

CENTRO SUPERIOR DE ESTUDIOS DE LA DEFENSA NACIONAL



**CUADERNOS
de
ESTRATEGIA**

10

INSTITUTO ESPAÑOL DE ESTUDIOS ESTRATÉGICOS

Estudios de investigación realizados por el
Seminario de: "El Espacio y la Defensa".

**EL ESCENARIO ESPACIAL
EN LA BATALLA
DEL AÑO 2000 (I)**

MINISTERIO DE DEFENSA



CENTRO SUPERIOR DE ESTUDIOS DE LA DEFENSA NACIONAL



**CUADERNOS
de
ESTRATEGIA**

10

INSTITUTO ESPAÑOL DE ESTUDIOS ESTRATÉGICOS

Estudios de investigación realizados por el
Seminario de: "El Espacio y la Defensa".

**EL ESCENARIO ESPACIAL
EN LA BATALLA
DEL AÑO 2000 (I)**

Febrero, 1990



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

**INSTITUTO ESPAÑOL DE ESTUDIOS ESTRATEGICOS.
Seminario de El Espacio y la Defensa.**

El escenario espacial en la batalla del año 2000 / Seminario El Espacio y la Defensa, Instituto Español de Estudios Estratégicos.— [Madrid] : Ministerio de Defensa, Secretaría General Técnica, D. L. 1990.—120 p.; 24 cm.—(«Cuadernos de Estrategia»; 10). Es el tomo I.

ISBN 84-7823-077-7.—NIPO 076-90-023-8.—D. L. M-16054-1990.
I. Ministerio de Defensa. Secretaría General Técnica, ed.
II. Título.

CENTRO DE DOCUMENTACION DEL MINISTERIO DE DEFENSA	
REGISTRO	9054
SIGNATURA	
ITEM N°	

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

ISBN: 84-7823-077-7

NIPO: 076-90-023-8

Depósito Legal: M-16054-1990

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"
GRUPO DE TRABAJO "X" EL ESCENARIO ESPACIAL

**EL ESCENARIO ESPACIAL
EN LA BATALLA DEL AÑO 2000 (I)**

COMPOSICIÓN DEL SEMINARIO

- Presidente:* D. BARSÉN GARCÍA LÓPEZ-RENGEL
General de Brigada del EA (DEM y Guerra Naval).
- Secretario 1.º:* D. ANTONIO DE QUEROL LOMBARDEO
Coronel de Infantería de Marina (Guerra Naval y EMACON).
- Secretario 2.º:* D. GONZALO PARENTE RODRÍGUEZ
Coronel de Infantería de Marina (DEM y EMACON).

GRUPO DE TRABAJO "X" EL ESCENARIO ESPACIAL EN LA BATALLA DEL AÑO 2000

- Presidente:* D. MANUEL BAUTISTA ARANDA
General de Brigada Ingeniero Aeronáutico.
- Vocales:* D. GUILLERMO VELARDE PINACHO
General de Brigada Ingeniero Aeronáutico.
- D. LUIS PUEYO PANDURO
Coronel Ingeniero Aeronáutico.
- D. RAMÓN BLANCO RODRÍGUEZ
Coronel del EA (DEM y EMACON).
- D. LUIS IZQUIERDO DE ECHEVARRÍA
Coronel de Ingenieros del ET.
- D. JOSÉ LUIS DEL HIERRO ALCÁNTARA
Capitán de Navío (Guerra Naval y EMACON).

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

ÍNDICE

	<u>Págs.</u>
PREÁMBULO	11
<i>Capítulo I</i>	15
1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS ESPACIALES DE LA DEFENSA	17
<i>Por Luis Pueyo Panduro</i>	
1.1 Generalidades	17
1.2 Determinación de una órbita	17
1.3 Ventajas técnicas y operativas de los satélites	20
1.4 Clasificación	29
1.5 Aplicaciones geodésicas para la Defensa	33
<i>Capítulo II</i>	37
2. PERSPECTIVAS PARA EL AÑO 2000 DE LOS SATÉLITES DE NAVEGACIÓN	39
<i>Por José Luis del Hierro Alcántara</i>	
2.1 Introducción histórica	39
2.2 Los sistemas de navegación del futuro	42
2.3 Sistema de posición global (GPS)	43
2.4 Perspectivas de futuro	49
2.5 Aspectos legales y jurídicos del uso del GPS	51
2.6 Otras iniciativas	51
2.7 Oferta comercial de receptores	51
2.8 Conclusiones	53

