

CENTRO SUPERIOR DE ESTUDIOS DE LA DEFENSA NACIONAL



**CUADERNOS
de
ESTRATEGIA**

44

INSTITUTO ESPAÑOL DE ESTUDIOS ESTRATÉGICOS

Estudios de investigación realizados por
el Seminario de: «El Espacio y la Defensa»

**SISTEMAS OFENSIVOS Y DEFENSIVOS
DEL ESPACIO (II)**

MINISTERIO DE DEFENSA





**CUADERNOS
de
ESTRATEGIA**

44

INSTITUTO ESPAÑOL DE ESTUDIOS ESTRATÉGICOS

Estudios de investigación realizados por
el Seminario de: «El Espacio y la Defensa»

**SISTEMAS OFENSIVOS Y DEFENSIVOS
DEL ESPACIO (II)**

Febrero, 1992



**CATALOGACION DEL CENTRO DE DOCUMENTACION
DEL MINISTERIO DE DEFENSA**

SISTEMAS ofensivos y defensivos del espacio / Instituto Español de Estudios Estratégicos, estudios de investigación realizados por el Seminario de «El Espacio y la Defensa». — [Madrid] : Ministerio de Defensa, Secretaría General Técnica, 1992. — v. 2 ; 24 cm. — (Cuadernos de estrategia ; 44)

Precede al tít.: Centro Superior de Estudios de la Defensa Nacional

NIPO 076-92-035-X. — D.L. M. 11384-1992

ISBN 84-7823-186-2

I. Instituto Español de Estudios Estratégicos. Seminario del Espacio y la Defensa II. Centro Superior de Estudios de la Defensa Nacional (Madrid) III. España. Ministerio de Defensa. Secretaría General Técnica, ed. IV. Serie

REGISTRO	9054
SIGNATURA	
ITEM Nº	

Edita: **MINISTERIO DE DEFENSA**
Secretaría General Técnica

NIPO: 076-92-035-X

ISBN: 84-7823-186-2

Depósito Legal: M-11384-1992

IMPRIME: Imprenta Ministerio de Defensa

C E S E D E N

**Instituto Español de Estudios
Estratégicos**

SEMINARIO NÚM. 12: «EL ESPACIO Y LA DEFENSA»

SISTEMAS OFENSIVOS Y DEFENSIVOS DEL ESPACIO (II)

ÍNDICE

	<u>Página</u>
PREÁMBULO	9
<i>Por Barsen García-López Rengel</i>	
<i>Capítulo I</i>	
VIGILANCIA DEL ESPACIO. DETECCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE SATÉLITES	19
<i>Por Manuel Bautista Aranda</i>	
Introducción	21
Detección de satélites militares	22
Localización y seguimiento de satélites no activos	25
Detección de otros objetos en órbita	27
Predicción de reentradas	30
La vigilancia espacial en los Estados Unidos	32
Funcionamiento del Centro de Vigilancia Espacial (SSC) de los Estados Unidos	36
Consideraciones finales	38
<i>Capítulo II</i>	
PERTURBACIÓN DE SATÉLITES DE COMUNICACIONES	41
<i>Por Luis Izquierdo Echevarría y Fernando Davara Rodríguez</i>	
Introducción	43
Arquitectura del sistema: segmentos espacial y terreno	45

	<u>Página</u>
Órbitas y frecuencias	46
Tipos de perturbación posible	48
Puntos vulnerables en un sistema de comunicaciones vía satélite	49
Acciones de protección	53
 <i>Capítulo III</i>	
ACCIONES DE RECONOCIMIENTO ELECTRÓNICO POR SATÉLITE	55
<i>Por Fernando Davara Rodríguez y Luis Izquierdo Echevarría</i>	
Introducción	57
Perspectiva general del reconocimiento electrónico	58
Bandas de frecuencia a reconocer	59
Satélites ELINT	61
Sistemas de reconocimiento electrónico por satélite	66
Conclusiones	69
 <i>Capítulo IV</i>	
SISTEMAS ANTISATÉLITES. ARMAS	71
<i>Por Ramón Blanco Rodríguez</i>	
Introducción	73
Programa SDI	74
Armas de energía cinética	75
Armas de energía dirigida	77
Armas antisatélites USA-ASAT	79
Programas ASAT en la Unión Soviética	79
Desarrollo de un arma de rayos	80
 COMPOSICIÓN DEL SEMINARIO	 83

PREÁMBULO

PREÁMBULO

Por BARSEN GARCÍA-LÓPEZ RENGEL

Continúa este Grupo de Trabajo investigando los Sistemas ofensivos y defensivos en el Espacio, en una segunda recopilación en la que se añaden nuevos aspectos del tema ya tratado en la primera parte que se dedicó al estudio de: satélites detectores de lanzamientos de misiles, aplicaciones militares de los ingenieros espaciales, los satélites geodésicos, de teledetección, meteorológicos y el empleo de los satélites en el seguimiento de los tratados internacionales.

No se pretende con este segundo trabajo terminar con todos los aspectos defensivos y ofensivos en el Espacio, tan sólo se intenta hacer un esfuerzo para reseñar y describir los sistemas que se piensa son los más importantes dentro de los que aún no se han tratado.

Con el título de «Vigilancia del Espacio», se intenta profundizar en la detección y localización de los satélites, primera faceta ésta de la localización y detección a considerar en cualquier aspecto de la batalla, ya sea ésta en tierra, en el mar, en el aire, o como en este caso en el Espacio exterior. Si no existe un conocimiento de la presencia del adversario, si no se localiza exactamente su posición, se estudian sus efectivos al completo y sus movimientos futuros, no es posible conseguir su neutralización o destrucción.

La importancia de esta detección y la localización de los objetos en el Espacio es vital, aunque no parece tan fácil el conseguirlo. Resulta efectivamente complicado conocer cada uno de los supuestos 35.000

objetos circulando en órbitas diferentes y con tamaños superiores a los diez centímetros, ya que los de menor tamaño ya se consideran como no catalogables por su difícil observación a tan grandes distancias, pero se hace aún más complicado cuando se conoce por ejemplo que entre los años 1964 y 1986, a causa de la destrucción de 34 satélites, se aumentó el número de fragmentos «visibles» hasta un total de 2.094.

¿Cómo saber entre tanta «basura» espacial cuáles son los objetos activos con capacidad operativa que pueden representar un peligro actual o potencial, y cuáles forman parte únicamente de esa «basura»?

Pero aún hay más, cuando ya se ha localizado uno de estos objetos, hay que conocer cuál es su misión y cuál es su situación exacta por su posición en la órbita terrestre en la que está circulando. Unas órbitas que en general abarcan desde la geoestacionaria con alturas próximas a los 36.000 km o la excéntrica con un apogeo de 40.000 km y perigeo próximo a los 180 km.

Y para complicar aún más las cosas, también resulta harto difícil saber cuál es la misión que tiene encomendada este satélite, teniendo en cuenta que en muchas ocasiones el número de sensores que porta es múltiple o que incluso existen satélites de uso civil que llevan a bordo «polizones» con equipos o sensores para uso militar.

Este primer capítulo da una detallada explicación de los sistemas empleados para detectar los satélites militares, motivo fundamental de este trabajo, ya que estos satélites llamados no cooperativos, son los que presentan esa mayor dificultad de identificación, el caso contrario es el de los satélites de uso científico de carácter civil, que generalmente están clasificados internacionalmente y figuran en los catálogos y que hasta a veces transmiten señales radioeléctricas que permiten su identificación. Esa dificultad de localización viene en parte resuelta por los sistemas basados en tierra, que son capaces de determinar algunos de los datos que los pueden caracterizar, como son: el apogeo y perigeo de su órbita, la inclinación con respecto al Ecuador de esta órbita, la frecuencia de paso, las señales que transmite, maniobras que realiza, su volumen y movimientos de giro, su tiempo de permanencia, su vida útil, etc. Muchos de estos datos son posteriormente publicados en anuarios como el que publica el RAE (Royal Aircraft Establishment) de Londres, que inició su trabajo en el año 1957 y se relacionan todos aquellos satélites lanzados y localizados hasta la fecha.

Con el estudio de estos datos y con la comparación de lo ya conocido, se llega a determinar, con bastante aproximación, de qué tipo de satélite se trata.

Pero también es importante no sólo el conocimiento de cuál es la misión o función que realizan los satélites activos, lo es, además, la existencia de aquellos que cumplieron ya su misión y que por agotamiento de sus sistemas energéticos, han cesado en la emisión de información y quedaron «aparcados» en órbitas en las que en algunos casos pueden permanecer durante largos períodos de tiempo que a veces llegan a miles de años.

Estos satélites inactivos pueden representar un peligro potencial para nuevos lanzamientos, caso que se puede dar en aquellas órbitas como es la geostacionaria que se puede considerar como la más «poblada» de la actualidad.

Recientemente (noviembre 1991) con ocasión de la puesta en órbita de un satélite de la serie DSP de Estados Unidos, por el transbordador Atlantis, se presentó una situación de peligro de colisión con un objeto en órbita, por lo que fue necesario llevar a cabo una acción evasiva, aún cuando no existía peligro de choque directo, pero sí de la aproximación a una determinada distancia que se considera como de riesgo posible de choque, de acuerdo a las normas establecidas por los estadounidenses.

Son también peligrosos los objetos de menores dimensiones incluso que los catalogados, como ya se ha observado por daños causados en vehículos espaciales, a veces por restos de pintura de algún vehículo anteriormente lanzado.

Y aún más, hay que pensar en cuándo y cómo regresarán esos objetos espaciales a la Tierra, no sólo prevenir el lugar de caída y los riesgos que ésta pueda representar, sino también la posibilidad de que esta reentrada pueda confundirse con el lanzamiento de algún misil intercontinental activo en su fase de ataque, y dar lugar a situaciones de alerta internacional hasta detectar qué clase de objeto es el lanzado o si es efectivamente la caída de un objeto espacial.

Otro apartado importante es cómo están establecidos los centros de vigilancia espacial, y es por esto por lo que se estudia en el trabajo el caso de los centros de Estados Unidos con sus distintos sistemas como el NAVSAPUR o el GEODSS, y las cadenas encargadas de facilitar información sobre los satélites, como la cadena BMEWES, o los PHASED-ARRAY RADARS, o incluso los satélites de detección de lanzamiento de misiles DSP.

Se completa el capítulo con una información no clasificada sobre el funcionamiento del Centro de Vigilancia Espacial (SSC) de los Estados Unidos.

En el segundo capítulo, se contempla cómo se puede lograr la perturbación de los satélites de comunicaciones. La introducción sirve para valorar los factores o criterios que deben reunir los satélites de comunicaciones militares, como pueden ser: la fiabilidad, la rapidez, la interoperabilidad, la seguridad o la supervivencia de sus comunicaciones.

Pero las comunicaciones por satélites no son sólo los mismos satélites con sus equipos receptores o transmisores; para la operatividad del sistema se necesita de dos segmentos fundamentales: el segmento espacial y el basado en tierra.

Las comunicaciones militares cada día dependen más de los satélites, la facilidad que supone el poder establecer comunicaciones entre lugares alejados entre sí por grandes distancias y de una forma directa, sin intermediarios que puedan dificultar o retardar estas comunicaciones, o el poder llevar directamente las órdenes hasta la escala más inferior de las unidades, que puede ser hasta el propio soldado, en el campo de batalla, proporcionan a los satélites con sus transmisiones, unas ventajas que por este mismo hecho de su importancia y valor militar se hacen un objetivo prioritario a neutralizar o destruir, para que no pueda ser utilizado por el adversario con ventaja para sus comunicaciones, para ello se busca el modo de perturbar estos enlaces.

Para encontrar el camino que permita estas perturbaciones de las comunicaciones, hay que buscar primero las vulnerabilidades del sistema y luego la forma de atacarlo.

Como un primer paso para ello se establecen los requisitos que requieren para un mejor funcionamiento las comunicaciones militares, entre los que destacan bajo este objetivo: la seguridad y la supervivencia, por considerarse que son los ideales para cualquiera que trate de interferir las comunicaciones de carácter fundamental como puedan ser las de enlace entre los centros de control y las unidades operativas.

Los dos elementos fundamentales en los que se asienta un sistema de comunicaciones por satélite tienen cada uno sus propias vulnerabilidades, el satélite con sus sistemas propios, y los equipos terrestres con los suyos, cada uno de ellos se analizan de una forma sistemática.

Además de estos dos segmentos: espacial y terrestre, hay que tener en cuenta también que es importante el conocimiento de las órbitas a emplear y la posibilidad de perturbarlas, para esto se analizan las distintas posibilidades soviéticas y americanas y un análisis de las frecuencias empleadas en función de estas órbitas.

Se estudian posteriormente los diversos tipos de perturbaciones capaces de interferir las comunicaciones, distinguiéndose entre las que pueden llamarse de origen natural y las provocadas artificialmente.

Una vez establecida esta clasificación, se busca el punto más vulnerable en un sistema de comunicación vía satélite, con las posibles acciones que se pueden emprender sobre el satélite y sus equipos, sobre los equipos de tierra y sus enlaces con los centros de control o sobre los enlaces tierra-satélite, con el empleo de diversos medios para conseguir el objetivo de neutralización o destrucción. Destacan como los más empleados capaces de oponerse a los sistemas del segmento espacial; los que en general se aplican en el Programa SDI americano, y como ataque al segmento terrestre la mayoría son los mismos empleados en las acciones que se pueden llevar a efecto en las actuaciones contra los sistemas clásicos de comunicaciones terrestres. Se hace un estudio detallado de todas y cada una de estas acciones, para posteriormente analizar las acciones posibles contra los enlaces entre los dos segmentos; satélite-tierra o tierra-satélite.

Por último, se estudian los sistemas de contramedidas o de protección contra las perturbaciones o los sistemas de protección contra cualquier ataque.

Una de las consecuencias más claras que se pueden sacar de la guerra del Golfo es la de la importancia que tiene el conocimiento previo del despliegue electrónico de un potencial adversario, antes de iniciarse una acción de combate, y cómo ese conocimiento puede obtenerse por medio de los satélites de detección electrónica.

En el tercer capítulo se hace una exposición de cuáles son esas posibilidades en la actualidad para las naciones como Estados Unidos y Unión Soviética que cuentan con los medios aptos para conseguir ese reconocimiento electrónico por medio de satélites y todas las restantes facetas de la Guerra Electrónica (EW).

Para mejor enfocar el tema, se hace un recorrido sobre lo que es y lo que significa la EW capaz de: «Neutralizar los sistemas de mando y control del adversario y asegurar el mantenimiento de la capacidad operativa de los propios».

Con el análisis de los distintos grupos que engloba la EW, se llega casi como conclusión a determinar qué función es la más importante que pueden cumplir los satélites que es la de lograr la inteligencia de señales con: la obtención, evaluación, análisis, interpretación y valoración de las informaciones

radiadas COMINT, o las emitidas ELINT, transformadas en inteligencia para el usuario; y como entre estas dos COMINT y ELINT, donde mayor importancia están alcanzando los satélites es en la segunda, en ELINT.

Y es en este grupo de información obtenida y transformada para inteligencia, donde los satélites ELINT se emplean para conseguir la información de radares, tanto de defensa aérea como de las armas misilísticas, bombas guiadas electrónicamente o localización de morteros entre otros, dentro de una determinada gama de frecuencias que están tabuladas en el trabajo.

Existen problemas o limitaciones como la captación de estas ondas electromagnéticas, debido a diversas causas capaces de facilitar o dificultar el empleo de los satélites para esa misión, entre las que se encuentran las naturales o atmosféricas, en las que influye fundamentalmente la longitud de onda de la emisión en su propagación, más o menos fácil, que reduce bastante el espectro teórico de las diferentes fuentes de radiación.

Al estudiar los satélites ELINT en sus dos aspectos, satélite y centros en tierra, se detalla el proceso normal de funcionamiento, con la detección del emisor de señales, su localización y el proceso de esta información o el envío directo al centro de recepción para su posterior análisis en este centro, se explica la secuencia normal de este proceso.

Como en los demás casos en que se habla de los satélites en sus distintas modalidades de empleo, también en el caso de los de reconocimiento electrónico influye de una forma especial el tipo de órbita empleada, con las ventajas, por ejemplo, de mayor precisión y facilidad en las órbitas bajas —600 a 1.000 km— o la de una mayor permanencia en tiempo de las altas, como en el caso de la órbita geosincrónica —46.000 km aproximadamente—, o la solución intermedia como el caso de la conocida como órbita MOLNIYA con grandes diferencias entre perigeo y apogeo.

Y también, como ocurre en el estudio de las órbitas, el tipo de sensores empleados es un capítulo fundamental para realizar las misiones que le encomiendan a los satélites ELINT.

Estas misiones están encaminadas a la detección de emisiones electromagnéticas, principalmente de radar, o también para reconocer la situación y despliegue de unidades navales.

Como ocurre en la EW con medios no situados en el Espacio; también en el reconocimiento electrónico desde satélites es difícil obtener información de cuáles son los medios que se emplean por parte de las naciones

poseedoras de estos satélites o de la forma como los emplean, y se hace aún más difícil si se tiene en cuenta que los propietarios de estos satélites puede decirse que está reducido a los utilizados por las dos grandes potencias.

Entre los datos que se han podido obtener por medios no confidenciales o de libre difusión, se hace una relación de lo que se presume pueden ser los medios existentes y su forma de utilización, para Estados Unidos y los de la Unión Soviética, con mención de las posibilidades de otras naciones.

La importancia del reconocimiento electrónico desde satélites y el empleo de la EW, en todas sus modalidades, puede convertirse o puede decirse que se ha convertido ya, en una de las facetas más importantes de la guerra en el futuro y presente, donde ya no se puede pensar en prescindir del conocimiento de los sistemas electrónicos del adversario, con la obtención de «firmas» de frecuencias, antes del inicio de las hostilidades, de forma que al iniciarse éstas se pueda intentar neutralizar los sistemas defensivos electrónicos, de guiado de armas o los de decepción o confusión, con los sistemas adecuados de contramedidas electrónicas.

