

09/2012

31 enero de 2012

*Gregorio Álvarez Rubial*

*Javier Castell Bergés*

INTEGRACIÓN DEL PROYECTO BOEING YAL-1 EN  
EL SISTEMA DE ESCUDO ANTIMISILES DE EEUU

## INTEGRACIÓN DEL PROYECTO BOEING YAL-1 EN EL SISTEMA DE ESCUDO ANTIMISILES DE EEUU

### Resumen:

Del arsenal de armas de los Estados Unidos tal vez la más moderna y revolucionaria sea el *Boeing YAL-1*, basado en un laser químico de un megavatio de potencia e instalado a bordo de un avión de carga *Boeing 747-400F*. Este sistema persigue convertirse en la punta de lanza del esquema del escudo antimisiles de los Estados Unidos, diseñado para derribar misiles balísticos e intercontinentales en su fase de ascenso, mientras sobrevuelan aún el espacio aéreo del estado atacante.

### Abstract:

*In the last years the US Air Force and Boeing had developed what is now a key part of the complex National Missile System, the Airborne Laser, designated YAL-1, which is a completely new weapon mounted in a Boeing 747-400F Cargo, successfully tested in February 2010 off the Californian coast. The project, transferred to the Missile Defense Agency on 2002, envisions new paths for the future of the defense sector in the US and in the whole world.*

### Palabras clave:

Boeing YAL-1, escudo antimisiles, Lockheed Martin, Northrop Grumman, misil balístico, misil intercontinental, Defender, Sentinel, Safeguard, AEGIS, Patriot PAC-3, MEADS, THAAD, Estrategia Española de Seguridad, laser COIL, Theatre Missile Defense, National Missile Defense, Minuteman III, Beriev A-60.

### Keywords:

*Boeing YAL-1, National Missile Defense, Lockheed Martin, Northrop Grumman, ballistic missile, Intercontinental Missile, Defender, Sentinel, Safeguard, AEGIS, Patriot, PAC-3, MEADS, THAAD, Spanish Security Strategy, laser COIL, Theatre Missile Defense, Minuteman III, Beriev A-60.*

## INTRODUCCIÓN

El escudo antimisiles es un concepto nacido en los años cincuenta con el proyecto *Nike* del Ejército de Tierra estadounidense y que con diferentes enfoques a lo largo del último medio siglo, continúa estando de plena actualidad. Si bien los potenciales enemigos, la forma de la amenaza e incluso los actores participantes en esta iniciativa han ido variando desde su creación, persiste su objetivo final, que no es otro que la destrucción de misiles balísticos hostiles en su fase de vuelo.

Este escudo de defensa está compuesto de distintos sistemas de adquisición e interceptación entre los que se actualmente se puede destacar como más novedoso el *Airborne Laser* plasmado en el programa Boeing YAL-1. Se trata en definitiva de un láser químico de alta potencia instalado en un avión *Boeing 747-400F* que se



Boeing YAL-1 en vuelo mostrando el laser en proa

pretende que proporcione una alta capacidad de interceptación de objetivos en su fase de ascenso, sobrevolando todavía territorio del país atacante. Este programa, nacido en 1996 bajo los auspicios del Ejército del Aire estadounidense, pasó a partir de 2001 a depender de la *Missile Defense Agency*<sup>1</sup>, que se encargará de ahí en adelante de coordinar a los tres contratistas principales, *Boeing* como suministrador de la aeronave, la dirección del proyecto y la integración de sistemas, *Lockheed Martin*, proveedor de la torreta del laser y *Northrop Grumman*, que facilita el laser químico instalado a bordo.

## RESEÑA HISTÓRICA DEL ESCUDO ANTIMISILES<sup>2</sup> DE LOS ESTADOS UNIDOS

El escudo antimisiles ha evolucionado desde un concepto inicial dividido en una vertiente de escudo antimisiles nacional y otra de escudo antimisiles en el teatro de operaciones, a la actual concepción totalmente integrada del mismo.

La primera iniciativa nace con el sistema *Nike* en los años cincuenta, dando sus primeros pasos con el *Nike*<sup>3</sup> *Ajax*, un sistema antiaéreo desplegado a lo largo del territorio de Estados Unidos y sus aliados, operativo a partir de 1953 y que sustituye rápidamente la artillería antiaérea en EEUU, derribando en su primer test un bombardero *B-17* no tripulado. De este

<sup>1</sup> Ver *Airborne Laser Factsheet*, Boeing Defense Space & Security (JUN.09), disponible en: [http://www.boeing.com/defense-space/military/abl/doc\\_src/ABL\\_overview.pdf](http://www.boeing.com/defense-space/military/abl/doc_src/ABL_overview.pdf), fecha de la consulta 30.NOV.11.

<sup>2</sup> *National Missile Defense* en su actual acepción en inglés.

<sup>3</sup> La diosa *Niké* de la mitología griega personificaba la fuerza, la velocidad y la victoria & era portadora de buena suerte.

proyecto se derivará el *Nike Hercules*<sup>4</sup>, concebido para derribar misiles balísticos, con baterías instaladas en Estados Unidos, Alemania, Grecia, Groenlandia, Italia, Corea, Japón, Taiwán y Turquía.

El proyecto continúa con el *Nike Zeus*, con ojiva únicamente nuclear, y concebido para derribar misiles intercontinentales. La respuesta soviética al proyecto fue el misil SA-2<sup>5</sup>, utilizado profusamente durante la *guerra fría*<sup>6</sup>. El *Nike Zeus* planteaba el grave inconveniente de sufrir la explosión de una cabeza nuclear sobre territorio propio, lo que conduce al planteamiento del programa *Defender*.