Capítulo III	55
3. PERSPECTIVAS PARA EL AÑO 2000 DE LOS SATÉLITES DE VIGILANCIA Y OBSERVACIÓN	57
<i>Por Manuel Bautista Aranda</i>	
3.1 Introducción	57
3.2 Satélites de reconocimiento fotográfico	58
3.3 Áreas que puede sobrevolar un satélite	59
3.4 Cantidad de imágenes que puede tomar	61
3.5 Frecuencia con que puede fotografiarse un objetivo	64
3.6 Calidad de las imágenes obtenidas	67
3.7 Posibilidades de enmascaramiento e interferencia del satélite.	73
3.8 Programa de los Estados Unidos	76
3.9 Programa de la Unión Soviética	79
3.10 Otros programas	81
Capítulo IV.....	83
4. PERSPECTIVAS PARA EL AÑO 2000 DE LOS SATÉLITES C ³ I ..	85
<i>Por Luis Izquierdo Echevarría y Luis Pueyo Panduro</i>	
4.1 Definiciones	85
4.2 Situación actual	89
4.3 Perspectivas futuras	98
CONSIDERACIONES FINALES	109
<i>Por Barsén García López-Rengel</i>	

PREÁMBULO

El propósito que se pretende lograr con este trabajo, es el de realizar un estudio, con la mirada puesta en el año 2000, para determinar cuáles pueden ser los medios que estarán operativos dentro del marco del escenario espacial.

Por las especiales características que lo definen, por la relativa novedad de los ingenios que se pretenden situar en él, y por la rapidísima evolución que sufren estos mismos medios, su estudio está condicionado por las especiales características de tal forma, que no permiten establecer unos criterios básicos que definan claramente el cómo y el para qué de los ingenios que se han de colocar en la atmósfera exterior, ya sea con fines bélicos, científicos o de cualquier otro tipo.

El primer problema que se presenta es el de la propia delimitación del Espacio exterior. Fijar con exactitud dónde se considera que comienza su límite inferior, cuáles son sus posibilidades de utilización y cuáles sus limitaciones.

En una primera fase, este seminario inició su trabajo de la forma que parecía más lógica en un proceso normal de investigación, comenzando con el estudio de ese mismo espacio.

A pesar de tener preparada una recopilación de datos y terminado ya algún trabajo relacionado con el Espacio, y que por sí sólo podría ser un tema completo de trabajo, quedó detenido este estudio y momentáneamente archivado por la petición recibida de la Secretaría Permanente para orientar el trabajo hacia el tema: «El escenario espacial en la batalla del año 2000».

De forma simultánea al estudio del Espacio exterior, otros miembros del seminario trabajaban en la preparación de lo que nos parecía el tema que en una secuencia lógica debería seguir una vez terminado el estudio del Espacio. Este era el de los medios o ingenios capaces de situar allí los objetos o las armas que han de ser sus usuarios. Para ello se preparó una

documentación sobre misiles balísticos y de otras armas de posible utilización en el Espacio. Se piensa que este estudio, detenido también momentáneamente, puede constituir el futuro tema de trabajo, al mismo tiempo que se continúa con el tema de los satélites.

El motivo principal para dar prioridad al tema de los satélites sobre el de los misiles, se funda en que ya existen algunos trabajos realizados o iniciados por otros seminarios, especialmente los que tienen como objetivo el estudio de la Iniciativa de Defensa Estratégica Americana (SDI), en los que se tocan algunos aspectos del uso de los misiles en el Espacio.

Además, España cuenta ya con una infraestructura capaz para la fabricación de elementos componentes de satélites, y en este campo la industria española trabaja ya en diversos programas de cooperación internacional y goza de un cierto prestigio. Se sabe que contará con satélites propios en el futuro próximo, como los que ya están en marcha en programas iniciados en colaboración con otras naciones europeas.

No obstante lo concreto del título: Los satélites en la batalla del año 2000, ha sido necesario iniciar primero un estudio para el conocimiento de los propios satélites, de su tecnología, de sus diferentes formas de utilización, de sus posibilidades actuales y de su evolución futura.