En el cuarto capítulo, el tema tratado, dentro de los «Sistemas ofensivos y defensivos en el Espacio», es el de las armas.

Aunque la opinión más generalizada es la de que el Espacio ha de quedar libre de armas de destrucción situadas en órbita y, en general, la de no utilización de este Espacio con fines militares, la realidad es que no parece posible pensar que en un caso de confrontación bélica a nivel de grandes potencias no se utilice este Espacio exterior como camino para las armas con cargas mortíferas o con otros medios que puedan influir directamente en el desarrollo de los combates de superficie, o de su proximidades atmosféricas, ya de hecho, las diversas formas de utilización de los satélites actualmente en órbita contribuyen de una forma eficaz con su empleo como medios de apoyo al combate.

Es por tanto razonable que se estudie e incluso se experimente con sistemas capaces de atacar a estos satélites ya estacionados en órbita que realmente sí cumplen funciones militares.

Un ejemplo de esto puede ser el estudio y experimentación, en algunos casos en estado operativo, del Programa SDI americano o su similar soviético. Con sus cuatro categorías principales de sistemas tecnológicos como son; las armas de energía cinética, de energía dirigida, sistemas de vigilancia y adquisición de blancos, sistemas de control de batallas o sistemas de apoyo.

Estos sistemas de armas o de medios tecnológicos se analizan sistemáticamente como los cañones electromagnéticos de carril, los misiles hipersónicos o el interceptor HOE de combustión química pertenecientes al grupo de energía cinética, o las armas de energía dirigida como los láser químicos, los de electrones libres, o los haces de partículas.

También hay un espacio dedicado a las no menos importantes armas antisatélite, que en general son más eficaces contra los satélites en órbitas bajas, como son los sistemas ASAT, entre los que se mencionan el misil ALMV americano, lanzado desde un avión F-15, o el misil soviético o la plataforma en órbita, capaz de hacer explotar una carga en la proximidad del satélite que se trata de neutralizar. Se mencionan otras de estas armas de las más importantes entre las que existen en poder de soviéticos o americanos.

Y por último también, dentro de los sistemas de armas antisatélites, el uso de las armas de haces de partículas y de rayos láser de alta energía, tanto de los soviéticos como de los americanos como en el de todas las armas antisatélite en general.

EL PRESIDENTE DEL SEMINARIO

CAPÍTULO PRIMERO

VIGILANCIA DEL ESPACIO. DETECCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE SATÉLITES

VIGILANCIA DEL ESPACIO. DETECCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE SATÉLITES

Por MANUEL BAUTISTA ARANDA

Introducción

Poco después de que la Unión Soviética pusiera en órbita sus primeros satélites, se empezó a trabajar en los Estados Unidos para crear un sistema de vigilancia espacial, que fuera capaz de detectar la presencia en el Espacio de cualquier nuevo satélite y permitiera conocer su órbita, para así poder calcular su posición en el Espacio en todo momento.

El sistema inicial que se creó ha sufrido numerosas modificaciones, adiciones y reestructuraciones en el transcurso de los años, hasta llegar al sistema actual, con estaciones situadas en los más remotos puntos del Planeta. La complejidad y el elevado costo del sistema, que describiremos más adelante, es la mejor prueba de la gran importancia que conceden los Estados Unidos a la vigilancia del Espacio.

Evidentemente, el sistema se ha establecido pensando en la detección de satélites del tipo que pudiéramos llamar «no cooperativos»; es decir, que no van a dar ninguna facilidad especial para su detección y localización. Este no es el caso de muchos satélites científicos y comerciales, en particular los puestos en órbita por Estados Unidos, Europa y Japón, que llevan a bordo equipos transmisores especialmente proyectados para facilitar su seguimiento y determinar su posición en el Espacio. Además, es normal en estos casos que el propio país que ha puesto en órbita el satélite, facilite una amplia información sobre dicho satélite, su órbita, su misión y otra multitud de detalles. La vigilancia del Espacio tiene interés por varias razones y vamos a citar algunas de ellas.

En las Fuerzas Armadas de las principales potencias cada vez se concede mayor importancia a los sistemas espaciales (reconocimiento, comunicaciones, navegación, meteorología,...) y cada vez se apoyan más en estos sistemas. Por ello, es normal que cada potencia considere como algo fundamental tener una información lo más completa posible sobre lo que se hace en el Espacio, los nuevos satélites que se lanzan, las posibilidades que tienen, las misiones que desarrollan, en qué medida pueden constituir una amenaza para los satélites propios. Y, a su vez, si hubiera que interferir o neutralizar a satélites enemigos, lo primero que se necesitaría, es saber dónde están en cada momento.

Por otro lado, el Espacio que rodea a la Tierra se está poblando cada vez con mayor número de satélites. Y con restos de cohetes lanzadores y con fragmentos producidos en explosiones de satélites y de cohetes, que en sentido estricto también son satélites, aunque en este trabajo sólo usemos la palabra satélite para referirnos a la carga útil de cada lanzamiento. Ante esta creciente población de objetos en órbita, el peligro de colisiones empieza a ser grave. El conocer la posición en cada momento de los miles de cuerpos que se mueven en las más variadas órbitas y la probabilidad de impacto, es una información muy importante ante una nueva misión. De hecho, antes y durante el vuelo de cada *Space Shuttle* se pone en marcha un programa de ordenador para predecir los objetos catalogados (mayores de unos 10 cm) que van a pasar cerca. Y, si existiera algún riesgo de colisión, poder hacer alguna maniobra evasiva.

Y en tercer lugar, el seguimiento de cuerpos en órbita permite predecir su caída a la superficie terrestre con varios meses de anticipación. La mayor parte de los objetos que retornan, especialmente si sus dimensiones son pequeñas, se fragmentan y volatilizan al penetrar en las capas densas de la atmósfera. Pero si son grandes, pueden crear una verdadera lluvia de fragmentos metálicos de muy diversos tamaños. Al conocer y seguir día a día la órbita de cada objeto en el Espacio, puede verse cómo va perdiendo altura con el tiempo, a consecuencia de una serie de fuerzas perturbadoras naturales, especialmente por el frenado producido en las altas capas de la atmósfera. Y es posible predecir, aunque todavía con poca exactitud, la fecha y la zona en que caerá. Veamos con más detalle los puntos que acabamos de enunciar.

Detección de satélites militares

Con los medios en la actualidad en servicio, fundamentalmente radares y sistemas ópticos, es posible detectar cualquier objeto en órbita terrestre de

dimensiones superiores a 10 cm hasta varios miles de kilómetros de altura. La altura exacta depende del tamaño del objeto, de su forma y de su reflectividad a la luz solar y a las ondas del radar.

No caben lanzamientos secretos. Y de hecho, hace ya bastantes años que la Unión Soviética informa de todos sus lanzamientos, incluso de los militares, si bien en estos últimos no especifica su misión.

La información que puede obtenerse observando desde tierra un satélite, es bastante mayor de lo que a primera vista pudiera parecer. Sin ánimo de que sea completa, vamos a dar una lista de los principales datos que pueden medirse, o deducirse fácilmente de las medidas:

- Altura del perigeo, es decir, la altura del satélite sobre la superficie terrestre en el punto más bajo de su órbita. Es un dato de gran importancia, que puede dar una primera idea de la misión del satélite. Por ejemplo, si un satélite tiene un perigeo bajo, digamos inferior a unos 250 km, ya se sabe que su permanencia en el Espacio será relativamente corta debido al frenado atmosférico. Y, si a pesar de ello, se ha optado por este bajo perigeo, hay que suponer que la misión del satélite así lo ha exigido. Y sólo con este dato podemos pensar que se trata muy probablemente de un satélite de reconocimiento fotográfico de alta resolución.
- Altura del apogeo, o altura del satélite en el punto más alto de su órbita. Este dato, junto con la altura del perigeo, determinan el período, es decir, el tiempo que tarda el satélite en dar una vuelta completa a la Tierra.
- Inclinação de la órbita, o ángulo diedro que forma el plano de la órbita con el plano del Ecuador. De esta inclinación depende la porción de la superficie terrestre que puede ser sobrevolada por el satélite. Si su inclinación, es, por ejemplo, de 50°, sólo podrá sobrevolar los puntos comprendidos entre los 50° latitud Norte y los 50° latitud Sur.
- Argumento del perigeo. Indica la zona de la superficie terrestre que sobrevuela el satélite cuando pasa por su perigeo. En el reciente conflicto del golfo Pérsico se ajustó la órbita de los diversos satélites de reconocimiento, de forma que su perigeo coincidiera con su paso sobre esta zona.
- Tiempo de paso y posición del nodo ascendente. Señalan el momento y el punto en que el satélite cruza el plano del Ecuador moviéndose de Sur a Norte. Este dato es importante para saber la hora exacta en que el satélite va a sobrevolar las distintas zonas de la superficie terrestre.
- Señales radio que transmite. Aunque estén codificadas y no se puedan entender los mensajes, sí se puede obtener información sobre las frecuencias que utiliza, tipo de modulación, anchura de banda, número

de canales, ritmo y duración de las transmisiones, cuando cesan estas transmisiones, etc.

- Maniobras del satélite, se detectan por los cambios de órbita que suponen. Dan bastante información sobre la misión del satélite. Las maniobras más corrientes son las destinadas a mantener la órbita original, corrigiendo las perturbaciones que sufre por causas naturales. Pero hay maniobras de todo tipo. Por ejemplo, en los satélites RORSAT soviéticos, destinados a la vigilancia de los océanos por medio de radar, es normal que al terminar su vida útil se desprenda la fuente de alimentación de energía eléctrica, que es un reactor nuclear, y se realice con él un fuerte cambio de órbita, pasando de unos 260 km de altura a unos 1.000 km para retrasar en unos 600 años su caída a la tierra y eliminar el peligro de contaminación radioactiva.
- Volumen, forma y movimientos en torno a su centro de gravedad. De todo ello se consigue información a través de la «firma» radar del satélite, datos fotométricos en luz visible, radiometría infrarroja e imagen fotográfica. En repetidos casos se ha podido descubrir que se había perdido el control de un satélite por la simple observación de su movimiento alrededor de su centro de gravedad.
- Tiempo de permanencia en órbita y si el retorno a tierra se hace de forma controlada, con recuperación del satélite, o si por el contrario, es una reentrada incontrolada con destrucción del mismo.
- Si durante su vida útil desprende subsatélites (como ha ocurrido con los norteamericanos del tipo *White Cloud*), o cápsulas que retornan a tierra de forma controlada (como vienen haciendo los satélites soviéticos de reconocimiento fotográfico de la llamada cuarta generación).

Del análisis cuidadoso de los datos que acabamos de citar casi siempre se acaba deduciendo la misión de cada satélite militar. Hay sin embargo casos de duda. Por ejemplo, cuando se trata de un satélite de tipo experimental, que se sitúa en una órbita que pudiéramos llamar extraña. O cuando se presenta alguna anomalía durante la fase de lanzamiento y el satélite queda en una órbita fuera de lo corriente.

Por el contrario, hay un hecho que permite en muchos casos conocer rápidamente la misión de un nuevo satélite. Me refiero a que bastantes satélites militares forma parte de redes o constelaciones con una misión común. Y en estos casos bastan muy pocos datos —con frecuencia sólo la altura del perigeo, la del apogeo y la inclinación de la órbita— para saber a qué red pertenecen. Veamos algunos ejemplos de satélites soviéticos:

- Si se detecta un satélite en órbita circular a 19.000 km de altura y 65° de inclinación, puede asegurarse sólo con estos datos que se trata de un

satélite de navegación de la red GLONASS. Evidentemente, los demás datos que se obtengan deben confirmar esta primera identificación.

- Si por el contrario; la altura del perigeo es de 600 km, la del apogeo 40.000 km, la inclinación de su órbita 63° y el apogeo está situado sobre el Atlántico norte, podemos decir que se trata de un satélite de la red usada para la detección de lanzamiento de misiles.
- Si el perigeo es de 355 km, el apogeo de 415 km, y la inclinación de la órbita de $72,8^\circ$ es, con toda probabilidad, un satélite de reconocimiento fotográfico de la llamada tercera generación y resolución media.

Y para terminar con esta lista de ejemplos, que pudiera ser larga, si el satélite detectado tiene un perigeo de 635 km, un apogeo de 665 km, y una inclinación de la órbita de $82,5^\circ$ es con toda probabilidad uno de los usados para inteligencia electrónica (ELINT).

Si además de conocer la misión de un satélite militar se desea poder perturbarlo, neutralizarlo e incluso destruirlo, es necesario poder calcular y predecir su posición en el Espacio en cada instante. Por ejemplo, si se desea coger a un satélite de reconocimiento fotográfico con un haz de rayos láser, hay que dirigir el haz directamente al satélite y mantenerlo correctamente apuntado mientras sobrevuele el área que queremos proteger. Pero si pensamos en lo fino del haz y que el satélite se desplaza a unos 27.000 km/h, se comprende fácilmente con cuanta precisión debe conocerse la órbita.

La falta de este conocimiento fue posiblemente la causa principal de que en la reciente guerra del Golfo, no intentasen los iraquíes perturbar el funcionamiento de ciertos satélites norteamericanos, principalmente los de reconocimiento y los que detectaban los lanzamientos de los misiles *Skud*.

Localización y seguimiento de satélites no activos

Mientras un satélite —civil o militar— funciona correctamente, el país o la organización internacional a que pertenece lleva un control sobre él, con ayuda de una serie de estaciones de seguimiento, adecuadamente situadas en la superficie terrestre. En todo momento conoce su órbita y sabe en qué punto del Espacio se encuentra.

Pero cuando el satélite deja de funcionar, cuando se pierden las comunicaciones con él, ya no puede saber cómo va evolucionando su órbita, salvo que disponga de algún sistema de vigilancia espacial, como el que más adelante describimos.

La órbita de un satélite no permanece constante en el Espacio. Sobre él actúan una serie de fuerzas perturbadoras que la van modificando. Entre estas fuerzas podemos citar la atracción del Sol y de la Luna, las debidas a las irregularidades en el campo gravitatorio terrestre, a la presión de la radiación solar, al frenado producido en las altas capas de la atmósfera, a los efectos del campo magnético terrestre, etc. Algunas de estas fuerzas son bien conocidas y puede calcularse con bastante exactitud el efecto que van a tener sobre la órbita de cualquier satélite. Pero otras, especialmente las que están ligadas a la actividad del Sol, como es el valor de la densidad de la atmósfera en sus altas capas, son poco predecibles y, consecuentemente, tampoco se puede predecir la magnitud de las perturbaciones que van a producir.

Resultado de ello es que en los satélites no activos, o se miden y actualizan los parámetros que definen su órbita por medios especiales, o la información disponible sobre ella será cada vez menos precisa. Y al cabo de algunos meses o años puede llegarse a no saber donde está el satélite.

La perspectiva de tener satélites incontrolados en el Espacio es poco satisfactoria, entre otras cosas por el peligro de posibles colisiones. Cierto que, de momento, el peligro de colisión entre dos satélites es bastante remoto, excepto en órbitas especiales, en que la concentración de satélites es alta.

El ejemplo más típico es la llamada órbita geoestacionaria, que por sus características especiales es muy adecuada para ciertos tipos de satélites, como son los de comunicaciones (civiles y militares), los detectores de lanzamientos de misiles, los meteorológicos, etc. El nivel de ocupación de la órbita geoestacionaria es ya bastante alto y cuando se programa un nuevo lanzamiento hay que hacer una labor previa de coordinación internacional, para estar seguros de que el punto en que se quiere situar el nuevo satélite está libre y a una distancia segura de los que ya hay allí.

En esta órbita el peligro de colisión con satélites no activos, con satélites que, empleando un término marino, podríamos decir que van a la deriva, no es un peligro teórico, es un peligro real.

A título de ejemplo vamos a citar un caso concreto. En mayo del año 1980 el satélite militar norteamericano IMEWS 4 (detector de lanzamiento de misiles), puesto en órbita siete años antes y ya fuera de control activo, se iba desplazando a la deriva a lo largo de la órbita geoestacionaria y se estaba acercando peligrosamente a otro satélite militar norteamericano, el FLTSATCOM 1 de comunicaciones. Habida cuenta el posible margen de

error de las medidas efectuadas desde tierra, no se descartaba una colisión entre ambos, por lo que unos días antes de que el IMEWS 4 llegase a la altura del FLTSATCOM 1, se le ordenó a éste una maniobra evasiva como medida de precaución.

Para reducir los riesgos de colisión en esta órbita geoestacionaria, se ha adoptado la norma de que, poco antes de que se agoten las reservas de combustibles a bordo de cada satélite allí situado y se pierda con ello la posibilidad de tener un control activo sobre él, realizar una última maniobra destinada a sacar al satélite de esta órbita y a situarlo en otra cualquier más alta y mucho menos poblada.

Detección de otros objetos en órbita

El peligro de colisión con otro satélite es en general muy remoto, salvo como acabamos de indicar, en alguna órbita especial. El verdadero peligro se debe a otra gran cantidad de objetos de los más diversos tamaños, que giran de forma incontrolada alrededor de la Tierra y cuyo número va creciendo inexorablemente de año en año.