Concebidos en los años sesenta, los programas *Defender* y *Balistic Missile Boost Intercept* plantean el lanzamiento de misiles desde satélites en órbita, con el objetivo de destruir misiles intercontinentales en su fase de ascenso. El principal inconveniente era la facilidad de interceptación de los satélites que servirían de plataforma para el programa, de modo que finalmente es cancelado en 1968.



Misil Minuteman III alojado en su silo de lanzamiento (1989)

El siguiente paso será el programa *Sentinel*, anunciado en 1963 por el Secretario de Defensa Robert McNamara. El programa contempla la interceptación de un ataque a gran escala y se estructura con misiles *Spartan* y *Sprint*, ambos armados con ojiva nuclear<sup>7</sup>. Sin embargo esta solución plantea numerosos inconvenientes, entre los que nos encontramos el efecto negativo en la opinión pública que tendría la detonación de armas nucleares sobre el propio territorio, el oscurecimiento para las defensas en caso de posteriores ataques y finalmente el conflicto político que genera la vulneración del

concepto de *Destrucción Mutua Asegurada* que en ese momento se considera importante factor de estabilidad.

El programa *Sentinel* se ve reducido drásticamente en 1967 para transformarse en la iniciativa *Safeguard*, que plantea como objetivo proteger únicamente los principales silos de misiles intercontinentales en las dos Dakotas, Montana, Manitoba, Saskatchewan y Alberta. *Safeguard* resuelve, al menos parcialmente, la mayoría de problemas que planteaba su

<sup>4</sup> El *Nike-B* o *Nike Hercules* tenía un alcance máximo de 160 km, altitud operativa de 30 km, una velocidad máxima de 4.800 km/h y la opción de instalar ojiva nuclear.

<sup>5</sup> Denominado en la Unión Soviética *S-75 Dvina*, una batería de este tipo derribó el *U-2* de Francis G. Powers en vuelo sobre la Unión Soviética el 1.MAY.60.

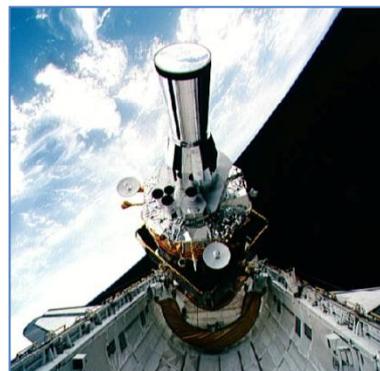
<sup>6</sup> Ésta época histórica recibe ese nombre porque la trayectoria más corta entre los silos de lanzamiento soviéticos de Siberia y los Estados Unidos sobrevuela el Polo Norte.

<sup>7</sup> El misil *Spartan* portaba una cabeza termonuclear (fisión-fusión) *W71*, mientras que el *Sprint* iba armado con una bomba de neutrones *W66*. El sistema *Sprint* tenía un alcance de 40 km, con la posibilidad de lanzarse desde camiones especiales. Ver *ABM Research and Development*, capítulo 9, Bell Labs, disponible en <http://srmsc.org/pdf/004431p0.pdf>, fecha de la consulta 30.NOV.11.

predecesor, reduce el impacto sobre la opinión pública, ya que las detonaciones nucleares se producirían en áreas poco pobladas, y tiene un coste muy inferior por su despliegue más limitado.

Todo esto lleva en 1972 a la firma del *Tratado sobre Misiles Antibalísticos*<sup>8</sup> (ABM), firmado en Moscú por Richard Nixon y Leonid Brezhnev. El tratado otorga la facultad a ambas partes de instalar dos bases de lanzamiento de misiles antibalísticos, una en su respectiva capital y otra en las inmediaciones de un determinado silo de misiles intercontinentales. Como consecuencia del tratado, la Unión Soviética construye el complejo *A-35 Galosh*<sup>9</sup> en las inmediaciones de Moscú, que con mayor o menor operatividad ha continuado activo hasta la fecha de terminar este trabajo, mientras que los Estados Unidos instalan el sistema *Safeguard* en torno al silo de lanzamiento de misiles *Minuteman* de la Base Aérea *Grand Forks* en Dakota del Norte.

Por otro lado, la Unión Soviética desarrolla a partir de 1962 el programa FOBS (*Fractional Orbital Bombardment System*), capaz de poner una bomba nuclear en órbita baja de manera indefinida, para posteriormente atacar objetivos americanos a demanda, incluso desde el Sur, evitando así las defensas del *NORAD*<sup>10</sup>, orientadas al Norte, desde donde es más previsible un ataque con misiles intercontinentales procedentes de Rusia. Estados Unidos responderá a partir de 1970 con el despliegue de una red de 23 satélites de reconocimiento capaces de detectar un lanzamiento FOBS, que continúan en uso hoy en día<sup>11</sup>. Este tipo de armas serán prohibidas tras los acuerdos *SALT II*<sup>12</sup>, consideradas como armas nucleares en órbita



Despliegue de uno de los satélites del *Defense Support Program* durante la misión STS-44 del transbordador Atlantis

A partir de la década de los ochenta, EEUU comienza a desarrollar el concepto de *Kinetic Kill Vehicle*. Se trata de un misil que interceptaría otro misil hostil simplemente chocando con él, lo que evita el problema derivado del uso de armas nucleares sobre territorio propio. El

<sup>8</sup> Tuvo lugar durante las negociaciones del *Strategic Arms Limitation Talks* (SALT). Cronológicamente se distingue *SALT I*, llevado a cabo entre 1969 y 1972, y *SALT II*, entre 1972 y 1979.

<sup>9</sup> Hoy llamado *A-135* ó *ABM-3*.

<sup>10</sup> *North American Aerospace Defense Command* es la organización conjunta USA-Canadá responsable de la alerta, control y defensa aéreos de ambos países.