Esta necesidad de conocer primero los satélites en sí, se debe a la falta de un estudio actualizado de divulgación que facilite el posterior estudio de su utilización como armas espaciales para el año 2000. Esta tarea está fuertemente condicionada por lo poco que nos dejan conocer las dos grandes potencias (especialmente la URSS) sobre las posibilidades reales de utilización de estas armas. De lo que se va conociendo, se puede pensar que no habrá una gran diferencia entre lo que ya se sabe en la actualidad y lo que estará plenamente operativo en la fecha fijada del año 2000, ya que si para las armas convencionales es normal que, desde la etapa de investigación y desarrollo hasta la de operatividad, exista un desfase superior a diez años, en el caso de los satélites y de sus lanzadores este plazo es más elevado aún, y por ello parece no previsible que, operativamente hablando, aparezcan grandes sorpresas dentro de lo que ya se conoce teóricamente o de lo que está en fase de desarrollo en la actualidad y que estará operativo en la citada fecha.

Se trabajó sólo en esta ocasión sobre una pequeña parte de las diferentes modalidades de satélites actualmente conocidos, ante la imposibilidad de incluir en un solo trabajo de extensión limitada toda la amplia panoplia que existe en la actualidad. En futuros trabajos se irá ampliando

este estudio y se mantendrán actualizados los datos que ya sobre el tema se poseen.

Por último, queremos dar constancia de que el trabajo ha sido realizado con la participación de todos los miembros del seminario, aunque aparezcan como responsables de cada capítulo los que se considera que son los especialistas con más experiencia en el asunto titulado.

EL PRESIDENTE DEL SEMINARIO

CAPÍTULO PRIMERO

INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS ESPACIALES DE LA DEFENSA

1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS ESPACIALES DE LA DEFENSA

POR LUIS PUEYO PANDURO

1.1. Generalidades.

El espacio extraatmosférico es un medio físico accesible con una permanencia prolongada a partir de la inyección en órbita del primer satélite artificial (4 de abril de 1957).

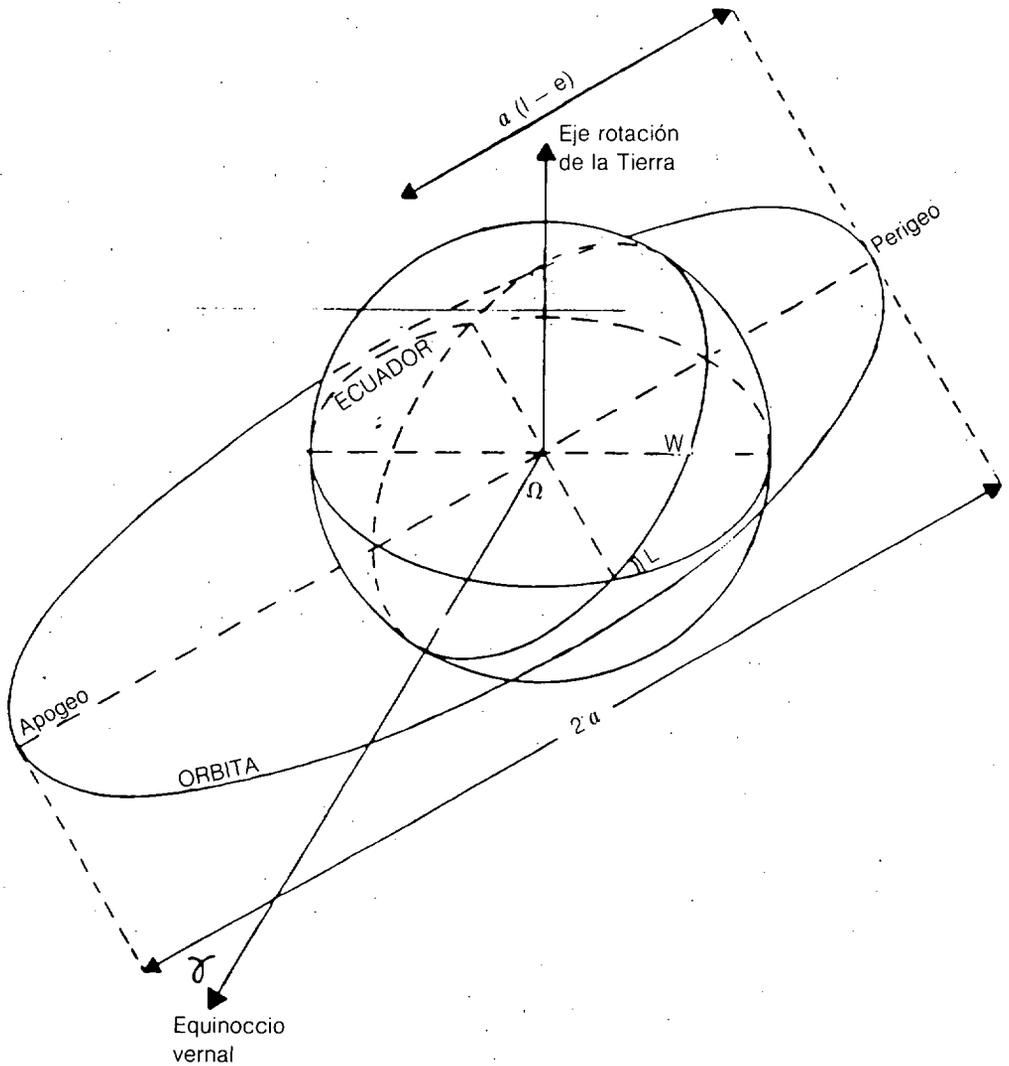
Se inició entonces una intensa investigación científica dirigida al conocimiento del espacio que, a su vez, ha requerido el desarrollo de una tecnología específica, la tecnología espacial.