Estos objetos tienen básicamente cuatro procedencias que son:

- a) Objetos que quedan normalmente en el Espacio cuando se pone en órbita un satélite. Tales son por ejemplo, el último cuerpo del cohete lanzador, la caperuza que cubre al satélite y lo protege durante su paso por la atmósfera, las pinzas, bridas y otros elementos que sujetaban a estos componentes, etc.
- b) Objetos procedentes de explosiones accidentales de cohetes lanzadores y de satélites. La explosión puede ocurrir durante la fase de lanzamiento, o a veces, causada bastante tiempo después de su puesta en órbita por el combustible remanente. Se han detectado explosiones en el último escalón de los lanzadores norteamericanos Delta, Titán y Agena. Y también en el año 1986 en el lanzador europeo Ariane. El primer cohete que explotó en órbita fue el usado para el lanzamiento del satélite norteamericano TRANSIT 4A. La explosión tuvo lugar el día 29 de junio del año 1961 y produjo 270 fragmentos destacables, a 900 km de altura. Actualmente, al cabo de 30 años, todavía quedan en órbita más de 150 de estos fragmentos.
- c) Los procedentes de explosiones voluntarias de satélites. En este grupo están los ensayos rusos de satélites antisatélites. El procedimiento que siguen para destruir un satélite calificado como enemigo es lanzar otro, situarlo cerca del primero y hacerlo explotar. Los ensayos de este tipo

se inician en el año 1968 con la explosión del COSMOS 249 (que produjo 71 fragmentos detectables) y pocos días después con la del COSMOS 252 (que produjo otros 77 fragmentos). Los ensayos, con un ritmo muy irregular, siguen hasta el año 1978, en que se inician las negociaciones con los Estados Unidos para limitar este tipo de armas.

Otra razón para provocar explosiones es que en algunos satélites militares —bien porque hayan sufrido alguna avería, o simplemente porque en su diseño no esté prevista esta posibilidad—, no se puede controlar su reentrada y se quiere evitar la posibilidad de que ciertos componentes o equipos secretos puedan llegar a la superficie de la Tierra y caer en manos de alguna potencia enemiga. Entre los años 1964 y 1986 se ha producido la destrucción intencionada por razones de seguridad de 34 satélites, lo que ha generado un total de 2.094 fragmentos detectables. Todas las explosiones, excepto tres, correspondieron a satélites soviéticos, figura 1.

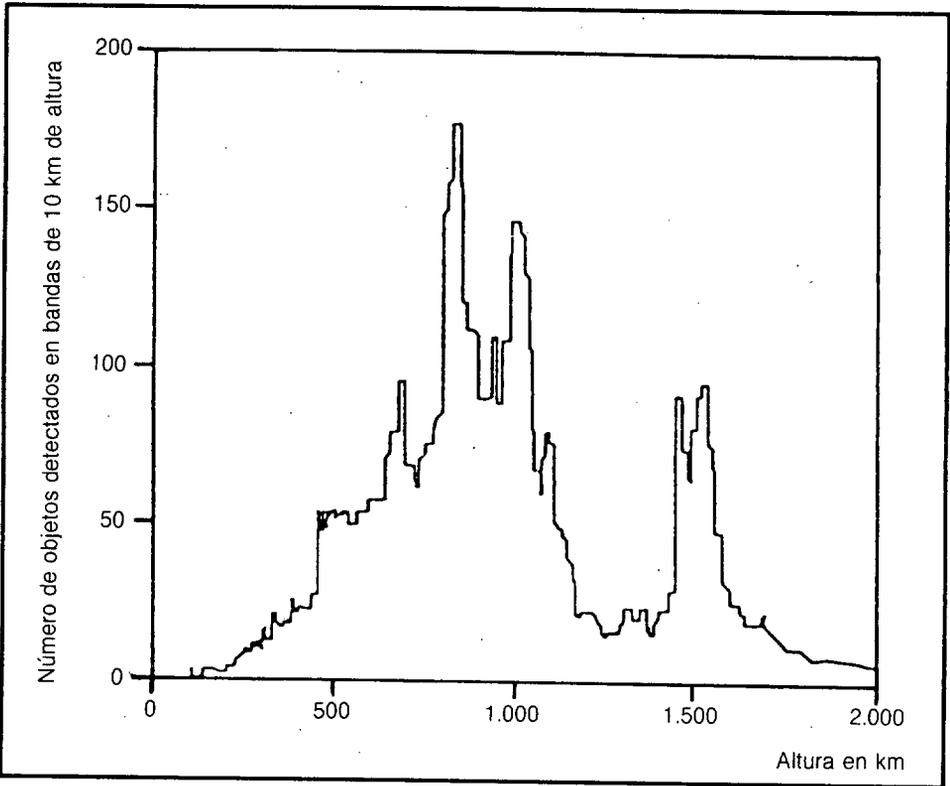


Figura 1.—La «polución espacial» es máxima entre 800 y 1.000 km y también en torno a los 1.500 km.

d) Y la cuarta causa, que se suma a las anteriores para producir más objetos incontrolados, son las propias colisiones entre ellos. Y es incluso posible que sea la peor.

Pero, con independencia de cual sea la causa, el hecho real es que se ha creado una gran población de objetos de una gran variedad de tipos y tamaños, cuyas órbitas invaden en principio todo el espacio en que se mueven los satélites. Y que su número aumenta. Y que su posición en el Espacio no se conoce, salvo aquellos cuyo tamaño es superior a unos 10 cm.

El *Space Surveillance Center*, del que hablaremos más adelante, mantiene en observación y conoce las órbitas de unos 6.000 objetos. Pero teniendo en cuenta las altas velocidades relativas entre cuerpos en órbita, fragmentos muy inferiores a 10 cm no «catalogados» pueden constituir un peligro grave para cualquier satélite. Una partícula de 1 mm a una velocidad relativa de 10 km/s puede perforar el traje de un astronauta. Incluso partículas de tamaño inferior a 1 mm dejan huellas claras en su impacto con satélites. Por ejemplo, en la misión STS-7 del *Space Shuttle* —junio del año 1983— se produjo un pequeño cráter de unos 2,4 mm de diámetro en la cara externa de una de las ventanas de la nave que obligó a cambiarla después del vuelo. Analizado el cráter en tierra se llegó a la conclusión de que el causante había sido un pequeño fleco de pintura de unos 0,2 mm.

Se estima que el número de objetos en órbita con tamaños comprendidos entre 1 cm y 10 cm puede superar los 35.000 y por debajo de 1 mm esta cifra puede ser de muchos millones, figura 2, p. 30.

Existe una seria preocupación por esta creciente polución espacial y por los riesgos que conlleva. Como parte del proyecto actual de montar en órbita una gran estación espacial permanentemente habitada, se han hecho varios estudios sobre la probabilidad de que la estación sufra el impacto de uno de esos objetos y de las consecuencias que podría tener según cual fuese su masa y su velocidad. Y los resultados son ciertamente preocupantes.

A pesar del interés por el tema, no se ha encontrado ningún procedimiento realista y viable par eliminar estos objetos y limpiar el Espacio. Las únicas líneas de actuación por ahora son la de tomar medidas en los nuevos lanzamientos, para minimizar la producción de tales objetos. Y llevar un inventario lo más completo posible de los mismos, que vaya incluyendo objetos cada vez más pequeños, para poder predecir y en lo posible evitar colisiones con satélites activos.

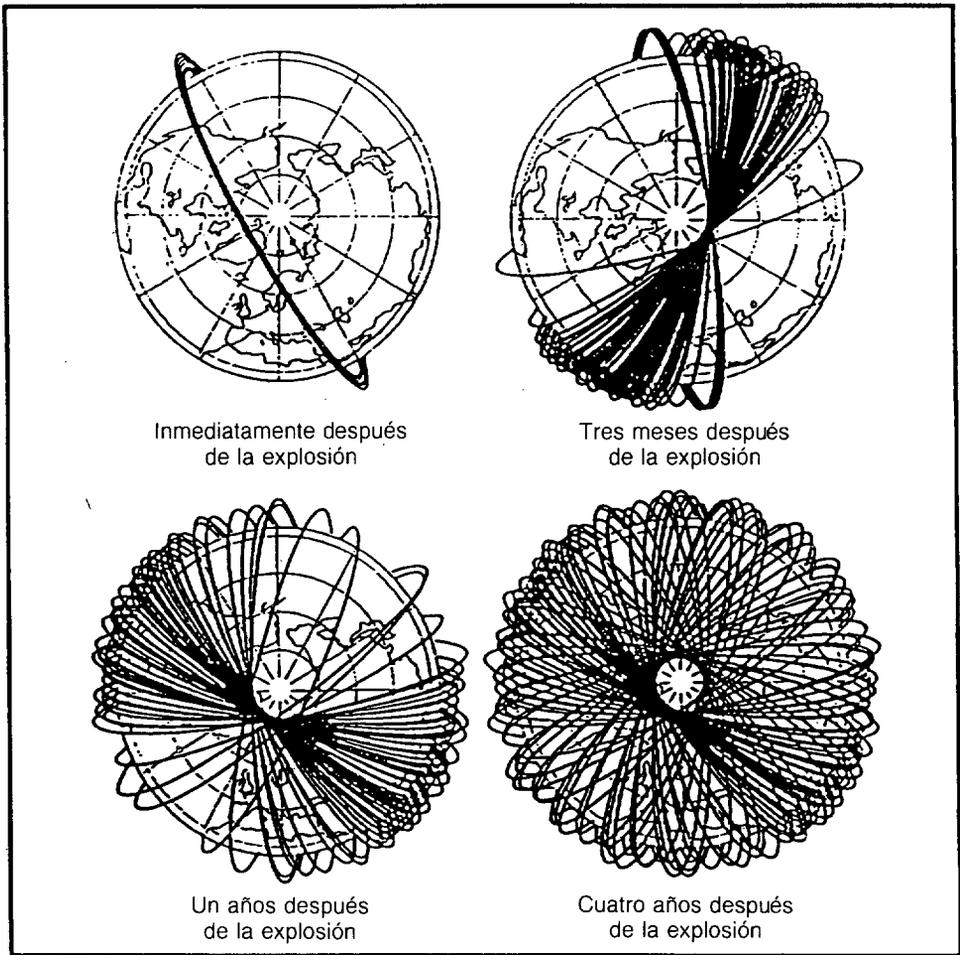


Figura 2.—En el año 1986 explotó un lanzador Ariane y se estima que produjo 2.775 fragmentos cuyas órbitas han ido divergiendo hasta cubrir todo el Globo al cabo de cuatro años, según un estudio de la Universidad de Braunschweig.

Predicción de reentradas

El seguimiento de cuerpos en órbita permite ver cómo va variando la órbita de cada uno en el transcurso del tiempo y, llegado el momento, poder estimar cuándo va a tener lugar la reentrada en la atmósfera y su eventual caída en la superficie terrestre.

Desde un punto de vista militar es importante que la reentrada de un satélite no se confunda con la reentrada de un misil balístico intercontinental, ya que la trayectoria final es parecida en ambos casos. De hecho, los Estados Unidos informan a la Unión Soviética de las reentradas previstas, si existe la posibilidad de que caigan en su territorio, para evitar posibles confusiones.

El tiempo de permanencia en órbita de un satélite, o de un objeto cualquiera, depende de la altura de esta órbita y muy especialmente de la altura de su perigeo. La causa final de su caída es el frenado atmosférico. La densidad de la atmósfera se va reduciendo con la altura de forma paulatina y sin ningún tipo de salto o discontinuidad, hasta alcanzar la densidad existente en el Espacio interplanetario. Y así varía también el frenado que ejerce sobre los cuerpos que en ella se mueven.

Para dar una idea del orden de magnitud, podemos indicar que el tiempo de permanencia en el Espacio de un satélite en órbita circular a 800 km de altura puede ser de unos 100 años. Que si la altura es de 500 km este tiempo se reduce a unos 10 años. Y si está próximo a los 200 km, el tiempo hay que medirlo en meses, semanas o incluso días. Por el contrario, en la órbita geoestacionaria, a 35.800 km de altura, el tiempo es del orden del millón de años.

La fecha aproximada en que un satélite va a reentrar puede estimarse con varios meses de anticipación; pero las predicciones se hacen siempre aceptando un alto margen de error. La mayor o menor densidad en las altas capas de la atmósfera, que influye decisivamente en la fase previa a la reentrada, está muy influenciada a su vez por la actividad del Sol, que no se sabe predecir. Por otro lado, los satélites o fragmentos que retornan suelen tener formas bastante irregulares, con movimientos incontrolados en torno a su centro de gravedad, lo que significa que tampoco se puede estimar con precisión su resistencia aerodinámica y el valor de la fuerza frenante.

Muchos recordarán la reentrada de la nave norteamericana SKYLAB, el 11 de julio del año 1979, tras permanecer seis años en órbita. Su enorme masa de casi 90 tm hacía temer que grandes fragmentos de ella sobreviviesen la reentrada y llegasen a la superficie de la Tierra, con la posibilidad —aunque remota— de que cayesen en alguna zona de alta densidad de población y ocasionasen víctimas. Las predicciones sobre la fecha y lugar de caída eran al principio muy vagas y sólo pocas horas antes se pudieron dar previsiones relativamente precisas. Como se sabe, el SKYLAB se fragmentó en más de 500 piezas, que fueron cayendo en el océano Índico y en el oeste de Australia.

Algo semejante, aunque mucho más reciente, ha sido la reentrada de la nave soviética SALYUT 7/COSMOS 1.686, con una masa de 40 tm, que también se fragmentó al cruzar la atmósfera el 7 de febrero del año 1991 y creó una verdadera lluvia de objetos en Argentina, sin consecuencias graves.

Normalmente la NASA, a través del *Goddard Space Flight Center*, edita el *Spacewarn Bulletin*, una de cuyas secciones está dedicada a la predicción de reentradas durante los dos meses siguientes. Y otra sección indica los objetos que cayeron el mes anterior y la fecha exacta de su caída.

La mayor parte de los objetos que caen no llega a la superficie terrestre, se volatilizan al penetrar en las capas más densas de la atmósfera. Al cabo del año vienen a caer unos 500 objetos de tamaño superior a 10 cm.

Es un proceso natural de limpieza del Espacio, relativamente eficaz para órbitas bajas, pero extremadamente lento para órbitas altas. Se estima que en un período de cinco años podría reducirse a la mitad la «polución» existente hasta una altura de 800 km, si no hubiera nuevas aportaciones en este período.

Y para terminar con el tema de las reentradas, debe advertirse, aunque quizá no sea necesario, que todo lo anterior se refiere a las reentradas que pudiéramos llamar incontroladas. No incluye las recuperaciones controladas de satélites, algunos tripulados y otros no, en que el proceso de reentrada se inicia a voluntad, mediante un motor cohete de frenado y el satélite cae en una zona prefijada.

La vigilancia espacial en los Estados Unidos

En los Estados Unidos la vigilancia del Espacio está centralizada en el SSC (*Space Surveillance Center*), que depende directamente del Mando Espacial de este país, el USSPACECOM (*United States Space Command*). El Centro de Vigilancia Espacial (SSC), está físicamente situado en las profundidades de las montañas Cheyenes, cerca de Colorado Springs, al lado de *Missile Warning Center*, que centraliza la información sobre lanzamiento de misiles, y del *Air Defense Operations Center*, que daría la alarma previa en caso de un ataque aéreo enemigo. Y todo ello en estrecha relación con el NORAD (*North American Aerospace Defense Command*).

Para cumplir su misión, el SSC, dispone de una compleja red, la SSN (*Space Surveillance Network*), con estaciones repartidas por todo el Globo. Para describir esta red vamos a distinguir tres tipos de estaciones:

- a) Estaciones dedicadas, que dependen operativamente del mando espacial de los Estados Unidos y cuya misión principal es la vigilancia del Espacio.
- b) Estaciones colaterales, que también dependen operativamente del mando espacial, pero cuya misión principal no es la vigilancia del Espacio.
- c) Estaciones colaboradoras, que no dependen del mando espacial, pero que colaboran durante parte del tiempo a la vigilancia del Espacio.

Estaciones dedicadas

En este grupo está incluido el sistema NAVSPASUR (*Naval Space Surveillance System*), el GEODSS (*Air Force Ground-based Electro-Optical Deep Space Surveillance System*) y el radar AN/GPS 10 instalado en San Miguel (islas Filipinas).

Dada su gran importancia, vamos a describir con cierto detalle los dos sistemas citados.

SISTEMA NAVSPASUR

El NAVSPASUR depende del *United States Space Command* a través del *Naval Space Command*. Es un sistema de vigilancia espacial por interferometría radar. Consta de tres estaciones transmisoras y seis receptoras, situadas a lo largo de un círculo máximo en el sur de los Estados Unidos (a 33° de latitud) entre el Atlántico y el Pacífico.

Las estaciones transmisoras están situadas en Texas (Lake Kickapoo), Arizona (Gila River) y Alabama (Jordan Lake). Y las seis receptoras están en California (San Diego), Nuevo México (Elephant Butte), Mississippi (Silver Lake), Arkansas (Red River) y dos en Georgia (Fort Stewart y Hawkinsville). El centro de control de la red está en Dahlgren (Virginia).

Los tres transmisores emiten continuamente, creando como una especie de barrera de unos 9.000 km de longitud y unos 25.000 km de altura. Cualquier satélite cuya órbita tenga una inclinación superior a 33°, que es el caso más frecuente, tiene que cruzar esta barrera por lo menos dos veces al día.

Al cruzar la barrera, el satélite queda «iluminado» por las ondas transmitidas desde tierra y refleja una señal, que es captada por una o varias estaciones receptoras del sistema. La dirección de llegada de la señal reflejada se

determina con gran precisión por métodos interferométricos. Y si esta señal reflejada es recibida a la vez en más de una estación receptora, la posición del satélite en ese momento queda fijada con una gran precisión.

Este sistema tiene una gran capacidad para discriminar entre objetos en órbita próximos entre sí, por lo que es la herramienta principal para caracterizar y evaluar explosiones de satélites y cohetes.

SISTEMA GEODSS

El GEODSS constituye la principal fuente de información sobre satélites situados a gran altura, especialmente los situados en órbita geoestacionaria (a 35.800 km de altura) y en órbitas muy excéntricas tipo MOLNIYA (apogeo a unos 40.000 km de altura).

Está formado por una red de observatorios electroópticos, con los cuatro emplazamientos siguientes: Socorro (Nuevo México), Taegu (Corea del Sur), Maui (islas Hawai) e isla de Diego García (océano Índico).