<sup>11</sup> Configurando la red del *Satellite Early Warning System*, que, operada por el Ejército del Aire estadounidense (a través del Ala 460 en Colorado), alimenta directamente *NORAD* y *USSTRATCOM*.

<sup>12</sup> Ver artículo IX.c del tratado *SALT II*, disponible en <http://www.state.gov/www/global/arms/treaties/salt2-2.html>, fecha de la consulta 30.NOV.11.

primer desarrollo en este sentido es el *Homing Overlay*<sup>13</sup> *Experiment*, que desplegaría una malla metálica de cuatro metros de diámetro antes de la colisión para aumentar las posibilidades de impacto. El primer test realizado con éxito tuvo lugar el 10 de junio de 1984, con el derribo de un vehículo de reentrada *Minuteman II*.

El 23 de marzo de 1983, el presidente de EEUU Ronald Reagan anuncia un nuevo programa de defensa anti-misil llamado *Strategic Defense Initiative*<sup>14</sup> (*SDI*), planteado como un sistema capaz de anular un ataque a gran escala de la Unión Soviética. Su objetivo será la puesta en órbita de varios satélites portadores de armas laser alimentados por pequeñas centrales nucleares, diseñados para derribar misiles intercontinentales en el espacio. El sistema tiene el inconveniente de requerir un enorme desarrollo tecnológico asociado a un elevado coste económico, razones por las que no es completamente desarrollado y desplegado.

Con la llegada de Bill Clinton a la presidencia de Estados Unidos, se revisará la orientación de este último programa y su enfoque pasará de ser un sistema de defensa de misiles de nivel nacional a uno de nivel regional o de teatro, esto es, táctico. La administración Bush promulgará en diciembre de 2002 la *National Security Presidential Directive 23*<sup>15</sup>, con la que se darán los primeros pasos hacia la integración de las doctrinas de defensa del territorio (*National Missile Defense*) y la defensa táctica (*Theatre Missile Defense*). Este enfoque unificador desembocará en 2003 con la creación de la *Missile Defense Agency (MDA)* que coordina todos los sistemas disponibles.

El último evento reseñable es la salida de Estados Unidos del *Tratado sobre Misiles Antibalísticos* de 1972. En diciembre de 1999 la Asamblea General de la ONU aprueba una resolución<sup>16</sup> promoviendo el abandono por parte de EEUU de su programa de escudo antimisiles. Tan solo Estados Unidos, Israel, Albania y Estados Federados de Micronesia votaron en contra, lo que terminará desembocando en el abandono definitivo por parte de EEUU del Tratado ABM el 14 de junio de 2002 y la salida al día siguiente de Rusia del tratado *START II*<sup>17</sup> como respuesta.

---

<sup>13</sup> El término *Overlay* es empleado por el *US Army* (que financia y dirige en los años ochenta el proyecto *HOE*), para las interceptaciones exoatmosféricas, por contraposición a la interceptación atmosférica, denominada *underlay*.

<sup>14</sup> Popularmente conocido como *Guerra de las Galaxias*.

<sup>15</sup> En palabras del presidente George W. Bush, [...The administration has also eliminated the artificial distinction between *National* and *Theatre* missile defenses...], ver *National Security Presidential Directive 23*, apartado *Missile Defense Program*, disponible en <http://www.fas.org/irp/offdocs/nspd/nspd-23.htm>, fecha de la consulta 30.NOV.11.

<sup>16</sup> Ver *Draft Resolution Calling for Compliance with 1972 ABM Treaty*, Naciones Unidas (NOV.99), disponible en <http://www.un.org/News/Press/docs/1999/19991105.gadis3161.doc.html>, fecha de la consulta 30.NOV.11.

<sup>17</sup> El tratado *START II*, firmado el 3.ENE.93 entre *George HW Bush* y *Boris Yeltsin*, prohíbe el uso de vehículos de reentrada múltiples e independientes en misiles intercontinentales. Ver artículo II, *START II Treaty*, Departamento de Estado USA (ENE.93), disponible en <http://www.state.gov/www/global/arms/starthtm/start2/stiitoc.html>, fecha de la consulta 30.NOV.11.

Paralelamente a la estrategia estadounidense sobre el escudo antimisiles se ha desarrollado la de la OTAN, sobre análogos conceptos de defensa del territorio (*Territorial Missile*



Lanzamiento de un misil SM-2 desde el destructor AEGIS (DDG-70) USS Hopper

*Defense*) y defensa táctica (*Theatre Missile Defense*), adquiriendo especial relevancia en el desarrollo del nuevo *Concepto Estratégico para la Defensa y Seguridad de los Miembros de la OTAN*<sup>18</sup> adoptado en la cumbre de Lisboa en 2010.

Del mismo modo, la *Estrategia Española de Seguridad* refleja la vocación de España<sup>19</sup> de contribuir a una *capacidad de defensa colectiva adecuada contra la proliferación de misiles balísticos*<sup>20</sup>, inspirada en parte por la *Estrategia Europea contra la Proliferación de Armas de Destrucción Masiva*<sup>21</sup>, lo que refleja los esfuerzos realizados a nivel internacional para coordinar las diferentes políticas sobre la materia. En este sentido, la reciente autorización de España para la utilización de la Base Naval de Rota en el apoyo logístico de cuatro buques AEGIS estadounidenses, supone un despliegue mayor para el escudo antimisiles de EEUU.