La evolución de la ciencia y de la tecnología del espacio ha sido tan rápida y tan fecunda que el espacio extraatmosférico se ha convertido en muy pocos años en un medio de aplicación y de explotación, incluso comercial, como es patente en el dominio de las comunicaciones, y, como los demás medios físicos accesibles al hombre, no podía escapar del destino inexorable de convertirse también en un medio utilizado por la Defensa.

El avance de la tecnología espacial ha hecho posible el acceso al espacio con carácter operacional, es decir, con naves seguras, automáticas y tripuladas, estabilizadas en tres ejes, con sistemas de alimentación y de comunicaciones confiables, con capacidad de maniobra; con capacidad de regreso a la Tierra y con una vida operativa de una decena de años.

1.2. Determinación de una órbita.

Para determinar la órbita elíptica de un satélite de la Tierra se requieren seis parámetros, como se expone a continuación.



— El plano de la órbita se determina mediante dos ángulos:

- i*, inclinación, ángulo que forma el plano de la órbita con el ecuador, medido en sentido positivo desde el ecuador a la trayectoria ascendente, de sur a norte, del satélite.
- Ω , longitud del nodo ascendente, ángulo que forma la línea de nodos (recta de intersección del plano de la órbita con el ecuador) con la dirección del Sol en el equinoccio vernal (21 de marzo, fecha de paso del Sol del hemisferio Sur al hemisferio Norte).

El ángulo Ω se mide entre la dirección del Sol en el equinoccio vernal y la dirección del nodo ascendente (punto de intersección de la órbita con el ecuador cuando el satélite pasa del Sur al Norte).

— La dirección del eje mayor de la elipse orbital, en el sentido del perigeo (punto de la órbita más próximo a la Tierra) se determina por el ángulo que forma con la línea de nodos dirigida al nodo ascendente W , argumento del perigeo.

— La figura geométrica elíptica se determina dimensionalmente por dos parámetros:

a , semieje mayor.

e , excentricidad.

La órbita se sitúa en el plano conociendo W y el foco de la elipse más próximo al perigeo (centro de la Tierra).

— La órbita geométrica queda determinada con los parámetros anteriores, pero esta órbita puede ser descrita por numerosos satélites de modo que para relacionar la órbita con un satélite es necesario un parámetro que relacione la posición con el tiempo. Para este fin se adopta como posición el perigeo y el parámetro correspondiente es:

T , tiempo de paso por el perigeo.

En consecuencia para determinar una órbita se requieren los seis parámetros: i , Ω , W , a , e , T .

Estos seis parámetros se pueden determinar mediante la observación en un instante de la posición y la velocidad del satélite.

ÓRBITAS ESPACIALES:

Órbita geoestacionaria.