Cada observatorio está equipado con dos telescopios primarios de 1 m de abertura y otro auxiliar de 38 cm de abertura. Los telescopios primarios tienen un campo de visión de 2° y pueden captar objetos hasta una magnitud visual de 15,5°. Ello les permite situar con precisión satélites en órbita geoestacionaria, aunque sus dimensiones sean pequeñas. El telescopio auxiliar tiene un campo de 6° y es adecuado para detectar objetos cuyas órbitas son mal conocidas, por ejemplo, para satélites recién puestos en órbita, o que después de una maniobra han modificado su órbita inicial.

En su forma de actuar, cada observatorio produce una sucesión de imágenes de la zona del cielo que está observando. Estas imágenes se comparan electrónicamente y se detecta cualquier objeto que se mueva sobre el fondo fijo de las estrellas.

Han sustituido a las antiguas cámaras Baker-Nunn mucho más lentas, pero que tan buenos servicios han prestado durante cerca de 30 años.

El GEODSS, como cualquier otro sistema óptico que opere desde la superficie terrestre, está limitado por la presencia de nubes y, en general, por cualquier circunstancia que degrade la transparencia de la atmósfera.

Estaciones colaterales

Estas estaciones, como indicábamos antes, también dependen del mando espacial de los Estados Unidos y aunque su misión fundamental no sea la

detección y seguimiento de satélites, facilitan sin embargo una gran cantidad de información sobre ellos. En este grupo de estaciones están:

- La cadena BMEWS (*Ballistic Missile Early Warning System*), constituida por tres grandes estaciones —Clear (Alaska), Thule (Groenlandia) y Fylingdales (Inglaterra)— que «miran» hacia el Norte. Su misión principal es la detección de posibles misiles atacantes y están optimizadas para este fin; pero diariamente ven cientos de objetos en órbita terrestre que atraviesan su zona de cobertura.
- Los *Phased-Array Radars*, cuya misión principal es también la detección de misiles y que, sin embargo, constituyen un elemento muy importante para la detección de satélites a baja altura. Estos radares no tienen elementos móviles. El barrido se hace electrónicamente, actuando sobre la fase de las ondas emitidas por miles de dipolos. Pueden seguir cientos de blancos simultáneamente y pueden detectar, con un 99 por 100 de probabilidad, objetos en órbita del tamaño de un balón de fútbol a 3.500 km de distancia. Estos radares están situados en: Shemya (islas Aleutianas), Cavalier (Dakota del Norte), Eglin (Florida), Otis (Massachusetts), Beale (California) y Robins (Georgia). Los tres últimos constituyen un sistema —el PAVE PAWS— especialmente orientado a la detección de misiles lanzados desde submarinos.
- Y también debemos citar en este grupo, aunque no sea propiamente una estación, a los satélites DSP (*Defense Support Program*), cuya misión es la detección de misiles con la máxima antelación posible, cuando salen de su rampa de lanzamiento. Pero que facilitan la misma información si el lanzamiento, en vez de ser un misil, es para poner en órbita un satélite, figura 3, p. 36.

Estaciones colaboradoras

En este grupo se incluyen una serie de estaciones, que no dependen del mando espacial de los Estados Unidos, pero que, durante ciertos períodos de tiempo contribuyen a la vigilancia del Espacio. Entre ellas citaremos:

- Los radares Haystack y Millstone Hill, operados por el Lincoln Laboratory del MIT.
- Los radares Altair y Alcor, en el atolón de Kwajelein (océano Pacífico), operados por el USA Army.
- Los radares de NASA situados en las islas Antigua y Ascensión (océano Atlántico).
- La estación de seguimiento óptico de Maui (islas Hawai), situada en la cumbre del monte Haleakala. En realidad se parece más a un observatorio astronómico. Por la gran altura a que está situado y por los

dos telescopios de 1,20 m de abertura de que dispone, puede obtener imágenes en las bandas visibles e infrarroja del espectro de objetos extremadamente débiles, hasta una magnitud visual de tan sólo 19.

Funcionamiento del Centro de Vigilancia Espacial (SSC) de los Estados Unidos

Para explicar el funcionamiento del SSC de los Estados Unidos, vamos a ver su forma de actuar ante la puesta en órbita de un nuevo satélite. Y vamos a tomar como ejemplo un caso concreto.

La primera notificación llega al SSC procedente del satélite DSP situado en órbita geoestacionaria sobre el océano Índico. El satélite ha detectado un lanzamiento desde la base de Baikonur, en Rusia, cerca del lago Aral, a las

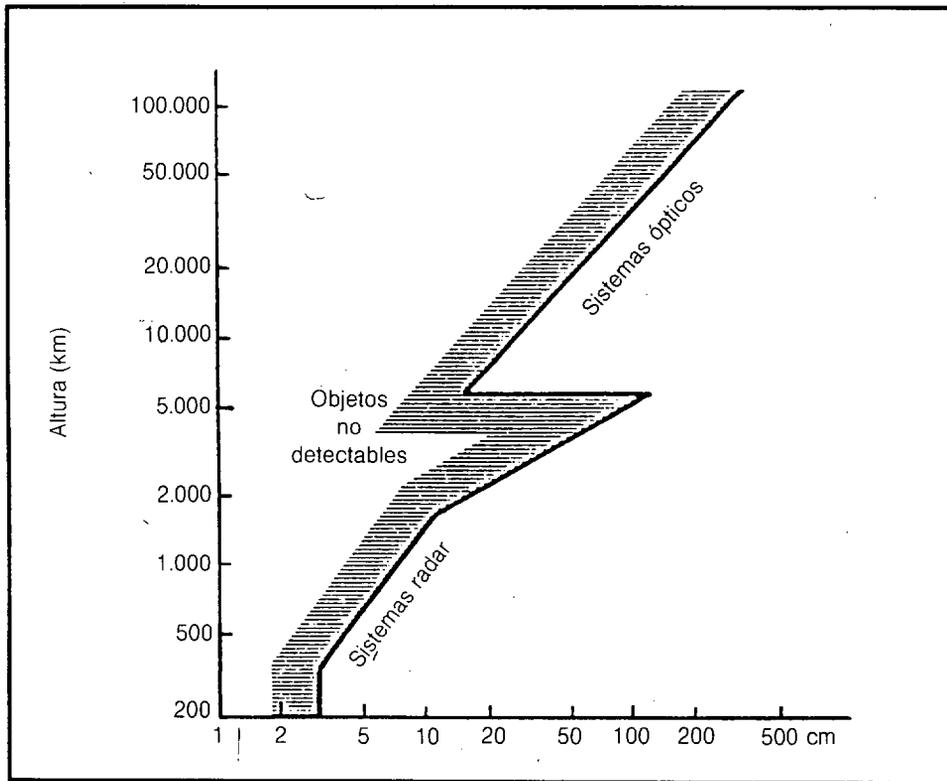


Figura 3.—Posibilidades de detección (valores medios) de la red de vigilancia espacial de los Estados Unidos en función del tamaño del objetivo y de su altura.

14,53 GMT del día 14 de enero del año 1991. Además, el satélite suministra datos sobre el azimut del lanzamiento, sobre su trayectoria ascendente y sobre la «firma» infrarroja del lanzador, lo que permite determinar en tierra que se trata de un lanzador tipo SL 4 SOYUZ.

Con estos datos preliminares se estima cuál va a ser la primera estación de la red SSN que va a poder detectarlo. En este caso se espera que sea la estación de Kwajelein, en el océano Pacífico, como así ocurre a los pocos minutos. La estación, por medio de sus radares, localiza en realidad dos objetos próximos, uno que es el propio satélite y otro que corresponde al último cuerpo del cohete lanzador, que se ha separado del satélite, pero todavía está cerca de él.

Los datos captados por la estación de Kwajelein se transmiten en directo al SSC por circuito de alta velocidad. Con la información reunida en el SSC ya se puede hacer una primera estimación de la órbita del satélite y del tipo de satélite de que se trata. En el ejemplo que estamos considerando se estima que la órbita tiene una inclinación de $51,6^\circ$, un período de 90 m y que el satélite es muy probablemente un PROGRESS M, del tipo usado para enviar suministros a la nave tripulada MIR, puesta en órbita unos cinco años antes.

Con esta estimación de la órbita puede calcularse que la próxima estación de la red que «vea» al satélite va a ser la que NASA tiene en la isla de la Ascensión, en el Atlántico sur. Los datos obtenidos por esta segunda estación se transmiten también en directo al SSC, lo que le permite determinar la órbita del satélite con aceptable precisión (perigeo 248 km, apogeo 342 km). Y esta precisión va aumentando a medida que, en órbitas sucesivas, va siendo observado por otras estaciones.

Unos dos días después del lanzamiento, el satélite, que ya se ha confirmado que se trata del PROGRESS M-6, inicia una serie de maniobras para ir adaptando su órbita a la de la nave MIR, con la que se acaba acoplando el 16 de enero a las 16,35 GMT. Maniobras y cambios de órbita que se han ido siguiendo desde el SSC.

Los dos satélites PROGRESS M-6 y MIR permanecen acoplados hasta el 15 de marzo del mismo año, en que se separan a las 12,47 GMT. Con el PROGRESS M-6 se realiza una maniobra voluntaria para provocar su reentrada, quemándose al penetrar en las capas densas de la atmósfera.

El esfuerzo que requiere mantener al día las órbitas de unos 6.000 objetos en el Espacio es realmente grande. El SSC viene a recibir cada día unas 35.000 observaciones, procedentes de las distintas estaciones de la red SSN. De estos 6.000 objetos podemos decir, de forma aproximada, que el 25 por 100

corresponden a satélites (un 5 por 100 a satélites activos, es decir, unos 300. Y el 20 por 100 restante a satélites no activos), otro 25 por 100 corresponde a objetos que han quedado en órbita durante los lanzamientos y el 50 por 100 restante es producto de explosiones.

Cada vez que se detecta un objeto en el Espacio y se calcula su órbita, el SSC le asigna un número de identificación correlativo y lo incluye en su catálogo de satélites. El número uno correspondió al primer satélite, el SPUTNIK 1. El 1 de junio de 1991 se había alcanzado la cifra de 21.396 objetos catalogados; pero de este total quedan en órbita menos de la mitad, el resto ha ido cayendo a tierra en el transcurso de los años.

Cada objeto en órbita recibe también otra designación, es la llamada designación internacional. La de la WWA (*World Warning Agency for Satellites*) en representación del COSPAR (*Committee on Space Research*). Esta designación consta de dos cifras y una letra. Por ejemplo, la 1.991-043A, que corresponde a un satélite militar de comunicaciones soviético de la familia MOLNIYA 1. La primera cifra es el año del lanzamiento. La segunda es un número correlativo que indica el número del lanzamiento en ese año. Y la letra de información sobre la naturaleza del objeto en órbita. Se emplea la A para el propio satélite; pero si con el mismo lanzamiento se han puesto varios satélites en órbita, se emplean las letras A, B, C, etc. para identificar a cada uno. La letra siguiente, normalmente la B, se usa para el último cuerpo del cohete lanzador. Y las letras sucesivas, para los otros objetos que puedan quedar en órbita.

Consideraciones finales

El que los Estados Unidos lleven más de 30 años trabajando activamente en la vigilancia del Espacio, y hayan llegado a montar una red de estaciones tan compleja y costosa como la que acabamos de describir, es una prueba concluyente de la gran importancia que concede este país al hecho de estar informado de lo que ocurre en el Espacio; de qué hace allí la Unión Soviética, que desde hace 20 años viene poniendo en órbita más de 100 satélites al año, y de qué hacen otras potencias, especialmente China, con sus 33 lanzamientos hasta mediados del año 1991.

Al examinar la SSN de los Estados Unidos, cabe preguntarse si es realmente imprescindible una red tan compleja para vigilar el Espacio. Si una red substancialmente más simple no permitiría obtener suficiente información sobre satélites y demás objetos en órbita. La contestación depende del nivel de información que deseemos obtener.

La red ideal para llevar un control de todos los objetos de tamaño superior a un cierto valor mínimo (10 cm en la SSN), para detectar rápidamente la presencia en el Espacio de cualquier nuevo satélite, para calcular su órbita con gran precisión, para detectar y evaluar con rapidez cualquier maniobra que suponga un cambio de órbita, para predecir el tiempo y lugar en que tendrán lugar las reentradas y otros datos parecidos, sería una red que permitiese mantener un contacto ininterrumpido con cada cuerpo durante todo el tiempo de su permanencia en el Espacio. Como en la práctica esta red no es viable, se intenta acercarse en lo posible a ella. Y si no se puede mantener un contacto ininterrumpido con la mayor parte de los satélites, por lo menos que los contactos sean frecuentes, muchas veces al día.

Ello exige una red de bastantes estaciones, que no estén concentradas en un espacio geográfico relativamente pequeño. Así vemos que los Estados Unidos, a pesar de su gran extensión (unas 18 veces superior a España) y de tener partes de su territorio (Alaska y Hawai) muy separadas geográficamente, han tenido que instalar algunas estaciones en países ajenos (Filipinas, Corea, isla de Diego García, isla de la Ascensión, Groenlandia, Inglaterra...).

De una forma general podría decirse que la eficacia de una red y la rapidez y precisión de los datos que pueda facilitar es tanto menor cuanto menor sea el número de contactos diarios que pueda mantener con cada satélite.

Una sola estación, adecuadamente equipada con radares, sistemas ópticos y los correspondientes medios de cálculo, podría detectar todos los objetos (superiores a un cierto tamaño mínimo) que pasaran por encima del horizonte de dicha estación, que en principio son todos los que hay en órbita, exceptuando únicamente aquellos cuya órbita sea baja, y tenga una inclinación inferior a la latitud geográfica de la estación. Pero la cantidad, calidad y rapidez de los datos que pudiera suministrar sobre nuevos lanzamientos, cálculo de sus órbitas, maniobras de cambio de órbita, desprendimiento de subsatélites o cápsulas de reentrada, etc., tendría tantas limitaciones, que es dudoso que justificara los altos costes de instalación y operación de la misma.

A pesar de lo que acabamos de decir, hay ejemplos de pequeñas estaciones, e incluso de estaciones de aficionados, que han obtenido informaciones valiosas, aunque hayan sido parciales. Un caso muy conocido es el *Kettering Group*, un grupo de aficionados que lleva funcionando casi 30 años. Se creó en el año 1962 en el Colegio Kettering de Inglaterra por un profesor de Física (Geoffrey Perry) y un grupo de alumnos entre 13 y 17 años. Con receptores de radio de surplus de guerra, iniciaron

una escucha sistemática de las transmisiones en onda corta de los satélites rusos y, a través de ellas, han obtenido información sobre estos satélites, sus órbitas, su forma de operar, su vida útil, fallos a bordo, etc. En el año 1966 el grupo alcanzó fama mundial cuando, al escuchar las transmisiones de los COSMOS 112, 114 y 129, llegaron a la conclusión de que estos tres satélites se habían lanzado desde un nuevo campo situado al norte de Rusia (el de Plesetsk), desconocido hasta ese momento y mantenido en secreto por Rusia. El descubrimiento produjo un gran impacto. El campo de lanzamiento de Plesetsk ha tenido después un papel fundamental en el programa espacial soviético y una gran parte de los satélites de reconocimiento se ha lanzado desde él. El *Kettering Group* sigue funcionando como grupo de aficionados, aunque algunos de sus componentes dejaron hace muchos años de ser jóvenes estudiantes.

Bibliografía

- *The R.A.E. Table of Earth Satellites 1957/1982*, MacMillan Publishers. Londres, 1983.
- Andreas Howell, *The Challenge of Space Surveillance*, Sky and Telescope. Junio, 1987.
- David H. Suddeth, *Debris in the Geostationary Orbit Ring*, NASA CP-2360, 1985.
- John Gabbard, *History of Satellite Break-ups in Space*, NASA CP-2360, 1985.
- *AIAA/NASA/DOD Orbital Debris Conference; Technical Issues and Future Directions*, abril 16-19, 1990, Baltimore, USA.
- *United States Space Command, The C³I Handbook*, EW Communications Inc., USA, 1987.
- G.T. Devere y N.L. Johnson, *The NORAD Space Network*, Spaceflight. Julio y agosto, 1985.
- Bruce A. Smith, *Ground-bases Electro-Optical Deep Space Surveillance System*, Aviation Week and Space Technology. Agosto, 27, 1979.

CAPÍTULO SEGUNDO

PERTURBACIÓN DE SATÉLITES DE COMUNICACIONES

PERTURBACIÓN DE SATÉLITES DE COMUNICACIONES

Por LUIS IZQUIERDO ECHEVARRÍA
y FERNANDO DAVARA RODRÍGUEZ

Introducción

En los últimos años los satélites de comunicaciones han mejorado sensiblemente el campo de las transmisiones, al aportar flexibilidad, rapidez y seguridad en el enlace. Pero estos conceptos, que son importantes en lo que respecta a las comunicaciones civiles, deben ampliarse cuando se traspasan estos límites y se penetra en el campo de los sistemas de transmisiones militares, por medio de satélites, en el que ya muchos países, y España entre ellos, han hecho acto de presencia.

Este tipo de comunicaciones militares, prácticamente como el resto de ellas, debe responder a unos requisitos que añaden a los propios de cualquier sistema civil —calidad, capacidad...— conceptos tales como seguridad, interoperabilidad y supervivencia. Es tal el consenso en la adopción de requisitos como éstos que se ha generalizado el esquema de valoración de una red de transmisión militar por medio de satélites, a partir de estos factores o criterios: fiabilidad, rapidez, interoperabilidad, seguridad y supervivencia.

Por el primero se garantiza el buen funcionamiento del enlace y la buena recepción de la información por parte del destinatario. Impone la redundancia en los enlaces como medio de paliar los fallos técnicos, de carácter aleatorio, que puedan aparecer en el funcionamiento de la red.