## EL ESCUDO ANTIMISILES DE ESTADOS UNIDOS EN SU CONCEPCIÓN ACTUAL

EL escudo antimisiles se compone fundamentalmente de dos tipos de sistemas. Por una parte los sensores capaces de detectar de modo fehaciente el lanzamiento de misiles balísticos hostiles, y por otra los sistemas de interceptación de los misiles en vuelo. Entre los sistemas de detección se dispone del *Space Tracking and Surveillance System* con los satélites del *Defense Support Program*, dos *Upgraded Early Warning Radars*<sup>22</sup> en California y Reino Unido, el similar *Cobra Dane* en Alaska, el radar portátil *AN/TPY-2* del *THAAD* y finalmente el *Sea Based X-Ray Radar*<sup>23</sup> del *Ground-Based Midcourse Defense*. Asimismo, EEUU dispone de buques dotados con el sistema de combate AEGIS basado en el radar multifunción *SPY-1D*, que proporcionan la gran ventaja de poder desplegarse en cualquier parte del mundo.

<sup>18</sup> Ver apartados 8, 19 y 34 del *Concepto Estratégico para la Defensa y Seguridad OTAN*, disponible en <http://www.nato.int/lisbon2010/strategic-concept-2010-eng.pdf>, fecha de la consulta 30.OCT.11.

<sup>19</sup> España posee 5 buques AEGIS (F-100 a F-105) y una batería de misiles Patriot PAC-2 y 4 baterías NASAMS.

<sup>20</sup> Ver *Estrategia Española de Seguridad 2011, resumen ejecutivo & capítulo 4, ámbito aéreo y Proliferación de Armas de Destrucción Masiva*. Disponible en <http://www.lamoncloa.gob.es/NR/rdonlyres/D0D9A8EB-17D0-45A5-ADFF-46A8AF4C2931/0/EstrategiaEspanolaDeSeguridad.pdf>, fecha de la consulta 30.NOV.11.

<sup>21</sup> Ver *Estrategia Europea contra la Proliferación de Armas de Destrucción Masiva, puntos 9 y 16*, UE (10.DIC.03), disponible en <http://register.consilium.europa.eu/pdf/es/03/st15/st15708.es03.pdf>, fecha de la consulta 30.NOV.11.

<sup>22</sup> El UEWB es capaz de detectar objetos a 3.000 millas náuticas de distancia. Ver <http://www.mda.mil/global/documents/pdf/uewr1.pdf>, fecha de la consulta 1.DIC.11.

<sup>23</sup> Las características principales están disponibles online en [http://www.raytheon.com/newsroom/feature/stellent/groups/public/documents/content/cms04\\_018157.pdf](http://www.raytheon.com/newsroom/feature/stellent/groups/public/documents/content/cms04_018157.pdf), fecha de la consulta 1.DIC.11.

Los sistemas de interceptación existentes se orientan en función de cual es la fase de vuelo del misil hostil. Para la fase de ascenso<sup>24</sup> del misil, donde es posible realizar el seguimiento del misil por su huella térmica, se cuenta con el *Boeing YAL-1* y el *Network Centric Airborne Defense Element*<sup>25</sup>, derivado del misil *AIM 120 AMRAAM*, instalado sobre aviones *Boeing F-15 Eagle*.

En la fase media de la trayectoria encontramos el *Ground-Based Midcourse Defense*<sup>26</sup> para la intercepción de misiles en el espacio, operado por el Ejército de Tierra de Estados Unidos, y el *AEGIS Ballistic Defense System* que emplea misiles *RIM-161 SM-3*, con capacidad contra misiles balísticos y también anti-satélite<sup>27</sup> operando desde plataforma naval.

Entre los interceptores para la fase de descenso tenemos el sistema *Terminal High Altitude Area Defense*<sup>28</sup> (*THAAD*), diseñado para derribar misiles de alcance medio, pero también con capacidad limitada para atacar misiles intercontinentales<sup>29</sup>, el *Patriot Advance Capability 3 (PAC-3)*, en uso actualmente en



Exoatmospheric Kill Vehicle del Ground-Based Midcourse Defense, coronado por su telescopio de espectro visible/IR

Estados Unidos, España, Taiwan, Egipto, Alemania, Grecia, Israel, Japón, Kuwait, Países Bajos, Arabia Saudí, EAU, Polonia y Corea del Sur. Del mismo modo, el misil *Arrow*<sup>30</sup>, desarrollado conjuntamente por Israel y Estados Unidos, operativo desde el año 2000 y finalmente el proyecto *Medium Extended Air Defense System (MEADS)* en el que participan Estados Unidos, Alemania e Italia.

Mención aparte merece el sistema de origen noruego *NASAMS*<sup>31</sup>, que emplea el misil *AIM-120 AMRAAM*<sup>32</sup> y posee guía por radar activo<sup>33</sup>. El equipo fue desplegado en *Washington DC*

<sup>24</sup> Los misiles balísticos mantienen sus motores encendidos en un breve periodo que dura aproximadamente 4-5 minutos desde el lanzamiento, realizando el resto de la trayectoria esencialmente por inercia.

<sup>25</sup> Una descripción completa del sistema está disponible en [http://www.raytheon.com/newsroom/feature/ncade\\_07-09/](http://www.raytheon.com/newsroom/feature/ncade_07-09/), fecha de consulta 1.DIC.11.

<sup>26</sup> Ver *Flight Tests for Ground-Based Midcourse Defense*, Center for Defense Information (JUN.07), disponible en <http://www.cdi.org/pdfs/gmd%20ift2.pdf>, fecha de la consulta 2.DIC.11.

<sup>27</sup> La capacidad anti-satélite del sistema fue probada con éxito el 20.FEB.08 tras el lanzamiento de un misil *SM-3* por el *USS Lake Erie* contra un satélite de reconocimiento estadounidense, desde aguas del Pacífico. Ver *DoD Succeeds in Intercepting Non-functioning Satellite*, US Department of Defense (20.FEB.11), disponible en <http://www.defense.gov/releases/release.aspx?releaseid=11704>, fecha de la consulta 2.DIC.11.

<sup>28</sup> Previamente denominado *Theater High Altitude Area Defense*.

