgScop34CQ&q=CHINESE+RAILGUN&oq=CHINESE+RAILGUN&gs_l=img.12..221963.231268.234623..5.0.1.125.1600.12j5.....2...1.gws-wiz-img.....0.0j35i39j0i67j0i10j0i10i30j0i10i19.uxJwy00Cb4#imgcr=ZTH7Ppjm7h4UM
- 11.2 https://www.google.com/search?q=china+railgun+ship&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKewjDtoKd88zdAhWEhJAKHenbDecQ_AUICigB&biw=1366&bih=608#imgcr=L6e7WQW_DGuCKM
12. https://www.google.com/search?biw=1366&bih=613&tbn=isch&sa=1&ei=B3ZHW-0FGYb0zglKr2ADQ&q=RUSSIA+and+railgun&oq=RUSSIA+and+railgun&gs_l=img.12..325165.334961.0.337583.22.20.1.1.0.325.2853.2-11j12.0....1c.1.64.img..8.7.1533.0.0j35i39k1j0i67k1j0i10k1j0i30k1.0.ivfLhrKZBAQ#imgcr=8qysNzXNyiweM
13. https://4.bp.blogspot.com/-5m-r0G7BMc0/VOTVON95z_I/AAAAAABJQ0/YG94FchNSEw9tIn8yOU41z7oWm0GmkrQCLcB/s1600/railgunPPC1.jpeg
14. https://www.google.com/search?q=railgun+pdf&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKewi_p9_qt0fbAhXGvJAKHbEbC2aQ_AUICigB&biw=1366&bih=613#imgcr=6LWE3yWPTl7-uM
15. <https://imgur.com/gallery/vNDpL>
16. https://www.google.com/search?biw=1366&bih=613&tbn=isch&sa=1&ei=ZQMtW8jTGMeiwT8Yy-wBQ&q=hypervelocity+projectile+%28hvp%29&oq=hypervelocity&gs_l=img.1.0.35i39k1j0i19k1l9.17350.23466.0.26139.14.14.0.0.0.97.1060.13.10.0....1c.1.64.img.1.13.1054.0..0j0i10i67k1j0i67k1.0.4FMODT110_4#imgcr=yTMzUckQaB9R1M
17. https://www.google.com/search?q=extreme+range+projectile+AND+namm0&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKewj11rT0j53cAhXSwFkHKSfAVGsQ_AUICigB&biw=1366&bih=613#imgcr=M5bWuNjca2dXIM
18. https://www.google.com/search?q=US+ARMY+RAILGUN&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKewj6uaj529PdAhUCkAJAKHx07DWOQ_AUICigB&biw=1366&bih=608#imgcr=w2xLLqSYLa0AdM
19. https://www.google.com/search?biw=1366&bih=613&tbn=isch&sa=1&ei=LumWW67kBsL-wQSyqrugCA&q=general+atomics+railgun&oq=GENERAL+ATOMICS+RAILGUN&gs_l=img.1.0.35i39k1.1138687.1145708.0.1147607.26.25.1.0.0.0.188.3321.0j22.22.0....1c.1.64.img..3.22.3197.0..0j0i67k1j0i30k1j0i19k1.0.zEGODWih7kA#imgcr=DGH6s1MU33V75M
https://www.google.com/search?biw=1366&bih=613&tbn=isch&sa=1&ei=LumWW67kBsL-wQSyqrugCA&q=general+atomics+railgun&oq=GENERAL+ATOMICS+RAILGUN&gs_l=img.1.0.35i39k1.1138687.1145708.0.1147607.26.25.1.0.0.0.188.3321.0j22.22.0....1c.1.64.img..3.22.3197.0..0j0i67k1j0i30k1j0i19k1.0.zEGODWih7kA#imgcr=aURLT_FbUk-A5M
20. https://www.google.com/search?q=LAUNCHESRS+PROJECILES+PUSE+POWER&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKewj9r9upwq7fAhWFQ5AKHcSoAu4Q_AUIDigB&biw=1366&bih=608#imgcr=Siv7tp2Wf-vS7M