El segundo, rapidez, se traduce en una búsqueda permanente de la solución al problema de cómo hacer frente al flujo constante y creciente de información a transmitir, con unos medios humanos en relativa pero también creciente disminución, manteniendo en todo momento la fiabilidad y rapidez de la transmisión. La respuesta pasa evidentemente por la informática y, claro está, por estos sistemas espaciales.

La interoperabilidad o posibilidad de facilitar la conexión con hombres o máquinas que sirvan a otros sistemas de comunicación, es necesaria en las comunicaciones militares modernas ante la diversificación de los medios propios y de los posibles aliados (comunicaciones tácticas, estratégicas, redes públicas, etc.).

La seguridad, referida a las telecomunicaciones, es necesaria para evitar que otros accedan a las informaciones que transitan por nuestras redes de transmisión (conversaciones, mensajes o datos), o que conozcan nuestros sistemas a través de nuestro nivel y direcciones de tráfico entre equipos.

Finalmente la supervivencia, es decir, la habilidad para asegurar un funcionamiento satisfactorio ante cualquier amenaza, en paz, crisis o guerra.

La creciente generalización en el uso de los sistemas militares de comunicaciones por satélite ha incrementado la importancia de los dos últimos conceptos —seguridad y supervivencia— al aparecer dichos sistemas como posibles objetivos de todo tipo de acciones que busquen su destrucción, neutralización o pérdida de operatividad.

Además, al integrarse en los sistemas nacionales y de alianzas C2 y C3, o bien al depender directamente de ellos, la supervivencia de estos últimos está fuertemente supeditada a la de los primeros, de aquí que se extienda la preocupación por conocer cuál puede ser la amenaza que afecte a estos sistemas espaciales.

Esta preocupación, que en su origen fue exclusivamente militar; hoy en día se contempla también en el ámbito civil, donde el enemigo puede cambiar su nombre, que no su aspecto, por el de adversario comercial o competencia. En este caso, el más importante de los dos conceptos es el de seguridad, necesidad que ha comenzado a expandirse de forma considerable en el mundo de las telecomunicaciones civiles, a causa principalmente, del desarrollo de la telemática y de la naturaleza cada día más mercantil de la información, con las tentaciones y peligros que ello supone.

Desde un punto de vista exclusivamente militar estos dos conceptos pueden contemplarse como las dos grandes vulnerabilidades de las redes de

telecomunicaciones por satélite, que, en resumen, se traducen en la vulnerabilidad física del sistema y en la de la señal. Para poder hacer frente a ellas y defenderse de las posibles amenazas que pretendan aprovecharse de semejantes vulnerabilidades, es preciso conocer cuáles pueden ser las acciones o perturbaciones y así estudiar y poner en práctica las pertinentes medidas preventivas o correctivas que aseguren la continuidad del servicio.

Arquitectura del sistema: segmentos espacial y terreno

Cualquier sistema de comunicaciones por satélite se compone básicamente de un segmento espacial y un segmento terreno.

Segmento espacial

Integrado por el satélite, o satélites, en órbita, así como por los centros terrenos que efectúan misiones de telemedida, telemando, seguimiento y apoyo logístico de las plataformas.

En cada satélite debe distinguirse la carga útil, o módulo de comunicaciones, y la plataforma o módulo de servicio.

El módulo de comunicaciones incluye los elementos necesarios para que el satélite actúe como un repetidor de comunicaciones. Estos elementos son principalmente las antenas y los transpondedores, cada uno de los cuales tiene sus correspondientes cadenas receptora y transmisora, de forma que puede funcionar con independencia de los demás transpondedores.

El módulo de servicio incluye los siguientes subsistemas:

- Subsistema de potencia, que genera y distribuye la energía eléctrica necesaria a bordo. Incluye los grandes paneles de células solares y también las baterías necesarias para que el satélite pueda seguir funcionando durante los períodos de eclipse.
- Subsistema de seguimiento, telemedida y telemando, para que en tierra puedan calcularse la posición del satélite en el Espacio, el estado de funcionamiento de los equipos a bordo y para que el satélite ejecute las órdenes que se le envían desde tierra.
- Subsistema de propulsión, formado por el motor de apogeo —que permite pasar de la órbita de transferencia a la geoestacionaria— y los pequeños motores necesarios para llevar al satélite a su posición correcta en el Espacio y mantenerla en ella, corrigiendo los efectos perturbadores de tipo natural que tienden a desplazar el satélite de esa posición.

- Subsistema de control de la orientación o asiento del satélite, para que dicha orientación en el Espacio sea siempre la exacta y las antenas apunten y den servicio a las zonas deseadas. Este subsistema incluye los sensores que detectan si la orientación del satélite en cada momento es o no la correcta y los pequeños motores que corrigen automáticamente las desviaciones que se puedan producir.
- Subsistema de control térmico, que se encarga de que la temperatura de cada equipo esté siempre dentro de unos límites preestablecidos. Sin control térmico podrían alcanzarse temperaturas tan altas como 250 °C o tan bajas como -150 °C.

Los centros de tierra de la componente espacial realizan las operaciones de seguimiento del satélite, de telemando y control, de telemida de las funciones a bordo y la supervisión de las comunicaciones para garantizar el buen funcionamiento de la red. En algunos casos realizan también funciones de control de la asignación, sincronización, etc.

Estos centros terrestres del segmento espacial son, básicamente, una estación de seguimiento, telemida y telemando, llamada abreviadamente estación TTC y un centro de control del satélite, que puede situarse junto a la estación TTC o separado de ella.

Segmento terreno

Abarca toda la parte del sistema de comunicaciones constituida por las estaciones en tierra, tanto de transmisión a los satélites como de recepción de los diferentes tipos de señales que éstos transmiten, estaciones que constituyen la conexión con las redes de comunicaciones terrestres.

Están compuestas generalmente de una antena transmisora y receptora, un transmisor, un receptor y unos equipos de modulación, demodulación y transposición de frecuencias.

A caballo entre el segmento espacial y el terrestre se encuentran los enlaces ascendentes y descendentes que aseguran el tráfico de señales de todo tipo y que, como se expondrá posteriormente, son uno de los objetos prioritarios de perturbación.

Órbitas y frecuencias

Para poder estudiar las posibles vulnerabilidades es preciso hacer mención de dos aspectos muy concretos, dentro de estos sistemas espaciales de comunicaciones, tales como las órbitas a utilizar y la parte del espectro

electromagnético más comúnmente usado en este tipo de comunicaciones por satélite, es decir, las bandas de frecuencia.

En la mayor parte de los casos, estos satélites se sitúan en las llamadas órbitas geoestacionarias, que no son más que un caso particular, de las geosíncronas, es decir, aquellas en las que el satélite orbita con igual dirección y velocidad angular que las de la Tierra, por lo que el período orbital es un día sideral (23 horas y 56 minutos).

En este caso particular de las geoestacionarias se sitúa el satélite en una órbita circular con inclinación nula con respecto al Ecuador terrestre y a una altitud de 36.000 km, lo que da como resultado que permanezca inmóvil, con velocidad relativa cero, con respecto a la referencia que es la superficie de la Tierra. Esta característica permite que el satélite proporcione cobertura permanente a una zona determinada, a la vez que simplifica el diseño de las estaciones de tierra al no tener que efectuar seguimientos de satélites en movimiento con velocidades angulares grandes.

Aquí ya aparece un posible objeto de perturbación dado que esta órbita circular es única, por lo que los satélites que la ocupan pueden provocar interferencias entre sí. Cuando los usuarios son civiles la solución se basa en la distribución de esta órbita según una normativa de la ITU (*International Telecommunications Union*), pero en el caso de los sistemas militares la interferencia no sólo puede ser accidental, sino también provocada.

Entre los satélites militares utilizados actualmente se utilizan también otros tipos de órbitas: bajas —tipo MOLNIYA— y geosíncronas, no estacionarias.

Los sistemas soviéticos sitúan satélites en órbitas bajas para poder operar con equipos de baja potencia o bien en órbitas tipo MOLNIYA con grupos de satélites para conseguir cobertura permanente.

Las órbitas no circulares describen elipses que se caracterizan por su apogeo, o punto de mayor altitud, y su perigeo, o punto de menor altitud. Las MOLNIYA son de esta clase con un apogeo de 40.000 km y un perigeo de 500, con un período de doce horas, una inclinación con respecto al Ecuador de 63° y velocidades variables según el punto de la elipse (bajas en el apogeo y altas en el perigeo). Todo ello permite orbitar a gran altura sobre el hemisferio Norte, facilitando las comunicaciones de los sistemas soviéticos de mando y control, a la vez que se cubre una cara de la Tierra en unas once horas.

Los sistemas de los Estados Unidos son generalmente geoestacionarios, pero en su nuevo desarrollo MILSTAR parte de sus satélites se sitúan en

órbitas con fuerte inclinación con respecto al Ecuador para garantizar una cobertura global.

Al necesitarse grandes capacidades y por tanto grandes anchos de banda, las frecuencias deben ser altas (centimétricas por lo general), cuadro 1.

Cuadro 1.—Anchos de banda.

<i>Banda</i>	<i>Ascendente</i>	<i>Descendente</i>
C (6/4 GHz)	5,925 a 6,425 GHz (500 MHz)	3,700 a 4,200 GHz (500 MHz)
X (8/7 GHz)	7,925 a 8,425 GHz (500 MHz)	7,25 a 7,75 GHz (500 MHz)
Km (13/11 GHz)	12,75 a 13,25 GHz (500 MHz)	10,70 a 11,70 GHz (500 MHz)
Km (14/11 GHz)	14,000 a 14,500 GHz (500 MHz)	10,950 a 11,200 GHz 11,450 a 11,700 GHz (500 MHz)
Km (14/12 GHz)	14,000 a 14,500 GHz (500 MHz)	11,700 a 12,200 GHz (750 MHz)
Km (30/20 GHz)	27,500 a 31,00 GHz (3.500 MHz)	17,700 a 21,200 GHz (3.500 MHz)

El empleo de estas altas frecuencias se justifica también por la menor dimensión de las antenas, disminución de la influencia de las perturbaciones de la ionosfera y, muy importante en este caso, la mayor facilidad para protegerse de las interferencias del adversario.

Tipos de perturbación posible

Definición

Se entiende por perturbación de un satélite de telecomunicaciones a cualquier acción, inteligente o no, que impida o dificulte las comunicaciones normalmente establecidas a través de este satélite.

Tipos de perturbación

De acuerdo con la anterior definición se podrían establecer clasificaciones muy variadas, pero en cualquiera de ellas habrá de contemplarse que las agresiones a un sistema de este tipo siempre serán debidas a una de estas causas: agresión inteligente y agresión no inteligente (por ejemplo, fenómenos naturales).

Entre las primeras destacan:

- Perturbación electromagnética para impedir o dificultar el uso del espectro.
- Decepción.
- Escucha de la señal por parte del adversario.
- Destrucción física de los equipos y medios de transmisión.
- Destrucción lógica (electromagnética) del *software* y/o *hardware*.
- Ataque físico a una estación o parte del sistema.
- Ataque electromagnético a estación o parte del sistema.

Entre los segundos tenemos:

- Perturbación electromagnética, como por ejemplo descargas eléctricas, perturbaciones atmosféricas.
- Deficiente propagación atmosférica.
- Meteorología adversa.
- Degradación ambiental de los componentes físicos del sistema.

Puntos vulnerables en un sistema de comunicaciones vía satélite

Las diferentes acciones que pueden llevarse a cabo o afectar a un sistema de telecomunicaciones por satélite deberán hacerlo sobre alguno de sus componentes anteriormente especificados. Así se pueden diferenciar las siguientes:

- a) Acciones sobre el satélite.
- b) Acciones sobre las estaciones tierra de control y explotación.
- c) Acciones sobre los enlaces entre el satélite y tierra.

Acciones sobre el satélite

Las principales formas de actuar sobre el satélite son las armas antisatélite, las armas de energía dirigida, con base en la Tierra o el Espacio, y los efectos de las armas nucleares, próximas o lejanas.

Las armas antisatélites tal y como se conciben actualmente sólo pueden actuar sobre los satélites en órbitas bajas, por lo que puede desecharse su utilización sobre este tipo de sistemas. Pero dado que la evolución de la técnica es cada vez más rápida y ante la importancia creciente de las telecomunicaciones espaciales, no se descarta que en un futuro muy próximo este tipo de armas se encuentre al alcance al menos de las grandes potencias.

El sistema que los Estados Unidos está desarrollando en la actualidad contempla el ataque al satélite por medio de proyectiles que incidan

directamente en él o por medio de los fragmentos proyectados por explosiones convencionales o nucleares realizadas en sus proximidades.

También pueden utilizarse armas de energía dirigida que producen en el satélite efectos de destrucción o neutralización. Entre ellas destacan los haces de partículas neutras, los láser y las emisiones de microondas de gran potencia.

Estas armas de energía dirigida (no nucleares), utilizan un haz de energía muy intenso y de pequeña divergencia que se dirige con precisión hacia el blanco. Dicho haz puede estar constituido por partículas atómicas que se propagan a velocidad próxima a la de la luz (caso del haz de partículas neutras), por fotones (caso del láser) o por radiaciones de RF de alta potencia (caso del haz de microondas de gran potencia).

Respecto al primero (partículas neutras) de los dos tipos de partículas que pueden actuar sobre un satélite, electrones o neutras (hidrógeno o deuterio) sólo las segundas pueden actuar con eficacia, dado que los electrones sufrirían el efecto de repulsión de las fuerzas electroestáticas y el haz sería divergente. Además deberían abrirse camino hacia el blanco hasta distancias muy considerables, por lo que, en este tipo de sistemas de telecomunicación espacial, los estudios sobre ellos prácticamente se han abandonado.

Al contrario las partículas sin carga pueden actuar eficazmente contra los satélites. Basándose en la técnica de los aceleradores de partículas, un haz de iones negativos (deuterones y protones) se acelera, posteriormente se neutraliza y se envía hacia el satélite, donde penetran profundamente.

Por ejemplo, utilizando protones en un haz de 400 MeV se consiguen penetraciones de más de 40 cm en aluminio, lo que supone para el satélite protecciones tan grandes que, por cuestión de peso, no pueden transportar.

En lo que respecta a los láser, éstos presentan unas propiedades que los hacen muy útiles a la hora de atacar a los satélites. Algunas de ellas son su propagación a la velocidad de la luz, la pequeña divergencia del haz o la posibilidad de ser reflejados en espejos adaptados a su longitud de onda. Todas ellas hacen posible la concentración de energía a gran distancia en tiempos muy pequeños, por lo que se les considera una de las armas de energía dirigida de mayor eficacia contra satélites de comunicaciones.

Finalmente, en lo que respecta a las armas del tipo haz de microondas de gran potencia, en la actualidad se las sitúa en el apartado de las armas de interferencia, pero los desarrollos actuales pueden conducirnos a fuentes de

muy alta energía que causen daños permanentes a los equipos electrónicos de los satélites, en nuestro caso principalmente a los receptores.

El arma nuclear, de difícil utilización, por los efectos políticos que conlleva, produce sobre el sistema dos tipos de efectos, debido ambos a la dispersión de rayos gamma y consiguiente retroceso de electrones tras la explosión nuclear (efecto Compton). El primero, a la altura del satélite, es de la forma de un impulso electromagnético de muy corta duración y de gran radio de acción, que puede neutralizar el satélite a miles de kilómetros de distancia, incluso en zonas donde no llegan el resto de los efectos de la explosión.

El segundo, producido al interaccionar los rayos gamma con la atmósfera, genera un campo eléctrico radial que afecta principalmente a los equipos de comunicaciones e instalaciones de superficie.

Acciones sobre las estaciones terrestres

Las estaciones en tierra de estos sistemas, tanto las del sector espacial como las del terreno, constituyen, como todos los puntos sensibles militares, objetivos para actos de sabotaje, acciones terroristas o, en caso de conflicto o crisis grave, de agresiones convencionales o nucleares. La forma de destruirlas o neutralizarlas puede ser por medio de ataques directos, indirectos (por ejemplo, a las fuentes de potencia) o por acciones terroristas.

Otro tipo de acciones a llevar a cabo sobre los centros de tierra son aquellas que utilizando medios electromagnéticos, intentan la inutilización de los sistemas automáticos o no de mando y control, alterando su proceso normal de funcionamiento. Este punto, que hasta hace poco tiempo no se consideraba preocupante, dado que protegiendo el acceso al centro se aseguraba también contra estas acciones, está adquiriendo una importancia considerable ante la tendencia a la automatización que proporciona un camino de acceso de más difícil control.

Los posibles ataques por medio de esta clase de acciones pueden ser:

- Introducción de *software* o datos cuya apariencia física está de acuerdo con las normas, pero que provocan un mal funcionamiento e incluso un bloqueo, al saturar los sistemas, con la consiguiente falta de operatividad de parte o todo el equipo. Este tipo de acción es muy conocido actualmente a través de una de sus más sencillas versiones: «los virus».
- Alteración del proceso lógico sobre todos en los casos en que el equipo es crítico y con ello se afecta a la integridad del sistema (por ejemplo, los equipos de telemando).

— Destrucción total o parcial de los equipos por acciones físicas del tipo electromagnético dirigidas principalmente a aquellos componentes que se encargan de la protección del sistema.

Estas acciones dirigidas a los equipos adecuados, en especial los críticos, pueden llevar a una inutilización total del sistema sin riesgo alguno por parte del adversario.

También deben señalarse las acciones debidas a las explosiones nucleares, tanto en su aspecto mecánico (ondas de presión, choque, etc.) como en el electromagnético ya mencionado en el apartado dedicado al satélite.

Acciones sobre los enlaces satélite-tierra (enlaces descendentes)

Este tipo de interferencia ha sido siempre considerada como difícil de realizar y, por lo tanto, no se estima que sea una amenaza tan seria como la que actúa sobre los enlaces ascendentes. Los mejores efectos podrían conseguirse por medio de estaciones aerotransportadas por sus características de cubrir amplias zonas, movilidad y facilidad de despliegue.