<sup>29</sup> Los contratistas principales del proyecto son *Lockheed Martin* (líder del proyecto), *Raytheon*, *Boeing*, *Aerojet*, *Rocketdyne*, *Honeywell*, *BAE Systems* y *Caterpillar*.

<sup>30</sup> Ver *Arrow Weapon System*, Boeing (MAY.11), disponible en [http://www.boeing.com/defense-space/space/arrow/docs/Arrow\\_overview.pdf](http://www.boeing.com/defense-space/space/arrow/docs/Arrow_overview.pdf), fecha de la consulta 2.DIC.11.

<sup>31</sup> *Norwegian Advanced Surface to Air System*.

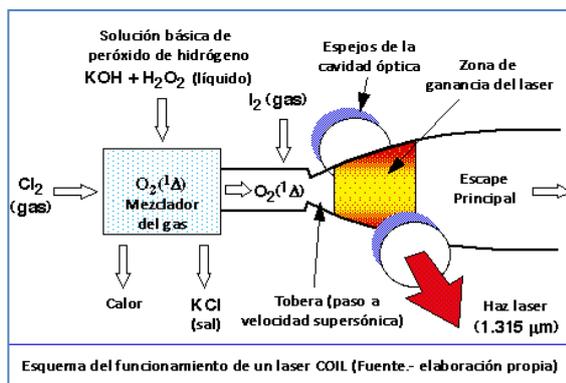
<sup>32</sup> El *Advanced Medium Range Air-to-Air Missile* es un misil aire-aire BVR (Beyond the Visual Range) profusamente configurado en España, no sólo en el *NASAMS* operado por el Ejército de Tierra sino también en *F-18 Hornet & Eurofighter* y en el *AV-8 Harrier II* que opera la Armada.

por el Ejército del Aire estadounidense<sup>34</sup> y del que España posee 4 baterías adquiridas en 2003 como parte del convenio de venta de las fragatas de la clase *Fridtjof Nansen*, construidas en los astilleros de Navantia en Ferrol.

Los sistemas antimisil combinan la utilización de proyectiles inerciales sin ojiva explosiva (*THAAD, Ground-Based Midcourse Defense, NCADE*), con el empleo de cabeza explosiva (*Patriot, Arrow*) desde distintos tipos de plataforma, naval, terrestre o aérea. Sin embargo, la innovación más trascendental de las últimas décadas es el arma laser montada a bordo del *Boeing YAL-1* con la capacidad de causar un efecto destructivo sobre el objetivo de modo casi instantáneo (a la velocidad de la luz)

## EL LÁSER Y SU APLICACIÓN MILITAR COMO ARMA CONTRA MISILES BALÍSTICOS

El fundamento del láser<sup>35</sup> se basa en el fenómeno de *emisión estimulada*<sup>36</sup>. Un electrón que ha sido excitado hasta un nivel de energía superior, emitirá esta energía en forma de fotón de luz visible al regresar al nivel original (o bien en cualquier otra banda del espectro: UV, IR o microondas). Estos fotones a su vez estimularán otros átomos excitados de modo que se



desencadena un efecto en cascada de emisión. La luz obtenida de este modo tiene unas propiedades de alta coherencia y pureza espectral de modo que es posible concentrar una gran cantidad de energía en un punto muy pequeño.

En términos prácticos el láser es un dispositivo que convierte la energía aportada (proceso de bombeo<sup>37</sup>) al *medio activo*<sup>38</sup>, situado en el interior de una cavidad óptica<sup>39</sup> altamente reflectante, en un haz de luz de una frecuencia determinada. Un problema común en el láser es el derivado de su muy baja eficiencia energética, de modo que gran parte de la misma se disipa como calor. Esta cuestión es determinante para su aplicación como arma militar,

<sup>33</sup> Es decir, el radar está instalado en el propio misil. El código táctico OTAN para el lanzamiento de un misil con guía por radar activo es *fox-three*.

<sup>34</sup> Actualmente acumula 35.000 horas de misión. Ver *NASAMS Defense Air Defense System*, Kongsberg, disponible en [http://www.kongsberg.com/en/kds/products/airdefencesystems/~media/KDS/Files/Products/Air%20Defense%20Systems/Brochures/Brosjyre%206%20sider\\_NASAMS%20generell-skjerm.ashx](http://www.kongsberg.com/en/kds/products/airdefencesystems/~media/KDS/Files/Products/Air%20Defense%20Systems/Brochures/Brosjyre%206%20sider_NASAMS%20generell-skjerm.ashx), fecha de la consulta 2.DIC.11.

<sup>35</sup> El origen de la palabra proviene del acrónimo *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*.

<sup>36</sup> La emisión estimulada es el proceso en el que un electrón del medio activo, al ser excitado salta a un nivel de energía superior. Al volver a su estado estable emite un fotón que tiene igual *fase, frecuencia, polarización y dirección* que el fotón con el que ha sido irradiado.

<sup>37</sup> El bombeo puede realizarse mediante corrientes eléctricas, radiación lumínica o reacciones químicas.

<sup>38</sup> Los medios activos más utilizados de un láser suelen ser un cristal, un gas, un semiconductor o un líquido.

<sup>39</sup> La cavidad óptica más sencilla consiste en dos espejos enfrentados de modo que la luz que se refleja entre ambos pasa a través del medio activo, siendo uno de los dos espejos semitransparente, de modo que se pueda generar un haz de luz que emerja al exterior de la cavidad.

donde es necesario disponer de potencias del orden de cientos de kilovatios o del megavatio. La aparición del láser químico a finales de los sesenta abrió la puerta para disponer de una solución viable. La idea consiste en realizar una mezcla de gases con los que crear un flujo que debidamente expandido aporte la energía de bombeo para lograr el efecto láser. Sin embargo la implementación de este concepto presenta importantes retos en el diseño. Las reacciones químicas trabajan a temperaturas del orden de los  $1000^{\circ}$  –  $2000^{\circ}$  C, las toberas de expansión y los sistemas de exhaustación requieren condiciones de flujo muy controladas; dependiendo del tipo de gases usados se puede estar trabajando en algún punto de la cadena con productos corrosivos o tóxicos. Por otra parte deben usarse espejos con pérdidas ópticas mínimas, ya que por ejemplo una pequeña pérdida del 1% en los mismos provocaría en un láser de 1 Mw, 10 kw de calor disipado en los mismos.