21. https://www.google.com/search?q=hypersonic+market&rlz=1C2FDUM_enAR487AR538&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKewitwPX75JdDhAhWEh5AKHSSaA94Q_AUICygC&biw=1366&bih=662#imgcr=P4WStBxvs0DLM
22. https://www.google.com/search?biw=1366&bih=613&tbn=isch&sa=1&ei=LulGw6qMD4fGwAsi2Kf4Dg&q=hypersonics+range+VS+time&oq=hypersonics+range+VS+time&gs_l=img.12..560081.602296.0.604450.28.28.0.0.0.108.1903.23j2.25.0....1c.1.64.img..3.11.918.0..0j35i39k1j0i67k1j0i19k1.0.bUTyZ0L-VGI#imgcr=aGYQospfHSmusM
23. https://www.google.com/search?biw=1366&bih=613&tbn=isch&sa=1&ei=LulGw6qMD4fGwAsi2Kf4Dg&q=hypersonics+range+VS+time&oq=hypersonics+range+VS+time&gs_l=img.12..560081.602296.0.604450.28.28.0.0.0.108.1903.23j2.25.0....1c.1.64.img..3.11.918.0..0j35i39k1j0i67k1j0i19k1.0.bUTyZ0L-VGI#imgcr=9B6b4acotdVcAM
24. https://www.google.com/search?biw=1366&bih=613&tbn=isch&sa=1&ei=LulGw6qMD4fGwAsi2Kf4Dg&q=hypersonics+range+VS+time&oq=hypersonics+range+VS+time&gs_l=img.12..560081.602296.0.604450.28.28.0.0.0.108.1903.23j2.25.0....1c.1.64.img..3.11.918.0..0j35i39k1j0i67k1j0i19k1.0.bUTyZ0L-VGI#imgcr=L0WZPTysth6-YM
25. www.google.com/search?q=hypersonic+advantages&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKewjM2MqY4ezcAhUCgJAKHT5eCgkQ_AUICigB&biw=1366&bih=613#imgcr=rFaHu5zjhCgyJM
26. https://www.google.com/search?biw=1366&bih=608&tbn=isch&sa=1&ei=ZpsbXLIBgluewgTg7JPYAw&q=FLIGHT+DURATION+HEAT+LOADING+HYPERSONICS&oq=FLIGHT+DURATION+HEAT+LOADING+HYPERSONICS&gs_l=img.3..9575.12634.13038...0.0.0.332.1480.6j5j0j1.....1...1.gws-wiz-img.C5oLNFSCz08#imgcr=bNeR_jyGq2xrwM

27. USAF - Scientific advisory Board (2000). "Why and Whiter hypersonic Research in US Air Force".
28. https://www.google.com/search?biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=dS6qW8e8D8THWAS3wrHgBA&q=S CRAMJET&oq=SCRAMJET&gs_l=img.3..010.2834095.2837040.0.2837338.9.7.0.2.2.0.219.936.0j5j1.6.0....0.1c.1.64. img..1.8.956.0..35i39k1j0i67k1.0.0apM1QYEQ0M#imgcr=VfieIDrZrtJe0M;
29. https://www.google.com/search?biw=1366&bih=608&tbm=isch&sa=1&ei=85wbXIH0EMSWgTU94jgAg&q=falcon+H TV-2&oq=falcon+HTV-2&gs_l=img.12..0j0i30j0i24i2.139399.145820..148099..0.0.0.122.1209.8j4.....2....1.gws-wiz-img.....0.. 35i39j0i67j0i5i30.9PB161VWhV4#imgcr=IVTnyf4pZ0RDUM;
30. https://www.google.com/search?q=hypersonic+weapons&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwll_y_hNbd AhWmfAKHd77AQQQ_AUICigB&biw=1366&bih=657#imgcr=upBpMzMfQWRI2M;