Respecto a las acciones sobre los enlaces descendentes desde estaciones espaciales, sólo serían eficaces en el caso de situarse en la órbita geostacionaria y próximas al satélite a interferir.

Existe un tipo de agresión que no aparece como tal, pero de la que es necesario protegerse por afectar directamente al concepto anteriormente expresado de seguridad. Esta intervención «pasiva» consiste en la escucha por parte del enemigo de nuestras informaciones y su utilización para conocer nuestras posibilidades y vulnerabilidades.

Acciones sobre los enlaces tierra-satélite (enlaces ascendentes)

Los enlaces radio eléctricos de tierra con el satélite han sido muy estudiados dadas sus ventajas con respecto a los descendentes, entre las que destaca la posibilidad de afectar simultáneamente a una variada gama de enlaces.

Estos enlaces pueden perturbarse por medio de interferencia o intrusión, acción que permitiría, por ejemplo, hacer aceptar al satélite una orden anormal. Otro tipo de agresión sería la interferencia de los enlaces de mando emitiendo desde tierra en la misma frecuencia, enviando órdenes de mando falseadas e incluso haciéndose cargo del control del satélite.

También puede actuarse sobre los enlaces de telecomunicación interfiriendo o enviando informaciones falsas. Para todo ello se necesitan estaciones capaces de radiar una cantidad importante de energía, lo que implica

grandes antenas y equipos muy voluminosos. Esto nos lleva a considerar que en este caso las verdaderamente eficaces son las estaciones terrestres en oposición a las aerotransportadas, que no pueden afectar en forma eficaz a estos satélites a altitudes muy grandes por las mencionadas razones de tamaño de antena y equipos.

No es éste el caso de las estaciones espaciales cuya pequeña potencia radiada puede aprovecharse eficazmente si se sitúan como en el caso anterior, en las proximidades del blanco, dentro de la órbita única geostacionaria.

Acciones de protección

Ante este tipo de acciones de perturbación es necesario enfrentar otras de protección que eviten o aminoren los efectos de las primeras. Según la actitud que se tome a la hora de ponerlas en práctica, se pueden clasificar en acciones de protección pasivas, como por ejemplo la evasión, y activas, como la autodefensa.

Para evitar las acciones sobre el satélite se pueden hacer maniobras de evasión o bien utilizar técnicas de engaño de los autodirectores evidentemente específicos de los sistemas militares. El éxito de éstas depende de la capacidad de poner en evidencia un intento de agresión y del tiempo del que se dispone entre el momento de la detección de la agresión y el momento en el que se puede ser destruido.

El estudio de la vulnerabilidad de los satélites a los haces láser da lugar a un amplio espectro de contramedidas tales como la discreción, para evitar ser localizados, el engaño, para hacer desperdiciar el número limitado de disparos láser y las técnicas de blindaje posibles, aun limitando las características del satélite.

Respecto a las armas nucleares, la técnica de protección, conocida como endurecimiento, se ha desarrollado y se fabrica ya para muchas aplicaciones militares; en particular para los cohetes balísticos que deben ser capaces de despegar en ambiente nuclear y cuyas ojivas deben resistir una agresión nuclear directa.

La Unión Soviética ha previsto una forma de defenderse de todos estos tipos de agresiones, consistente en poner en órbita un elevado número de satélites, lo que unido a una suficiente capacidad de lanzamiento produce el efecto de permanencia del sistema, a pesar de la destrucción o inutilización de alguno de sus efectivos.

Las técnicas de protección contra las acciones intrusivas —filtrado de personas, control de accesos— necesitan un estudio muy detallado para asegurar, además de la seguridad de las instalaciones, la protección de las informaciones clasificadas y de los enlaces de mando. La búsqueda de una autonomía cada vez mayor en los satélites y el crecimiento de la robustez del sistema, por una prudente elección del número de estaciones y de su implantación deben permitir garantizar el cumplimiento de la misión a pesar de la pérdida provisional o definitiva de una parte de las estaciones terrestres.

Las técnicas de EW que se desarrollan para proteger los sistemas militares sirven para defenderse de las agresiones contra los enlaces. Así contra la escucha podemos utilizar las variadas técnicas de cifrado y contra el resto, emplearemos métodos como el salto de frecuencia, escalonamiento del espectro, cifrado de alta seguridad, firmas digitales en las señales ciertas, etc.

Otra de las protecciones a buscar es que en caso de pérdida temporal de enlace con el satélite, debe conseguirse una suficiente autonomía en las funciones vitales y operativas del satélite.

CAPÍTULO TERCERO

ACCIONES DE RECONOCIMIENTO ELECTRÓNICO POR SATÉLITE

ACCIONES DE RECONOCIMIENTO ELECTRÓNICO POR SATÉLITE

POR FERNANDO DAVARA RODRÍGUEZ
y LUIS IZQUIERDO ECHEVARRÍA

Introducción

La expansión del empleo de la electrónica en los sistemas de armas, generalizada en el decenio de los años ochenta, alcanza ya en estos comienzos de la última década del siglo, tal grado de importancia que debe considerarse como un factor decisivo a la hora de evaluar el potencial militar de una nación moderna. El gran desarrollo de la informática ha permitido que muchos sistemas electrónicos, hayan podido integrarse en los mencionados sistemas de armas, a la vez que se han automatizado gran parte de las tareas a desarrollar por ellos.

Todo lo anterior ha contribuido a la generalización en el uso de la electrónica, tanto en los medios de transmisión como en los de vigilancia, observación, tratamiento de la información y explotación de la misma, etc., lo que implica que a su vez se haya extendido el empleo de los medios y procedimientos de la EW, que ha pasado a ser un elemento de capital importancia, que debe desarrollarse desde tiempo de paz, dado que una de sus características principales es la continua evolución.

Precisamente debido a este dinamismo la EW no ha podido permanecer ajena a la explotación del Espacio, campo en el que sus aplicaciones van extendiéndose gradualmente y en el que actualmente destacan los sistemas de escucha electromagnética a los que se dedica el presente estudio.

Perspectiva general del reconocimiento electrónico

Antes de desarrollar el tema, parece necesario hacer una breve presentación, del marco en el que se encuadran estos sistemas espaciales de escucha electromagnética, dando que existen diferencias a la hora de definirlos y clasificarlos.

Con pequeñas diferencias los países occidentales acostumbran a definir la EW como un conjunto de acciones militares, destinadas a utilizar la energía electromagnética para impedir, reducir o prevenir el uso del espectro electromagnético por parte del enemigo y para proteger el uso de dicho espectro por parte de las fuerzas propias. Esto supone la exploración de las diferentes emisiones electromagnéticas del adversario, para obtener información sobre su capacidad e intenciones, así como el empleo de medidas encaminadas a proteger nuestra utilización de dicho espectro, reduciendo a su vez la eficacia de sus sistemas de comunicaciones.

Una síntesis de todo ello podría expresar que la EW pretende la neutralización de los sistemas de mando y control adversario, a la vez que asegura el mantenimiento de la capacidad operativa de los propios.

Estos conceptos aunque son de difícil clasificación, dada la mencionada evolución de la EW, es costumbre reunirlos, con fines prácticos, en tres grandes grupos, denominados ESM, ECM y ECCM:

- ESM o medidas electromagnéticas de apoyo, es decir aquéllas que comprenden acciones de búsqueda, detección, análisis, identificación y localización de fuentes de energía radiante, para conocer los dispositivos adversarios y su estado de preparación y alerta.
- ECM o contramedidas electromagnéticas, destinadas a prevenir y reducir el empleo del espectro por parte del enemigo, a la vez que se limita la información que podría obtener a nuestra costa, bien ocultándola o bien falseándola.
- ECCM o contra-contramedidas, con las que se pretende evitar las contramedidas adversarias, asegurándonos el uso del mencionado espectro electromagnético.

Es precisamente en el primer grupo ESM donde se centra nuestra atención al considerar la búsqueda de emisiones electromagnéticas, cuya principal tarea está constituida por la obtención de información, como una operación previa indispensable para la posterior definición, desarrollo y empleo de las contramedidas, tanto de ECM como de ECCM. Pero esta misión de búsqueda sería prácticamente ineficaz, sino se acompañara del correspondiente análisis, identificación y posible localización de la fuente, completando así el conjunto de medidas ESM.

Llegados a este punto nos encontramos con que no sólo estamos hablando de medidas de EW, sino que se está considerando, en forma parcial, la obtención de información y su tratamiento para convertirla en inteligencia. Por ello nos vemos obligados a hacer uso de otra forma de clasificación, también muy extendida, como es la que se hace de los diversos tipos de inteligencia, referida claro está, a las señales electromagnéticas. En ella se contempla la denominada SIGINT (inteligencia de señales) que tiene por objeto la obtención, evaluación, análisis, interpretación y valoración de las informaciones radiadas COMINT o emitidas ELINT, para convertirlas en inteligencia a explotar por el usuario.

En principio parece que esta SIGINT comprende los mismos conceptos que la ESM, pero la diferencia, al menos desde un punto de vista de inteligencia, es fundamental. La ESM produce un inmediato reconocimiento de la amenaza y su información se utiliza para apoyar la EW, mientras que la SIGINT necesita un proceso de análisis y tratamiento de dicha información para convertirla en inteligencia.

La artificial división de la SIGINT en sus dos ramas, las mencionadas COMINT y ELINT, es debida a la necesidad de diferenciar claramente la inteligencia obtenida, a partir de las radiaciones procedentes de sistemas de telecomunicaciones del adversario de aquélla otra cuyo origen son otro tipo de fuentes radiantes. Esta separación, cuyos límites cada día están más difuminados, dado el parcial solapamiento de ambas inteligencias (debido principalmente a la similitud de frecuencias y procedimientos), es más acusada en el campo espacial, en el que los denominados satélites ELINT están adquiriendo una importancia creciente, muy superior a la de los COMINT, de cuyas misiones suelen hacerse cargo los anteriores, que en estos casos funcionan a modo de satélite SIGINT.

Por ello el objetivo general de este estudio será el de los satélites ELINT, lo que no es óbice para que, cuando se considere de importancia, se amplíe el tema a algunos casos particulares de satélites con carga útil COMINT.

Bandas de frecuencia a reconocer

El campo de la EW se extiende a la práctica totalidad del espectro electromagnético, por lo que podrían citarse los sistemas de telecomunicaciones, de identificación, de guía de misiles y sus cohetes, radares de cualquier naturaleza, dispositivos ópticos, infrarrojo, oprónicos, ayudas a la radio navegación, etc.

Pero en el caso que nos ocupa, satélites ELINT, la atención se centra principalmente en los diversos tipos de radares, tanto los de defensa aérea,

como los de control de misiles, alerta previa, localización de morteros y artillería y otros similares. Ello implica que la cobertura en frecuencia de estos sistemas debe abarcar a las de todos aquellos radares, conocidos o por identificar, lo que incluye un ancho de espectro aproximado entre los 30 MHz y los 40 GHz.

Dicho margen no se puede cubrir con un solo sistema, pero, como es habitual, se divide en una serie de bandas que, a su vez, irán limitando las posibles aplicaciones de cada sistema de satélites en particular. Entre las diversas clasificaciones en uso actualmente, emplearemos la que se suele utilizar para los sistemas espaciales de telecomunicaciones, haciendo especial mención de aquellas partes del espectro más específicas de los radares, cuadro 1.

Existe una limitación debida a la presencia en la atmósfera de moléculas gaseosas que pueden absorber parte de la energía radiada por medio de procesos rotacionales y vibratorios, dependiendo sobre todo de la longitud

Cuadro 1.—Bandas UHF y VHF.

<i>Longitud onda</i>	<i>Banda</i>	<i>Frecuencia radar</i>
Métrica (30-300)	VHF	138-144
	(300-1.000)	216-225
Decimétrica (300-3.000)	UHF	420-450
	(300-1.000)	890-942
	L	1.215-1.400
	(1.000-2.000)	
Centimétrica (3.000-30.000)	S	2.300-2.500
	(2.000-3.000)	2.700-3.000
	S	3.000-3.700
	(3.000-4.000)	
	C	5.250-5.925
	(4.000-8.000)	
	X	8.500-10.680
	(8.000-12.000)	
Milimétrica (30.000-300.000)	Ku	13.400-14.000
	(12.300-18.000)	15.700-17.700
	K	24.050-27.250
	(18.000-27.000)	
	Ka	33.400-36.000
(27.000-30.000)		

Todas las frecuencias están expresadas en MHz.

de onda y del tipo de moléculas presentes. La radiación que parte de la fuente evidentemente no se propaga a través del vacío en su ascensión hacia el sensor, sino que debe cruzar la atmósfera terrestre (en estos casos desde el nivel del suelo hasta la ionosfera, pasando por troposfera, estratosfera y mesosfera), interaccionando con ella.

La ionosfera se compone principalmente de gases (oxígeno, ozono, nitrógeno, argón y anhídrido carbónico) así como de vapor de agua y aerosoles. Entre todos ellos son el ozono, el anhídrido carbónico y el vapor de agua los principales responsables de la interacción con la energía electromagnética que se propaga. Los efectos de esta interacción se traducen generalmente en una pérdida de energía radiada, al actuar la atmósfera como un filtro, cuyos efectos son tales que a frecuencias bajas las radiaciones no se transmiten y, gracias a ello, las ondas de radio en lugar de perderse en el Espacio regresan a la Tierra reflejándose otra vez, aumentando al alcance de la propagación.

Pero esta conocida ventaja, en el caso de este estudio es un inconveniente, pues la propagación ascendente no llega toda al sensor. El resultado es que la atmósfera se comporta como un filtro selectivo para determinadas longitudes de onda, de tal forma que, en algunas bandas del espectro, desaparece la posibilidad de detectar, como si existieran unas pantallas que reducen el espectro utilizable por debajo de las posibilidades del espectro teórico, correspondiente a las diferentes fuentes de radiación.

Las zonas donde la transmisividad de la atmósfera es lo suficientemente fuerte se conocen con el nombre de «ventanas atmosféricas», estando claramente definidas en la mayor parte de los casos, permitiendo que los sensores se fabriquen de acuerdo con ellas.

Satélites ELINT

Los sistemas de satélites de escucha, integrados por los satélites en órbita y sus correspondientes centros de tierra, son un complemento indispensable para la obtención de informaciones estratégicas, tácticas y técnicas, por su capacidad de localizar y de analizar las fuentes de emisión electromagnética, lo que permitirá un conocimiento preciso de diversos materiales, como ayuda o preparación de la EW, a la vez que se puede efectuar un seguimiento de los desplazamientos de determinado tipo de unidades.

Dicha complementariedad destaca en el caso de los satélites de observación, permitiendo mejorar sus posibilidades de detección, localización y eventual

identificación en los casos de aquellos objetivos que presenten la característica de emitir señales electromagnéticas.

Su modo normal de funcionamiento consta de varios estados simultáneos, en algunos casos superpuestos. Primero se detecta el emisor y posteriormente se localiza; los datos del mismo, bien transmitidos directamente, bien registrados a bordo y transmitidos en tiempo diferido a un centro de recepción, se someten al subsiguiente análisis, somero o detallado, y tratamiento, los que conducirán a la consecuente identificación y, caso de necesidad, a su explotación y gestión operativa, además de su redifusión selectiva.

El proceso, con pequeñas variaciones según la misión, suele ser el siguiente:

- Búsqueda e interceptación, para lo que se requiere que el receptor sintonice en la frecuencia correcta, en tiempo correcto y con la sensibilidad suficiente.
- Retransmisión de los datos obtenidos (en tiempo real o en diferido), a los centros de tierra.
- Análisis, para determinar características tales como: frecuencias de transmisión y de repetición de impulsos, anchura del impulso, modulación, etc. y proceder a los subsiguientes informes de inteligencia.
- Identificación de los sistemas radiantes y su localización.
- Explotación de dichos informes, gestión operativa de ellos y difusión a los órganos de inteligencia interesados.

Para poder llegar a obtener una buena información se necesitarán muchos «encuentros» con la señal radiada, y además la inteligencia obtenida no tendrá un gran valor si los sistemas no se complementan en su misión con otros medios de reconocimiento electrónico, para así obtener un razonable conocimiento de las capacidades y vulnerabilidades del adversario.

Por último, hay que señalar que estos sistemas necesitan que el adversario a escuchar «coopere», es decir, que emita, por lo que son totalmente inoperativos cuando el objetivo está en silencio. Esta característica sirve como medida de protección contra la acción de estos satélites, aunque la realidad difiere bastante de la teoría, dada la dificultad en la localización de la posición de estos objetos.

Órbitas

Entre los grandes tipos o familias de órbitas los satélites ELINT suelen situarse con preferencia en dos de ellas: en las denominadas órbitas bajas

polares con gran inclinación, circulares o débilmente elípticas, y en las conocidas como órbitas geoestacionarias.

Los satélites de baja altitud colocados sobre órbitas circulares, entre 600 y 1.000 km de altura, sobrevuelan los puntos de la superficie terrestre con una cadencia de 4 a 10 veces por día, dependiendo de la latitud del punto sobrevolado, lo que supone que no se pueda asegurar una escucha permanente. Por el contrario, estas órbitas bajas permiten una localización muy precisa, hasta el punto de que triangulando (con 3 antenas a bordo) se pueden obtener unos márgenes de error próximos al kilómetro, dependiendo de la frecuencia. Esta misma característica orbital permite que el análisis de la señal captada se puede hacer con mucha precisión, con la consiguiente ventaja de una mejor identificación de la señal.

La selección de estas órbitas se hace con vistas a optimizar el uso de los sensores a bordo de la plataforma espacial, y la elección de la inclinación más o menos polar dependerá de las zonas de la Tierra que quieran cubrirse, pero al situarse tan próximos a la superficie terrestre su vida útil es muy pequeña, comparada con la de los geoestacionarios, y además necesitan correcciones continuas de su órbita, pues aunque las variaciones son pequeñas, deben rectificarse en tiempos muy pequeños.