Otro problema clave, común a cualquier láser, es el derivado de su trayectoria a través de la atmósfera. No solo debe considerarse su frecuencia para evitar los problemas de absorción, debiendo elegirse por tanto frecuencias con aceptables ventanas en la curva de absorción atmosférica, sino que además debe considerarse la distorsión del haz al atravesar un medio que puede ser muy poco homogéneo y además variable en el tiempo (nubes, grado de humedad, cambios de presión, etc), no en vano estamos considerando un entorno de operación a baja altura y un rango en la trayectoria del láser de kilómetros.



Aspecto interno de la torreta del Boeing YAL-1

La idea para solucionar este problema consiste en pre distorsionar el haz a la salida del espejo, de modo que alcance el objetivo con un enfoque preciso. De nuevo una idea simple requiere de una solución compleja, y es que al estar el objetivo, la plataforma láser y la propia masa atmosférica en movimiento se requiere una adaptación dinámica del haz, esto exige además de un sistema adicional de medición continuo de la trayectoria prevista del haz láser.

La pre distorsión del haz se puede lograr mediante el uso de espejos deformables dotados de un *array*<sup>40</sup> de cientos de actuadores que pueden elevar o deprimir el área del espejo de modo que se obtenga una superficie que produzca la distorsión deseada. Por otra parte es necesario utilizar un sistema de medida de la distorsión del haz a lo largo de la trayectoria prevista, lo que se logra mediante un radar láser auxiliar que ilumina continuamente el objetivo.

<sup>40</sup> Un *array* es una matriz de actuadores.

Sin embargo pueden plantearse diferentes estrategias para defenderse del láser y reducir su efectividad. Una vez que el misil ha sido lanzado su firma térmica es prácticamente inevitable, por lo que eludir su detección no parece una opción viable, por tanto la estrategia pasa por hacer al propio misil lo más resistente posible al ataque láser. Una primer modo consistiría en convertir la superficie del misil en un espejo lo más reflectante posible a la radiación recibida o difundir un gas opaco de forma permanente alrededor de su fuselaje, otra estrategia consistiría en dotar al misil de rotación axial, de modo que se minimizara el tiempo que incide el láser en un punto determinado, dificultando así su capacidad de causar daños e incluso se puede pensar en la construcción de cohetes más potentes, de modo que se minimice su tiempo de exposición al ataque láser en la fase inicial de vuelo.

### EL LASER COIL A BORDO DEL BOEING YAL-1

El tipo de láser que se usa en el sistema YAL-1 es un láser químico del tipo *COIL*<sup>41</sup>. Este láser<sup>42</sup>, que emite en la banda de de  $1,315 \mu\text{m}$ <sup>43</sup> (banda infrarroja), utiliza una mezcla de cloro gaseoso ( $\text{Cl}_2$ ), peróxido de hidrógeno ( $\text{O}_2\text{H}_2$ ) e hidróxido de potasio (KOH) que al reaccionar producen oxígeno ( $\text{O}_2$ ) en estado excitado, combinándose entonces con yodo gaseoso ( $\text{I}_2$ ) y generando en ese momento el flujo que se expansiona rápidamente hasta la cámara óptica donde se produce el efecto láser, provocado por el yodo excitado<sup>44</sup> de la mezcla.



Parche de vuelo del programa YAL-1

El avión utilizado para soportar este sistema es un Boeing 747-400F. Su característica externa más destacada es la torreta óptica que soporta el espejo láser montada en la proa de la aeronave. En la zona delantera del fuselaje se aloja el Battle Management System (BMS), encargado de la identificación, seguimiento y control de los objetivos. Además del apoyo de sensores terrestres, el sistema de adquisición cuenta con sensores infrarrojos, un sistema FLIR<sup>45</sup> y láseres de iluminación de objetivo y de medida de condiciones atmosféricas. En la zona delantera se aloja también el Beam Control System (BCS), que gestiona la potencia del láser y el control de la distorsión del haz.

<sup>41</sup> Acrónimo de *Chemical Oxygen Iodine Laser*.

<sup>42</sup> El láser *COIL* fue desarrollado en 1977 por el Ejército del Aire estadounidense.

<sup>43</sup>  $10^{-6}$  metros.

<sup>44</sup> El sistema necesita de recarga periódica de gases, lo que implica un número de disparos limitado y la generación de residuos que deben ser exhaustados debidamente.

<sup>45</sup> FLIR, acrónimo de *Forward Looking Infra Red*. Esta tecnología es ampliamente usada hoy día en cámaras térmicas, tanto para aplicaciones civiles como militares.

En la parte posterior se encuentra el sistema láser, compuesto por seis módulos de 1,5 toneladas cada uno, conectados en serie. El haz de alta potencia obtenido (del orden de 1 Mw de potencia) se dirige mediante un sistema de espejos hasta la torreta situada debajo de la cabina de pilotaje.

## EL BOEING YAL-1, VANGUARDIA DEL ESCUDO ANTIMISILES DE ESTADOS UNIDOS

El concepto es heredero del *Strategic Defense Initiative*, que sirvió de laboratorio para el perfeccionamiento de este tipo de tecnología, especialmente aplicable en el espacio, donde no existen los efectos nocivos que produce la atmósfera sobre el láser.