31. <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-5813831/Lockheed-Martin-reveals-details-928m-contract-make-radic al-new-hypersonic-weapon.html>
32. https://www.google.com/search?biw=1366&bih=608&tbm=isch&sa=1&ei=cPXWW7-e0cGkWI75HwBA&q=X-51%3 A+A+Scramjet+Demonstrator+Program+Waverider+&oq=X-51%3A+A+Scramjet+Demonstrator+Program+Waveri der+&gs_l=img.12...6840265.6862884.0.6864174.25.9.0.0.0.0.192.615.0j4.4.0....0.1c.1j2.64.img..22.0.0.0...0.nKz7FUM9g bw#imgcr=ucl0tw3to3Hi6M;
- 32.1 https://www.google.com/search?q=DF+ZF+HYPERSONIC+MISSILE&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEWjG 5cyuyK7fAhWCjPakAHWx2BgkQ_AUIdigB&biw=1366&bih=608#imgcr=ThQDtbQpPRjFKM;
- 32.2 https://www.google.com/search?q=wu+14+china+hypersonic&tbm=isch&tbs=rimg:CZecKxfkHCnljFu0uL38csfd49n_ 1fXioWF60DSA9y_1vDuhS6UR-ehfB6LaLL8MVsvWWQPY8kr1K_1ZzG53RwbQzSoSCUW466Xfxy9EQJXomqXlxuKhlJ 3j2f99fWhYUR43c1ipiHhrkqEgkY4NID3L-80xEll3rficU3ioSCaFLpRH56F8HEbe-nl-GcU1LKhJpstosvwxWy8Rb_1NnvrfoJiQ qEgJZY49jySvUrxG9pirlTlloCoSCdnMbndHBT0NERt_17y57mGtX&tbo=u&sa=X&ved=2ahUKEWjn-67yK7fAhWEK5AKHYfR FoQ9C96BAGBEbW&biw=1366&bih=608&dpr=1#imgcr=7DJYFYkE05xvtM;
33. https://www.google.com/search?biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=e5CrW-HfBou3waT765-ABA&q=WU+14+MIS SILE&oq=WU+14+MISSILE&gs_l=img.12...2553.11189.0.13397.14.14.0.0.0.0.158.1741.0j13.13.0....0.1c.1.64.img..1.6.822.0.0j35i 39k1j0i30k1j0i5i30k1j0i19k1j0i8i30k1.0.KW1VEuYi7M#imgcr=n5K0wdk5cgmBYM;
34. https://www.google.com/search?biw=1366&bih=608&tbm=isch&sa=1&ei=WaEbXlnB04ulwASHzLvgCw&q=kinzh al+hypersonic+missile&oq=KINZHAL+MISSILE&gs_l=img.1.1.35i39j0i7i30i2.13710.16764..19320..0.0.0.0.157.977.0j8.....1...1. gws-wiz-img.....0j0i67j0i19j0i7i30i19j0i7i5i30.rGu8Zj5ydEY#imgcr=8TJv5M7-tvbkfM;
35. <https://www.globalsecurity.org/jhtml/jframe.html#https://www.globalsecurity.org/military/world/india/images/3m 22-image01.jpgll>
36. <https://visual.ly/community/infographic/other/russian-indian-brahmos-supersonic-cruise-missile>
37. https://www.google.com/search?q=BRAHMOS+2+MISSILE&tbm=isch&tbs=rimg:CQ6GNh-LQisBjh2-s7F7PxUsDgq29 zm72bpaJ4SIYzF8m4h0TARndpcwwnK1e1Te6nAFKugtNmtUNvv49eDQ0YloioSCXb5zSx_1FSwEuxtPtmhTK1KhJ0 Crb30bvZukRWA-Sijb17PQqEglnh1hh1_ybhE1KUoocN9_1mSoSCSE5MBGd2lZDEYmNPrGzSb4KhlJCCrV5PV7qCAR5Q xs50we4qQqEgkUq6C02a1Q2XFBXCRBu1LvviaSce_1j14NA5iWiERid-XFR10Ap&tbo=u&sa=X&ved=2ahUKEWj6vtLAttvdAhU Bk5AKHSjRBYAQ9C96BAGBEbW&biw=1366&bih=657&dpr=1#imgcr=ITkwEz3aXMPRMM#imgcr=JtY8c0x5TiQ59M;