Los geoestacionarios se denominan así debido al hecho de que colocados sobre una órbita ecuatorial, a 36.000 km de altura, presentan la propiedad de permanecer inmóviles con respecto al Ecuador terrestre, dado que se desplazan con la misma velocidad de rotación que la Tierra, por lo que su velocidad relativa es cero.

Dada esta característica de inmovilidad con respecto a determinadas zonas de la Tierra su escucha es permanente, pero con la desventaja de que la zona abarcada no es tan amplia como en el caso de los de órbitas bajas. Esto implica que la discriminación sea más difícil, obligando a transportar antenas de gran tamaño, para obtener grandes ganancias. Lógicamente esta es una característica restrictiva, pues los volúmenes admitidos para las cargas útiles limitan considerablemente las dimensiones de las antenas.

Al estar situados a gran altura su vida útil es mayor que la de los de órbitas bajas, pero se encuentran sometidos a diversas perturbaciones, como vientos solares, atracción de la Luna, disminución del campo gravitatorio terrestre, etc., lo que obliga a mantener un continuo estado de corrección de la órbita.

Una somera comparación de algunas de las características de ambos tipos de sistemas denota una igualdad en los aspectos de contramedidas y

posibilidad en todo tiempo, y una ventaja de los de órbitas bajas sobre los geostacionarios en los apartados de resolución, facilidad en el tratamiento de los datos, facilidad en la medida, coste y realización, lo que supone una considerable «superioridad» de este tipo de satélites situados en órbitas bajas.

Por ello, aunque en teoría el reconocimiento electrónico debería ocupar órbitas ligeramente más altas que las de los satélites de observación, en la realidad esto no se cumple, dado que a mayores alturas la sensibilidad de los sensores se reduce apreciablemente y, aunque la vida del satélite se alarga, se reduce considerablemente la carga que el lanzador puede transportar. Ante estas razones y las expuestas anteriormente, la mayoría de los satélites ELINT se sitúan en órbitas bajas, entre 300 y 400 km, dependiendo su mayor o menor vida de las baterías y células solares, así como de los complejos sistemas de recepción y equipos de grabación y almacenamiento de datos.

En el caso concreto de radares de vigilancia, los sistemas de órbitas bajas detectan sin dificultad este tipo de radares, mientras que los geostacionarios no consiguen una fácil selección.

Como se indicará más adelante, los Estados Unidos y la Unión Soviética utilizan para sus satélites ELINT órbitas bajas, entre 600 y 900 km, aunque en algunos casos los Estados Unidos y últimamente la Unión Soviética usan órbitas geostacionarias.

Finalmente es necesario hacer mención a un tipo de órbita, la MOLNIYA, no usual en satélites de reconocimiento electrónico, pero que se utiliza por los Estados Unidos para un caso muy particular de sistemas ELINT. Es del tipo no circular, describiendo elipses que se caracterizan por su apogeo, o punto de mayor altitud, y su perigeo, o punto de menor altitud, con un período de doce horas, una inclinación con respecto al Ecuador de 63° y velocidades variables según el punto de la elipse (bajas en el apogeo y altas en el perigeo). Todo ello permite orbitar a gran altura sobre el hemisferio Norte, facilitando la escucha sobre las zonas más alejadas del norte de la Unión Soviética.

Sensores

Como se ha indicado, estos satélites deben transportar equipos destinados a buscar y detectar señales electromagnéticas generadas por las actividades militares del adversario, como por ejemplo las procedentes de radares de alerta temprana, de radares de defensa aérea o de los utilizados para el

control de misiles o las procedentes de la telemetría generada por misiles, incluso las señales emitidas por nuevos tipos de radares durante su calibrado y pruebas, etc. Esto significa que el reducido número de países que pueden concebir sistemas de este tipo, no permiten que se acceda fácilmente a las características de unos elementos tan importantes para la obtención de su inteligencia electrónica y, por lo tanto, los datos de que se dispone sobre los sensores situados a bordo de estos satélites ELINT son escasos.

Tampoco es fácil conocer la sensibilidad de dichos sensores de escucha electrónica, pero en este caso pueden hacerse estimaciones a partir de los dispositivos usados en experimentos científicos. Por ejemplo, se han utilizado satélites para seguir el rastro de animales a los que se les han situado transmisores de señales de una potencia relativamente baja. Receptores colocados a bordo de esos satélites, orbitando alrededor de 800 km (órbitas bajas), han seguido los desplazamientos de camellos, ciervos, ballenas y focas, con un error de unos 500 m, a la vez que se obtenían y grababan datos tales como la temperatura de su cuerpo y los latidos de su corazón.

Así, por ejemplo, los soviéticos emplean un receptor de selenio para el reconocimiento de banda ancha, el cual mide la frecuencia de la emisión, así como la duración y secuencia del impulso de los equipos radar, para identificar a la fuente según su tipo.

Finalmente, y tal como se indicó en el apartado de las bandas de frecuencia, la interacción con la atmósfera limita el empleo de los sensores, a la vez que facilita su selección, orientada a las zonas del espectro donde existen «ventanas atmosféricas».

Misiones

Entre los sistemas actualmente conocidos destacan principalmente dos tipos de misiones; la puramente ELINT y la de escucha electrónica para vigilancia de océanos.

La primera, como su nombre indica, está orientada a la detección de emisiones electromagnéticas, principalmente de radar, para a partir de ellas llevar a cabo un completo proceso de inteligencia que proporcione informaciones sobre situación, características, vulnerabilidades, etc. de sistemas y unidades.

La segunda está encaminada a conocer la situación, rumbo, velocidad, etc. de las unidades navales del adversario, así como sus características,

determinadas a partir de la obtención y análisis de sus emisiones electromagnéticas.

Sistemas de reconocimiento electrónico por satélite

La inteligencia que se obtiene a partir de los datos proporcionados por este tipo de medios espaciales es de vital importancia para sus poseedores, por lo que, el reducido número de países que cuentan con ellos, se preocupan mucho de impedir la difusión de cualquier característica que pueda indicar hacia qué zonas están orientados o qué clase de materiales son capaces de identificar.

Esta defensa implica que el conocimiento que se tiene de ellos es muy limitado y, en muchas ocasiones, está también fuertemente protegido por medio de clasificaciones de seguridad de alto nivel. Por ello es difícil presentar los sistemas empleados hasta la fecha sin hacer estimaciones que completen los datos ya confirmados.

Lo que sí puede asegurarse es que al ser los Estados Unidos y la Unión Soviética las únicas potencias que disponen de medios que abarcan todo el espectro de sistemas militares de utilización del Espacio, lógicamente mantienen en órbita y utilizan satélites de reconocimiento electrónico. Del resto de potencias espaciales sólo puede hacerse estimaciones sobre sus posibilidades y posibles realizaciones en el sector.

Estados Unidos

Los Estados Unidos hacen uso de satélites de reconocimiento electrónico desde el 15 de mayo del año 1962, fecha en que comenzaron con el Programa FERRET, primero de ellos conocido. Normalmente se situaban en órbitas circulares a una altitud de 500 km (en algunos casos a 1.000) con la misión de localizar radares enemigos y vigilancia electrónica en general.

A continuación, desde marzo del año 1973, comenzaron su actividad los satélites del tipo RHYOLITE, situados en órbitas geoestacionarias (36.000 km) orientados en principio, a las zonas de lanzamiento de misiles soviéticos de Tyuratán (Baikonur) y Plesetsk y posteriormente, hacia el cuerno de África y océano Índico.

Los últimos en entrar en actividad, al menos que se conozca, a partir de principios de los años ochenta, han sido los VORTEX o CHALET y los MAGNUM. Los primeros están dedicados fundamentalmente a la escucha de comunicaciones, mientras que los MAGNUM tienen por objeto detectar

las señales procedentes de radares y misiles, los cambios de frecuencia y el crecimiento del tráfico de comunicaciones, con la característica de realizar a bordo un tratamiento selectivo, para no transmitir a los centros de tierra nada más que las informaciones consideradas importantes, según criterios preprogramados. Además, al igual que los COSMOS, pueden desplazarse fuera de órbita, lo que, a pesar de acortar su vida, por el consumo elevado de potencia, aumenta sus posibilidades de utilización.

También se ha puesto en órbita algún satélite de una serie denominada JUMPSEAT destinada específicamente a llevar a cabo acciones de reconocimiento electrónico en las lejanas regiones del norte de la Unión Soviética, para lo que sitúa sus plataformas en órbitas tipo MOLNIYA.

Hasta el mes de enero del año 1990 los Estados Unidos mantenían operativos un mínimo de seis satélites ELINT, dos tipo CHALET (CHALET 3 o VORTEX 3, lanzado en el año 1981 y CHALET 6 o VORTEX 6, lanzado en el año 1989), otros dos tipo MAGNUM (MAGNUM 1 y 2), lanzados en los años 1985 y 1989, este último usando el SHUTTLE y dos del tipo JUMPSEAT, situados en órbita en los años 1985 y 1987.

El CHALET 3, si permanece activo, ha superado con creces su vida útil, estimada en cinco años.

Respecto a la vigilancia oceánica, en su aspecto de reconocimiento electrónico, la actividad espacial de los Estados Unidos comenzó a principios de los años setenta con el Programa NOSS (*Navy's Ocean Surveillance Satellites*) o *White Cloud*.

Los satélites de este sistema se sitúan en órbitas circulares bajas a unos 1.100 km, con 63° de inclinación, en las que «sueltan» cada uno tres satélites, presumiblemente unidos al nodriza por medio de cables de gran longitud, que les mantienen a distancia fija del primero (varios cientos de kilómetros) y a la vez sirven como soporte de transmisión de los datos. Este conjunto se emplea para localizar emisores por triangulación y para identificar unidades a partir del análisis de los parámetros de transmisión de los emisores. El satélite madre pesa unos 450 kg y los hijos 45 kg.

El sistema completo lo forman tres grupos iguales (total tres nodrizas y nueve hijos) con órbitas separadas 120°, lo que asegura una gran cobertura y repetitividad en la recepción de las señales emitidas por los buques a reconocer. Cada uno de ellos consta de un sistema de escucha para asegurar la recepción de señales de comunicaciones y emisiones radar, además de transportar un radar pasivo y otro activo y medios infrarrojo para asegurar el seguimiento todo tiempo de la Flota soviética.

Para mantener completo el conjunto se lanzan nuevos satélites cada vez que se producen fallos. Así a finales del año 1990 permanecían activos 16 satélites del tipo *White Cloud* (NOSS 7, febrero del año 1986, NOSS 8, mayo del año 1987, NOSS 9, septiembre del año 1988 y NOSS 10, septiembre del año 1989).

Unión Soviética

Los sistemas de reconocimiento electrónico soviéticos por medio de satélites ELINT están constituidos, como prácticamente el resto de actividades espaciales, por la serie COSMOS, con sus satélites situados normalmente a unos 650 km de altura (órbitas bajas) con inclinaciones de $81,2^\circ$ y en los que las variaciones entre las diferentes generaciones afectan principalmente a los sensores y al peso, salvo la última que supone un cambio a órbitas geoestacionarias.

Actualmente permanecen en órbita las tercera, cuarta y quinta generaciones. La tercera comprende siete satélites de baja altitud (COSMOS 1.805, 1.812, 1.842, 1.908, 1.933, 1.953 y 1.975), la cuarta generación la integran dos satélites de 12 tm, puestos en órbita en 1988 (COSMOS 1.943 y 1.980) y la nueva y quinta generación es un sistema de satélites geosincrónicos del tipo de los antiguos CHALET de Estados Unidos, representados por los COSMOS 1.888 y 1.894, ambos lanzados en el año 1987.

En lo que respecta al campo de la vigilancia de océanos, y más concretamente en los sistemas pasivos, la Unión Soviética cuenta con el sistema EORSAT, satélites de escucha de señales radar y de telecomunicaciones, utilizados para localizar e identificar navíos en función de su actividad emisora. Colocados en órbitas bajas, entre 400 y 450 km de altura, casi circulares, con 65° de inclinación, están compuestos por grupos de dos satélites, cada uno de los cuales, con un peso de 4.250 kg, repite la órbita del otro con una periodicidad de dos días, asegurando así una buena repetitividad en la escucha de las emisiones del adversario.

En la actualidad aparentemente se encuentran operativos los COSMOS 1.949, 2.033, 2.046 y 2.051, lanzados en los años 1988 y 1989, con la particularidad que los 2.046 y 2.051 están situados en órbitas diferentes de los otros (172°).

Otros

Como se indicó anteriormente, no se conocen otros sistemas que los ya mencionados de los Estados Unidos y la Unión Soviética, pero dada la orientación de la actividad espacial de China desde el año 1975, dedicada

hacia el reconocimiento fotográfico, no se descarta que se hayan utilizado algunos satélites ELINT.

Respecto al mundo occidental, algunas informaciones han señalado que en la Gran Bretaña existía en el año 1987, un programa para desarrollar un sistema de satélites ELINT con un coste aproximado de 900 millones de dólares, el cual, aparentemente, fue cancelado.

Conclusiones

Ya en la introducción se destacaba que el empleo de la electrónica en los sistemas de armas, reforzado con los grandes avances en el campo de la informática, ha obligado a considerar a esta ciencia como un factor decisivo en la evaluación de las potencialidades militares, lo que obliga, no sólo a revisar algunos conceptos, sino también a buscar la forma de adaptarse rápidamente a los nuevos procedimientos.

Pero también permanecen viejos principios y por ello el verdadero desafío es hacer convivir a éstos con aquéllos. El caso objeto de nuestro estudio puede ser un buen ejemplo para comprobar que una antigua virtud, la de la prudencia, que requiere el conocimiento de las capacidades y el potencial del adversario, se pone en práctica por medio de nuevos procedimientos, los medios espaciales, para conseguir acumular conocimientos de señales emitidas por un adversario, el cual a su vez, utiliza medios modernos, radares, emisores, etc. para aplicar viejos principios: decepción, engaño, simulación.

CAPÍTULO CUARTO
SISTEMA ANTISATÉLITES. ARMAS



SISTEMA ANTISATÉLITES. ARMAS

Por RAMÓN BLANCO RODRÍGUEZ

Introducción

Son muy numerosos los satélites que en diferentes órbitas y a diferentes alturas están circulando hoy en día en el Espacio.

Algunos de estos satélites, los de órbita baja a veces en condiciones especiales de gran visibilidad, llegan a ser visibles a simple vista, desde la Tierra.

Desde hace ya bastantes años las dos grandes potencias han intentado perfeccionar sistemas para poder interceptar a los satélites, y de hecho los soviéticos primero y los americanos después consiguieron resultados aceptables en las interceptaciones de los satélites en órbitas bajas.

El Programa Iniciativa de Defensa Estratégica de USA contemplaba varios sistemas posibles de interceptación de satélites y misiles que parece ser siguen en experimentación.

En este mismo año los medios especializados han dado a conocer detalles de los sistemas HEDI y ERIS, pero realmente se conoce poco de ellos, lo que no es extraño, pues toda la información referente al programa espacial americano es distribuida con cuentagotas, dado lo reservado del tema. En realidad de los citados HEDI y ERIS sólo se conoce que serán misiles contra órbitas bajas y quizás medias.

No se sabe bien cuál será el futuro de los programas de interceptación antisatélite y antimisil, debido a los acontecimientos militares y políticos de los últimos tiempos.

Por parte americana, parece que hay un afán de reducir las inversiones en gastos militares de todo tipo, y esta línea de acción naturalmente afectaría al programa espacial. De hecho las dos grandes potencias, han reafirmado sus intenciones de destruir parte de sus misiles nucleares y de parar algunos de sus programas sobre satélites y lanzaderos espaciales.

Por parte soviética, las tremendas convulsiones políticas que ha sufrido la Unión Soviética han afectado de una manera drástica a su economía (de hecho parece que incluso se padece hambre colectiva en algunas zonas de la nación), por lo que no habrá más dinero para los programas espaciales de momento.

Informaciones especializadas hablan incluso de que los soviéticos estarían dispuestos, bajo una serie de condiciones, a transferir parte de su tecnología espacial a naciones interesadas, para paliar de alguna manera su desastrosa situación económica.

Esta posible transferencia de tecnología espacial, abre unos caminos inesperados, pues algunas naciones de fuerte economía en la actualidad podrían estar interesadas en adquirir la citada tecnología, que además tiene numerosas aplicaciones en campos no exclusivamente militares.

Es necesario resaltar que en general, la opinión pública pretende que el Espacio se mantenga libre de la utilización militar. Sin embargo, está claro que a esta opinión pública le cuesta reconocer que el Espacio ha sido y puede ser en el futuro el mayor campo de operaciones militares, y cuando hablamos de futuro hablamos de un cierto número de potencias que hoy en día pueden acceder a la tecnología espacial, y también está claro que estamos hablando de potencias que no son las dos grandes clásicas de estos años pasados, pero que están muy interesadas en los temas espaciales, a pesar de que hablen continuamente de desarme.

Programa SDI

El Programa Iniciativa de Defensa Espacial (SDI) comenzó en el mes de marzo del año 1983.

Mucho se ha hablado de él a lo largo de estos años pasados y ha despertado opiniones muy contrapuestas.

Lo cierto es que con altibajos el programa americano sigue adelante aunque con recortes en sus presupuestos.

No se sabe muy bien en estos momentos cuál va a ser su evolución en el futuro en que está imperando una corriente de opinión mundial a favor de desarmes de todo tipo, pero lo que sigue siendo cierto es que con el SDI, Estados Unidos querían y quieren conseguir un sistema completo de Defensa Estratégica.

El Programa SDI estaba dividido en cinco categorías tecnológicas:

- Armas de energía cinética.
- Armas de energía dirigida.
- Sistemas de vigilancia y adquisición de blancos.
- Sistemas de control de batallas.
- Sistemas de apoyo.

Nos vamos a referir a las dos primeras estrategias tecnológicas que son las que más afectan a los satélites.