Sin embargo, el principal precursor del programa es el *Boeing NC-135*<sup>46</sup> del proyecto *Airborne Laser Laboratory*, que empleando un laser menos potente fue desarrollado en los años ochenta por el Ejército del Aire estadounidense en la base aérea *Kirtland* de Nuevo Méjico.

El heredero del *Airborne Laser Laboratory* es el *YAL-1*, que da sus primeros pasos en 2001, realizando su primer test completo con éxito el 12 de febrero de 2010, en que un *Boeing YAL-1*, operando desde la Base Aérea Edwards derriba un misil balístico<sup>47</sup> sobre aguas del océano Pacífico al Oeste de California.



Torreta del Boeing YAL-1 en los laboratorios de Lockheed Martin



Pulido de precisión de la ventana cerámica del laser

Algunas consideraciones tácticas previas del sistema son la necesidad de dar escolta al *YAL-1*, que debería permanecer en vuelo cerca de la zona del previsible lanzamiento<sup>48</sup> así como la posibilidad de hacer relleno de combustible en vuelo<sup>49</sup>.

El empleo del láser como arma se ha extendido en las últimas décadas al resto de potencias con similares

<sup>46</sup> Versión militar del *Boeing 707*.

<sup>47</sup> Ver *Lockheed Martin-Built System Aims Laser in Successful Lethal Demonstration Against Ballistic Missile Target*, Lockheed Martin (12.FEB.10), disponible en [http://www.lockheedmartin.com/news/press\\_releases/2010/02-12-ssc-abl-shootdown.html](http://www.lockheedmartin.com/news/press_releases/2010/02-12-ssc-abl-shootdown.html), fecha de la consulta 2.DIC.11.

<sup>48</sup> El alcance del sistema oscila entre 300 km para misiles intercontinentales (más robustos) y 600 km para misiles balísticos de menor alcance.

<sup>49</sup> Ver *Congressional Records*, Senado de los Estados Unidos (25.JUN.02), disponible en [http://books.google.com/books?id=oj5jAMspUfAC&pg=PA11290&lpg=PA11290&dg=air+borne+laser+hostile+airspace&source=bl&ots=DxQKw-Mwre&sig=3RbyW3Y90kVFO4UEmZSOmAWPhiM&hl=en&ei=KS23TiaNGIP78AbG6-3CCQ&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=9&ved=0CDMQ6AEwCA#v=onepage&q&f=false](http://books.google.com/books?id=oj5jAMspUfAC&pg=PA11290&lpg=PA11290&dg=air+borne+laser+hostile+airspace&source=bl&ots=DxQKw-Mwre&sig=3RbyW3Y90kVFO4UEmZSOmAWPhiM&hl=en&ei=KS23TiaNGIP78AbG6-3CCQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=9&ved=0CDMQ6AEwCA#v=onepage&q&f=false), fecha de la consulta 1.DIC.11.

capacidades tecnológicas a Estados Unidos. La Unión Soviética y posteriormente Rusia han desarrollado su programa *Beriev A-60*<sup>50</sup> a partir de 1977, sobre la base del *Ilyushin Il-76* y según algunos autores China estaría igualmente perfeccionando un arma laser anti-aérea<sup>51</sup> en *Fujian*.

Nos encontramos ante un sistema poco probado hasta la fecha, que ha seguido un rápido desarrollo y que previsiblemente seguirá en el futuro logrando una mayor miniaturización y aumento de potencia, que pueden hacer realidad proyectos gemelos menos evolucionados como el *Advanced Tactical Laser*<sup>52</sup>, un laser *COIL* menos potente montado sobre un avión *Lockheed C-130 Hércules* diseñado para atacar objetivos en tierra volando a baja cota.

## CONCLUSIONES

Las capacidades que ofrece el láser en su aplicación militar son enormes, pero a la vez presenta importantes desafíos tecnológicos. Un misil intercontinental como el *Minuteman III* de EEUU se desplaza a *Mach 23*<sup>53</sup> siendo el *JL-2* de la República Popular China aún más veloz<sup>54</sup>, lo cuál da idea de la dificultad para derribarlos. Un arma de laser continuo como el *YAL-1* ofrece la gran ventaja de permitir correcciones en la dirección de tiro en caso de fallo inicial a la velocidad de la luz, siendo su limitada potencia el principal hándicap actualmente.

El enfoque del escudo antimisiles estadounidense da sus primeros pasos con el proyecto *Nike*, en el que se planteaba como sustitutivo de la artillería antiaérea, empleando un único o casi-único sistema anti-misil, pasando a continuación a un esquema ambicioso, pero no operativo durante la *Strategic Defense Initiative* del presidente Reagan, en el que se confía en abortar completamente un ataque a gran escala sobre el territorio continental de EEUU, empleando satélites como plataforma y el láser como arma factible pero no operativa entonces, para desembocar en la actual concepción multisistema tanto en la detección (satélites, radares terrestres fijos, radares terrestres móviles, *AEgis* naval, *sea-based X-band*



Sección delantera modificada del Boeing 747-400F

<sup>50</sup> Algunas fotos están disponibles en <http://oko-planet.su/politik/politikarm/11931-a-60-lazernyj-mech-sssr-ili-za-30-let-do.html>, fecha de la consulta 3.DIC.11.

<sup>51</sup> Ver *Defense Sector Warns of Chinese Laser Cannon Threat*, Taipei Times (22.DIC.03), disponible en <http://www.taipetimes.com/News/taiwan/archives/2003/12/22/2003084494>, fecha de la consulta 3.DIC.11.

<sup>52</sup> Ver *Advanced Tactical Laser Aircraft Fires High-Power Laser in Flight*, USAF (19.JUN.09), disponible en <http://www.af.mil/news/story.asp?id=123154924>, fecha de la consulta 2.DIC.11.