38. https://www.google.com/search?biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=J_msW8r-040XwATq7b go&q=AMF++Additive+Manufacturing+Facility&oq=AMF++Additive+Manufacturing+Facility&gs_l=img12...131123.13139 710.1315847.3.3.0.0.0.208.208.2-1.1.0....0.1c.1j2.64.img..2.0.0.0...0.c3kPffJe95U#imgcr=0ShcTKSKWngCIM
- 39.1 https://www.google.com/search?biw=1366&bih=613&tbm=isch&sa=1&ei=ElN3W7ylKoaAwgS3kaLgDg&q=additive+ manufacturing+ENGINE+PARTS&oq=additive+manufacturing+ENGINE+PARTS&gs_l=img.12...117956.125988.0.127201.13. 9.0.4.4.0.247.121.0j7i1.8.0....0.1c.1.64.img..1.7.503...0j35i39k1j0i30k1j0i19k1j0i30i19k1j0i8i30i19k1.0.aP0kfu080Y#imgcr=ev7R HrjeJbQ3iM;
- 39.2 https://www.google.com/search?biw=1366&bih=613&tbm=isch&sa=1&ei=QVJ3W9KMNyHGwASqnJ_gAw&q=additi ve+manufacturing+SHAPES&oq=additive+manufacturing+SHAPES&gs_l=img.3...8720.11242.0.11715.7.7.0.0.0.0.274.939. 0j5j1.6.0....0.1c.1.64.img..1.3.566...0j35i39k1j0i30k1j0i19k1j0i30i19k1j0i8i30k1.0.zFF-mgkGm3A#imgcr=f5PCLITXV2a_DM;
40. https://www.google.com/search?q=%22excalibur+muniton%22+and+%223d+printing%22&tbm=isch&tbs=rimg:CTJbX pW89ChaljgZ2QCMLHUAIAPGHYUX-CStheXrUyDtJNZAT_1nrcCBypd180Lk70ranJbPPmMIX-qmrkm_1HlhvioSCRnZAlzUsd SIEQPS_1HRGzT-okhJABYdBRf4JIRpk05dt2x9VwqEgki2F5etRh1MhHDYDFrBuSDaCoSCU3MBP-etwIHEYFLeEs7l-g6KhlJKl QjzQuTvSsRt3DnxJZROboqEglqcls8-YyVxfiSn6ynpLWkioSCaqaSb8eWG-ESozjR0K18L&tbo=u&sa=X&ved=2ahUKEW jf9T_Gm9zdAhXHQZAKHT9jChOQ9C96BAGBEbW&biw=1366&bih=608&dpr=1#imgcr=GdkAJNs1lgYbM;
41. https://www.google.com/search?biw=1366&bih=608&tbm=isch&sa=1&ei=ZaUbXJbb08utwAS3gkVYAw&q=EL+GASTO+ MILITAR+EN+EL+MUNDO&oq=EL+GASTO+MILITAR+EN+EL+MUNDO&gs_l=img.12...91388.98765..100872...0.0.1.245.2892. 16j11j1.....2....1.gws-wiz-img.....0j0i67j35i39j0i30j0i24.pFcvhuDq7A#imgcr=S3m0PjT9mkA_M;

42. https://www.google.com/search?q=military+expenditure+in+2017+SIPRI&tbm=isch&tbs=rimg:Can76tNebS1XlJgGQqm0y7tERiaXUZn-WaqXiG18785NxS4E-U4ZUhVefJeWB73uyvWNe40frjyncq90HnPB-J-riCoSCQZCqbTLu0REEZ721TmMt6nNKhIjhdRk35ZqpcRA0tArl0ojoaqEgmIaXzvzk3FLhHsGtYAYouGQSoSCQT5ThISFV58Eeiva6IWRz9_1KhlJl5YHve7K9Y0Ryeh8vJlVZPcqEgl7g5-uPKdyrxGmQLblDx4hDSoS4ec_1z4n6ulESehYn4ro0h4&tbo=u&sa=X&ved=2ahUKewi9of7SsJfdAhXKHZAKHdgiDQ4Q9C96BAGBEBS&biw=1366&bih=662&dpr=1#imgrc=3W57Whr6a3qW5M;