Armas de energía cinética

En la llamada «guerra de las galaxias», parece ser que los mecanismos de destrucción cinética están ganando la carrera a las armas de energía dirigida. El concepto es clásico: impacto de un proyectil, o explosión a corta distancia de una carga química o nuclear. Entre este tipo de armas se encuentran:

- Los cañones electromagnéticos de carril.
- Los misiles hipersónicos.
- HOE interceptador de combustión química dirigido a colisión.

Cañones electromagnéticos de carril

Estos cañones cinéticos son de dos variedades: propulsados química y eléctricamente. En los primeros proyectiles pueden alcanzar velocidades de 10 km/s y en los eléctricos de 30 km/s. Se halla en estudio el desarrollo de una tecnología mejor adaptada para conseguir proyectiles que alcanzarían velocidades de hasta 100 km/s.

Hasta ahora los problemas surgidos en los ensayos son concernientes a la fiabilidad, cadencia de tiro y capacidad de puntería.

Esta arma se compone de unos generadores homopolares que suministran una gran cantidad de energía (varios megajulios), que es transformada en una corriente de alta intensidad capaz de producir la fuerza electromagnética necesaria para la propulsión del proyectil.

El empleo de estos cañones sería ideal para interceptar satélites de órbitas baja y media, iluminando el blanco con un láser de baja potencia.

Misiles hipersónicos

En el polígono de White Sands (Nuevo México), han tenido lugar ensayos con misiles hipersónicos, provistos de autodirectores radáricos de ondas milimétricas, que destruyeron sus blancos por energía cinética.

Los datos obtenidos por radares terrestres o detectores, montados en satélites, fueron transmitidos a los autodirectores de los misiles de interceptación.

Estas tecnologías no son una idea nueva, ya que se aplicaron en el proyecto SAFEGUARD de los años sesenta con misiles *ABM Spartan* y *Sprint*. Lo que cambia es que la neutralización de los satélites o misiles se realiza con medios no nucleares y se dedicaría a órbitas bajas.

HOE

Es un interceptor de combustión química dirigido a colisión. Consta de un sensor (del blanco), de un mecanismo de destrucción de energía cinética y de un motor cohete.

Sensor infrarrojo de larga longitud de onda fabricado por HONEY WELL. El mecanismo de destrucción es una «sombriilla» de 15 pies de diámetro. El motor es un cohete bipropelente con capacidad para controlar el empuje construido por la casa ROCKETDYNE.

El día 10 de junio del año 1984, a las 11,26 GMT, a una altura de más de 100 millas sobre el Pacífico, un misil balístico fue interceptado y destruido por una «sombriilla letal».

Esta fue la cuarta y definitiva prueba. Las tres primeras habían logrado el 90 por 100 de lo previsto en el Programa HOE, no se consiguió la interceptación de la cabeza de guerra. La primera falló el bloqueo del blanco; la segunda lo blocó pero falló, y la tercera lo blocó pero tuvo un error por culpa del *software*.

La prueba final del HOE comenzó cuando un misil *ICBM* con cabeza de guerra simulada se lanzó desde la B. A. Bandenberg (California) hacia un blanco a 4.800 NM de distancia, al norte del atolón de Kwajalein en el Pacífico. El radar de tierra de Kwajalein detectó la cabeza de tierra 20 minutos antes del impacto, determinó la trayectoria y pasó los datos a la misión HOE y al computador del control de tierra.

El interceptor lanzado desde un silo de Meck Island, Kwajalein fue sacado de la atmósfera por un cohete MINUTEMAN de dos etapas. Deliberadamente

su trayectoria había sido escogida para errar el blanco por unas 20 NM. El sistema de guiado fue obligado a reconocer y corregir este error.

Una vez fuera de la atmósfera quedó libre el sensor infrarrojo de larga longitud de onda. Consumió la segunda etapa y se colocó con la velocidad y la posición correctas para mantener la puntería.

Después se separó el vehículo destructor, habiendo corregido el error de las 20 NM. El interceptor adquirió y siguió el blanco con un sensor infrarrojo. Contra el fondo frío del Espacio, el sensor fue capaz de distinguir y adquirir la cabeza de guerra que se encontraba a cientos de millas. El sensor blocó y siguió a su blanco usando para ello un cohete con capacidad de regular el empuje.

Poco antes del encuentro el interceptor desplegó su «sombriilla letal» a su máximo diámetro, 15 pies. La cabeza de guerra golpeó esta «sombriilla» a una velocidad cercana a 20.000 NM/h. La energía cinética de colisión fue tan grande que explosivos nucleares o convencionales, no fueron necesarios para destruirla.

Esta interceptación del *ICBM* es totalmente aplicable a cualquier satélite en órbita de baja cota.

Armas de energía dirigida

Estas armas podrán estar basadas en el Espacio o en tierra con espejos en el Espacio para dirigir su energía letal. Estas armas serían idóneas para interceptar satélites en órbitas bajas y medias.

Se ha previsto utilizar emisiones de radiaciones de varios tipos: láser, ondas milimétricas y haces de partículas cargadas o neutras.

Los láser de alta energía tendrán velocidades de 300.000 km/s, la de la luz; las armas de haces de partículas serán más lentas disparando moléculas de hidrógeno a 60.000 km/s, un quinto de la velocidad de la luz.

Haces lásericos químicos

Se está trabajando en el desarrollo de un arma compuesta de: láser químico de tipo HF (hidrógeno-flúor) que funciona en la parte infrarroja del espectro con una potencia de 5 Mw, un espejo de 4 m de diámetro y un mecanismo de seguimiento y guía.

Se han tenido en cuenta otros láser químicos, como los *excimers* (*excited dimers*), cuya corta longitud de onda permite obtener el potente efecto destructor que se necesita.

Los láser de corta longitud de onda radian su energía en impulsos, y los de larga longitud de onda en ondas continuas. Los de gran longitud de onda requerirían espejos mayores que los de corta, pero necesitarían menos nivel de energía.

El ejemplo del láser químico presenta dos graves problemas: 1) no es fácil obtener potencias de emisión adecuadas; 2) ha de reducirse el tiempo que el haz debe permanecer apuntando sobre el objetivo.

Láser de electrones libres

En este tipo de láser, el haz se forma haciendo pasar paquetes de electrones a un campo magnético producido por un conjunto de imágenes llamado «ondulador». Las longitudes de onda pueden variarse modificando la posición de los imanes, llegando hasta las correspondientes al ultravioleta y a los rayos X.

El rendimiento de un láser de electrones libres es muy alto, pero tiene el problema de conseguir emitir un haz continuo de mucha potencia.

Haces de partículas

La tecnología de los aceleradores de partículas para uso militar es la menos adelantada del conjunto de armas espaciales en desarrollo. En principio, un haz de partículas provocaría efectos mucho más destructores que un rayo láserico; penetraría profundamente en el blanco en vez de actuar en la superficie. Sin embargo, son enormes las dificultades para conseguir un haz de partículas muy denso y de gran energía.

Se han concebido dos tipos de armas según se trate de partículas cargadas o neutras. En la atmósfera los haces de partículas cargadas, han de propagarse de forma cilíndrica para que las interacciones con el aire no provoquen fenómenos de autofocalización. Debido a la enorme potencia requerida de los aceleradores de electrones, las armas de partículas cargadas tendrían que ser utilizadas en el suelo o a bordo de buques.

Las armas de partículas neutras serían más adecuadas para el empleo en el Espacio, donde no es posible focalizar correctamente un haz de partículas cargadas. El desarrollo actual consiste en un acelerador que despoja de un electrón a un átomo de hidrógeno cargado negativamente para hacerlo

neutro. El problema consiste en obtener un haz de intensidad suficiente y cuya dispersión sea inferior a un micro-radián, valor límite que la tecnología de hoy permite conseguir en las aplicaciones espaciales a distancias de 1.000 km.

Los desarrollos de las tecnologías relativas a la energía dirigida se limitan a la investigación. Los experimentos en curso tienen por objeto comprobar la validez de los principios formulados.

Armas antisatélites USA-ASAT

Las técnicas desarrolladas para la defensa ABM se prestan de manera evidente para la lucha contra satélites. En realidad, parece que sería mucho más fácil destruir plataformas espaciales que los ICBM, bien protegidos, esto se debe a que las primeras llevan equipos muy delicados y siguen órbitas bien conocidas.

Los satélites de detección previa, de telecomunicaciones y de navegación desempeñarían un papel determinante en las operaciones de mando y control de las fuerzas estratégicas, por lo que figurarían como objetivos prioritarios y se necesitaría protegerlos.

Los soviéticos disponen ya de armas antisatélites, y los americanos han efectuado pruebas satisfactorias con un misil lanzado desde un avión F-15.

El misil ALMV es un vehículo miniatura lanzado desde un F-15 para interceptar satélites. Es un misil de dos etapas y considerado como arma de energía cinética. Cuando se aproxima a su blanco se dirige por la energía radiada por el mismo; este arma se dirigiría contra satélites en órbita baja.

Programas ASAT en la Unión Soviética

La Unión Soviética tiene varios Programas ASAT en curso de desarrollo. Estos programas los tienen clasificados en los siguientes grupos:

Arma básica

Actualmente operacional tras muchos años de pruebas. Atacaría su blanco después de haber efectuado tan sólo una o dos vueltas alrededor de la Tierra. Los norteamericanos han observado en Tyuratam algunos SS-9 destinados al lanzamiento de este arma; el tiempo necesario para el tiro es inferior a 90 minutos. El techo práctico de la ASAT básica es de un millar de kilómetros con los lanzadores utilizados hasta ahora. El arma, que lleva un radar y detectores IR para localizar su objetivo, se aproxima a éste a la velocidad de 400 m/s, estallando a poca distancia y proyectando sobre él un haz de metralla.

Estación de combate ASAT

La primera fue ensayada en el año 1981. Este sistema se compone de dos vehículos: un COSMOS 1.267 de 15 tm, acoplado a un SALYUT 6 de 19 tm. El COSMOS posee una serie de troneras para eyectar misiles de un metro de longitud guiados por un dispositivo IR. Según informaciones publicadas, los sistemas de este tipo podrían atacar satélites norteamericanos, o lo que parece más verosímil, proteger los satélites soviéticos de un ataque eventual.

ASAT de láser

Se halla en curso de realización. Es perfectamente plausible el empleo de un láser químico, el cual es objeto de importantes trabajos de investigación dentro de un vasto programa emprendido en la Unión Soviética. Este armamento podría ser operacional dentro de unos años.

ASAT de órbita geoestacionaria a gran altitud

Se está procediendo a su desarrollo, se tratará de una nave espacial clásica de 5 tm provista aparentemente de un dispositivo de destrucción similar al de la ASAT clásica. La siguiente etapa debiera consistir de un satélite geoestacionario de caza, capaz de emitir un potente haz de energía dirigida.

ASAT de cargas nucleares

Pequeñas cargas nucleares lanzadas desde la Tierra para interceptar satélites en órbitas geoestacionarias.

Desarrollo de un arma de rayos

Ya hemos hablado del previsible desarrollo y experimentación por parte de Estados Unidos de unos sistemas de armas basados en haces de partículas y rayos láser de alta energía como armas antisatélites, dentro del Programa SDI.

En Asia Central la Unión Soviética estaba estudiando el desarrollo de armas antisatélites basadas en una plataforma espacial en órbita. Hasta ahora parece ser que las tecnologías más creíbles se basan en armas de haces de partículas cargadas y en rayos láser (hidrógeno fluorado) de alta energía, las denominadas armas de energía dirigida.

Todo este proceso, tan costoso en medios y de complicada tecnología, pretende interceptar y destruir satélites y los misiles intercontinentales americanos y también los misiles lanzados desde submarinos nucleares.

El BLOCK 647 (USAF/TRW), satélite de vigilancia y alerta previa con detectores de radiaciones y sensores infrarrojos, ha constatado siete pruebas, desde noviembre del año 1975, en Semipalatinsk, de haces de partículas cargadas.

Se han realizado pruebas en tierra de un láser de alta energía (hidrógeno fluorado) y preparativos para su lanzamiento al Espacio. Algunas pruebas realizadas en la estación SALYUT parecen indicarlo.

Se han detectado pruebas realizadas en Azgir (Kazakhstán), cerca del mar Caspio, de un nuevo generador magnetohidrodinámico de fusión, productor de un haz de partículas cargadas.

Con toda seguridad es en Semipalatinsk donde los soviéticos están desarrollando su arma de haces de partículas cargadas. Los satélites de vigilancia USAN han detectado pruebas realizadas al respecto. Un edificio central posiblemente albergue un «acelerador colectivo», un inyector de electrones y una planta de potencia. Este edificio mide 200 ft de ancho por 700 ft de largo con paredes de hormigón armado de 10 ft de espesor. Todo el conjunto estimado en un valor de 500 millones de dólares. El proyecto prevé un gasto durante diez años de tres billones de dólares.

Nada se sabe sobre el futuro de estos experimentos soviéticos; lo más probable es que dada la actual situación económica y política de la Unión Soviética los proyectos queden aplazados, si es que no son eliminados casi totalmente.

Dentro del Programa IDI americano también se prevén fuertes recortes en los temas espaciales, dado el actual clima de distensión; sin embargo, es necesario recordar que la situación mundial actual podría cambiar drásticamente en muy poco tiempo.

COMPOSICIÓN DEL SEMINARIO

Presidente: D. BARSEN GARCÍA-LÓPEZ RENGEL
General de Brigada de Aviación (R).

Secretario 1.º: D. JOSÉ LUIS RIPOLL GUTIÉRREZ
Capitán de Navío.

Secretario 2.º: D. AMADOR LUIS CALAFAT TERRASA
Coronel de Artillería DEM.

Grupo de Trabajo «X» El Escenario Espacial

Presidente: D. MANUEL BAUTISTA ARANDA
General de Brigada. Ingeniero aeronáutico.

Vocales: D. RAMÓN BLANCO RODRÍGUEZ
Coronel de Aviación DEM.

D. FERNANDO DAVARA RODRÍGUEZ
Teniente Coronel de Artillería DEM.

D. JOSÉ MARIA RIPOLL GUTIÉRREZ
Dr. Ingeniero aeronáutico.

D. LUIS IZQUIERDO ECHEVARRÍA
Ingeniero electrónico.

D. GUILLERMO VELARDE PINACHO
General de Brigada. Ingeniero aeronáutico.

Colaborador eventual: D. JOSÉ LUIS DEL HIERRO ALCÁNTARA
Capitán de Navío (R).

Las ideas contenidas en este trabajo son de responsabilidad de sus autores, sin que reflejen necesariamente el pensamiento del IEEE, que patrocina su publicación.

CUADERNOS DE ESTRATEGIA DEL CESEDEN

- | N.º | TÍTULO |
|-----|---|
| 01 | La industria alimentaria civil como administradora de las FAS y su capacidad para la defensa estratégica. |
| 02 | La ingeniería militar de España ante el reto de la investigación y el desarrollo en la defensa nacional. |
| 03 | La industria española de interés para la defensa ante la entrada en vigor del Acta Única. |
| 04 | Túnez: Su realidad y su influencia en el entorno internacional. |
| 05 | La Unión Europea Occidental. |
| 06 | Estrategia regional en el Mediterráneo occidental. |
| 07 | Los transportes en la raya de Portugal. |
| 08 | Estado actual y evaluación económica del triángulo España-Portugal-Marruecos. |
| 09 | Perestroika y nacionalismos periféricos en la Unión Soviética. |
| 10 | La batalla del año 2000 (las operaciones en el espacio estratégico de interés nacional). |
| 11 | La gestión de los programas de tecnologías avanzadas. |
| 12 | La batalla del año 2000 en el espacio (II). |
| 13 | Cobertura de la demanda tecnológica de las necesidades de la defensa nacional. |
| 14 | Ideas y tendencias en la economía internacional y en la española. |
| 15 | Identidad y solidaridad nacional. |
| 16 | Implicaciones económicas del Acta Única 1992. |
| 17 | Investigación de fenómenos belígenos. Método analítico factorial. |
| 18 | Las telecomunicaciones en Europa en la década de los 90. |
| 19 | La profesión militar desde la perspectiva social y ética. |
| 20 | El equilibrio de fuerzas en el espacio sur europeo y mediterráneo. |

N.º

TÍTULO

- 21 Efectos económicos de la unificación alemana y sus implicaciones estratégicas.
- 22 La política española de armamento frente a la nueva situación internacional.
- 23 Estrategia finisecular española. Méjico y Centroamérica.
- 24 La Ley Reguladora del Régimen del Militar Profesional.
- 25 Consecuencias de la reducción de los arsenales militares negociada en Viena.
- 26 Estrategia en el área iberoamericana del Atlántico sur.
- 27 El espacio económico europeo. Fin de la guerra fría.
- 28 Sistemas ofensivos y defensivos del espacio.
- 29 Sugerencias a la Ley y Reglamento de Ordenación de las Telecomunicaciones (LOT).
- 30 La configuración de Europa en el umbral del siglo XXI.
- 31 Estudio de inteligencia operacional.
- 32 Cambios y evolución de los hábitos alimenticios de la población española.
- 33 Repercusiones en la estrategia naval española de aceptarse las propuestas del este en la CSBM.
- 34 La energía y el medio ambiente.
- 35 Influencia de las economías de los países mediterráneos del norte de África en su política de defensa.
- 36 La evolución de la seguridad europea en la década de los 90.
- 37 Análisis crítico de una bibliografía básica de sociología militar en España. 1980-1990.
- 38 Recensiones de diversos libros de autores españoles editados entre 1980-1990 relacionados con las FAS.
- 39 Las fronteras del mundo hispánico.
- 40 Los transportes y la barrera pirenaica.

N.º

TITULO

- 41 Estructura tecnológica e industrial de Defensa ante la evolución estratégica del fin del siglo XX.
- 42 Las expectativas de la I + D de Defensa en el nuevo marco estratégico.
- 43 Costes de un ejército profesional de reclutamiento voluntario. Estudio sobre el Ejército profesional del Reino Unido y (III).



Colección Cuadernos de Estrategia