<sup>53</sup> Es decir, 23 veces la velocidad del sonido en el aire (aproximadamente 24.100 km/h ó 7 km/s).

<sup>54</sup> Un máximo de 11 km/s.

radar, YAL-1 aéreo) como en el ataque (misil inercial aire-aire, misil inercial buque-aire, misil con ojiva explosiva tierra-aire, laser aire-aire, laser tierra-aire<sup>55</sup>), como en el mando y control (NMCC<sup>56</sup>, USSTRATCOM<sup>57</sup>, USNORTHCOM<sup>58</sup>, USPACOM<sup>59</sup>, EUCOM<sup>60</sup>, CENTCOM<sup>61</sup> y NORAD).

Se podría considerar que se está produciendo un cambio en la concepción de la estrategia nuclear de los Estados Unidos desde el enfoque de *Destrucción Mutua Asegurada*<sup>62</sup> acuñado por John von Neuman en los años cincuenta, hacia uno que podríamos designar como *Defensa Propia Asegurada*<sup>63</sup>. No en vano el diseño de un sistema antimisil eficaz ha sido valorado tradicionalmente como un posible fallo teórico en la doctrina de *Destrucción Mutua Asegurada*, que presume la existencia de varias restricciones<sup>64</sup>.

Por otra parte hay que considerar el papel emergente de China en el panorama internacional. Las proyecciones existentes<sup>65</sup> consideran que la República Popular China podría llegar a convertirse en primera potencia mundial rápidamente, duplicando el Producto Interior Bruto estadounidense en pocas décadas<sup>66</sup>, lo que haría muy difícil para Estados Unidos afrontar un choque a gran escala de igual a igual.



Pruebas de vuelo del Boeing YAL-1

Las consecuencias prácticas de todo ello exigen replantear la estrategia preliminar de un ataque nuclear al uso, fase durante la que previsiblemente se potenciaría el uso de contramedidas para cegar las defensas del oponente y el ataque convencional sobre los distintos componentes del escudo antimisiles, aumentando así la probabilidad de penetración de los misiles intercontinentales y balísticos<sup>67</sup> armados con ojiva nuclear.

<sup>55</sup> Ver *Laser Weapon Passes Biggest Test* sobre el arma *Nautilus Tactical High Energy Laser*, MSNBC (7.MAY.04), disponible en <http://www.msnbc.msn.com/id/4926840#Ttqh9Ljwb-M>, fecha de la consulta 3.DIC.11.

<sup>56</sup> National Military Command Center.

<sup>57</sup> United States Strategic Command.

<sup>58</sup> US Northern Command.

<sup>59</sup> US Pacific Command.

<sup>60</sup> US European Command.

<sup>61</sup> US Central Command.

<sup>62</sup> MAD en su acrónimo en inglés.

<sup>63</sup> Un enfoque cercano al de fortificación, que contrasta con el paradigma de *Blitzkrieg* imperante desde la II Guerra Mundial. En palabras del Generaloberst Guderian.- *Venta de billetes en la última estación*.

<sup>64</sup> Las restricciones más relevantes del MAD son, *Perfecta detección* (una alarma equivocada puede llevar a una confrontación), *Imposibilidad de camuflar un lanzamiento* (eg con la tecnología *stealth* actualmente disponible se podría dar el primer golpe antes de ser detectado), *Imposibilidad de ocultar un lanzamiento* (por medios distintos a un misil, eg un maletín nuclear), *Atribución perfecta* (hoy en día es posible lanzar un ataque desde la frontera sino-soviética tanto por parte de China como de Rusia), *Imposibilidad de desarrollo de arma nuclear para un estado fuera de la legalidad internacional* (EEUU considera *rogue states* a Corea del Norte, Irán, Siria, Sudán y Cuba), *Moral encaminada a la supervivencia de sus ciudadanos para todos los líderes* (un líder radical podría valorar positivamente un *Armagedon*) y por supuesto *No-Desarrollo de un escudo antimisiles eficaz*.

<sup>65</sup> Algo que toma en consideración la National Security Strategy del Gobierno USA, ver página 8, disponible en [http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/rss\\_viewer/national\\_security\\_strategy.pdf](http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/rss_viewer/national_security_strategy.pdf), fecha de la consulta 3.DIC.11.

<sup>66</sup> Ver *GDP projections from PWC: How China, India & Brazil will overtake the West by 2050*, The Guardian (ENE.11), disponible en <http://www.guardian.co.uk/news/datablog/2011/jan/07/gdp-projections-china-us-uk-brazil>, fecha de la consulta 3.DIC.11.

<sup>67</sup> Presumiblemente lanzados desde submarino.

En definitiva, el YAL-1 es un proyecto inédito que ha logrado el desarrollo de las capacidades del *National Missile Defense* de los Estados Unidos, a un coste que algunas fuentes sitúan en torno a los mil millones de dólares<sup>68</sup> por unidad, materializando la política reciente de EEUU en la materia y dándole mayor versatilidad al escudo antimisiles, que ha pasado a ocupar un papel protagonista en el *Departamento de Defensa* y en la política de Defensa internacional.

*Javier Costell Bergés\**  
*Capitán de Corbeta Ingeniero*  
*Gregorio Álvarez Rubial*  
*Teniente de Intendencia*

---

<sup>68</sup> Tan sólo el Boeing 747-400F nuevo tiene un precio de 333 millones de dólares. Ver *Commercial Airplanes*, Boeing, disponible en <http://www.boeing.com/commercial/prices/>, fecha de la consulta 3.DIC.11.

---

**\*NOTA:** Las ideas contenidas en los *Documentos de Opinión* son de responsabilidad de sus autores, sin que reflejen, necesariamente, el pensamiento del IEEE o del Ministerio de Defensa.