43. https://www.google.com/search?q=sipri+military+expenditure+2017&rlz=1C2FDUM_enAR487AR538&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKewjg4dnn3JXdAhXBl5AKHAlqCUsQ_AUICigB&biw=1366&bih=613#imgrc=dNLZ7vjMxgU-SM;
44. https://www.google.com/search?q=military+expenditure+in+2017+SIPRI&tbm=isch&tbs=rimg:Can76tNebS1XlJgGQqm0y7tERiaXUZn-WaqXiG18785NxS4E-U4ZUhVefJeWB73uyvWNe40frjyncq90HnPB-J-riCoSCQZCqbTLu0REEZ721TmMt6nNKhIjhdRk35ZqpcRA0tArl0ojoaqEgmIaXzvzk3FLhHsGtYAYouGQSoSCQT5ThISFV58Eeiva6IWRz9_1KhlJl5YHve7K9Y0Ryeh8vJlVZPcqEgl7g5-uPKdyrxGmQLblDx4hDSoS4ec_1z4n6ulESehYn4ro0h4&tbo=u&sa=X&ved=2ahUKewi9of7SsJfdAhXKHZAKHdgiDQ4Q9C96BAGBEBS&biw=1366&bih=662&dpr=1#imgrc=YB9HTRbgBus2aM;
45. https://www.google.com/search?q=changes+in+military+expenditure+by+region+2017&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKewigU2hqZjdAhUwwVkkHWcGDsMQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgrc=shGr943-aRn8AM;
46. https://www.google.com/search?biw=1366&bih=608&tbn=isch&sa=1&ei=HKgbXlRLD4SPwgSHiZKgCA&q=MILITARY+EXPENDITURE+IN++AMERICA&oq=MILITARY+EXPENDITURE+IN++AMERICA&gs_l=img.3...118.405.128826..129484...0.0..1.217.34.28.11j20j1.....2...1.gws-wiz-img.....0..0j35i39j0i67j0i30j0i19j0i5i30i19j0i30i19.oXmB8fi-lpw#imgrc=iU3y0-UrRlfZ4M;
47. https://www.google.com/search?biw=1366&bih=662&tbn=isch&sa=1&ei=aUmNW7z4GcWwvAT-3sa7wCg&q=latin+america+defense+expenditure&oq=latin+america+defense+expenditure&gs_l=img.3...1388.11174.0.11589.34.30.0.4.4.0.226.3823.0j21j3.24.0...0...1c.1.64.img..6.13.1435.0..0j35i39k1j0i67k1j0i19k1j0i8i30i19k1.0.CMnqYGBGTeQ#imgrc=yKZdoHHec9iWAM;
48. <http://fortune.com/fortune500/list/>

(* **Juan Carlos Villanueva** es Oficial retirado del Ejército Argentino con el grado de Coronel de Infantería. Ingeniero militar de la especialidad mecánica - armamentos. Paracaidista militar y veterano de la Guerra de Malvinas.

Especialista en gestión tecnológica (Instituto Tecnológico Bs As - ITBA) y realizó una maestría en gestión de empresas tecnológicas (Doble titulación EOI - España / ITBA). Ocupó cargos directivos en fábricas militares (DGFm) con responsabilidad en la fabricación de armamento y munición. Se desempeñó en el ámbito de proyectos militares en el EMCFFAA, en EMGE y en CITEDEF como jefe del Departamento de propulsión. Realizó los cursos de formación y especialización como inspector en el área de misiles del "*United Nations Monitoring and Verification Commission (UNMOVIC)*". Actualmente se desempeña como analista de armamentos en el CEPTM "Grl MOSCONI".