Es una órbita ecuatorial, circular, a una distancia de la Tierra tal, que la velocidad angular del satélite en su rotación alrededor de la Tierra es igual a la velocidad de rotación de la Tierra, W . La velocidad lineal de un satélite en órbita circular de radio r es:

$$v = \sqrt{\frac{\mu}{r}}$$

siendo $\mu = G M$

G , constante de gravitación universal

M , masa de la Tierra

En consecuencia, la distancia de la órbita geostacionaria al centro de la Tierra, r , está dada por:

$$\frac{1}{r} \sqrt{\frac{\mu}{r}} = W, \text{ o bien } r = \left(\frac{\mu}{W^2} \right)^{1/3}$$

resultando, $r = 40.000$ kms., y la altitud $h = 36.000$ km.

Un satélite en esta órbita está fijo respecto a la Tierra.

Aplicación principal: Telecomunicaciones.

Órbita heliosíncrona.

Es una órbita cuyo plano orbital gira alrededor del eje de rotación de la Tierra a la misma velocidad que el Sol en su movimiento aparente respecto a la Tierra, es decir, aproximadamente $1^\circ/\text{día}$.

Con esta órbita el plano orbital forma siempre el mismo ángulo con la dirección del Sol y el satélite pasa por el ecuador aproximadamente a la misma hora solar.

Este efecto se consigue utilizando convenientemente la perturbación producida por el campo gravitatorio terrestre, que origina una velocidad de rotación del plano orbital:

$$\dot{\Omega} = -\frac{3}{2} J_2 \left(\frac{R}{P} \right)^2 \sqrt{\frac{\mu}{a^3}} \cos i \quad \text{siendo:}$$

J_2 , constante debida a la falta de esfericidad de la Tierra.

R , radio ecuatorial de la Tierra.

P , parámetro de la órbita, $p = a(1 - e^2)$.

y eligiendo p , a , i de modo que: $\dot{\Omega} = -1^\circ/\text{día}$.

Este efecto se denomina regresión de nodos.

Aplicación principal: Reconocimiento militar, teledetección.

Órbita polar.

De la expresión anterior se obtiene que $\dot{\Omega} = 0$ para $i = 90^\circ$, en consecuencia el plano de una órbita polar se mantiene fijo en el espacio.

Aplicación: observación total de la Tierra.

1.3. Ventajas técnicas y operativas de los satélites.

El progreso espectacular de la utilización del espacio se debe esencialmente a las grandes ventajas técnicas que ofrece el espacio extraatmosférico. La Defensa también se beneficia de estas ventajas y de otras operativas, ambas se resumen a continuación.

1.3.1. Técnicas.

- Movimiento indefinido sin consumo de energía después de haber alcanzado un valor umbral de velocidad, la velocidad de inyección en órbita.

El espacio es el único medio físico que permite el desplazamiento sin consumo de energía, como consecuencia de la atracción universal.

El efecto de la atracción gravitatoria también se puede utilizar para aprovechar las perturbaciones de las órbitas de satélites de la Tierra para aplicaciones prácticas, en particular la regresión de la línea de nodos para conseguir órbitas sincronizadas con el Sol, de gran interés para observación de la Tierra.

Un caso particular de órbita de gran interés, civil y militar, es la órbita geoestacionaria, en la que el movimiento del satélite es nulo respecto a la Tierra. Numerosos satélites de la Defensa utilizan esta órbita.

- Energía solar, gratuita e indefinida.

La energía solar, que tiene un aprovechamiento limitado en la superficie terrestre como consecuencia de la absorción de una gran parte de la radiación solar por la atmósfera, en el espacio extraatmosférico se puede utilizar en toda su intensidad.

Así se hace en la mayoría de los satélites, tanto civiles como militares, con algunas excepciones. Como caso particular de estos últimos se pueden mencionar los satélites soviéticos de vigilancia naval, equipados con radar, que utilizan como fuente de alimentación un generador nuclear.

La energía solar permite disponer de una fuente de energía gratuita e indefinida, que se puede transformar en energía eléctrica mediante células solares, por el efecto fotovoltaico, para alimentación eléctrica de los sistemas y equipos del satélite.

- Frenado atmosférico.

Así como la aceleración de una nave hasta alcanzar la velocidad de inyección requiere el consumo de gran cantidad de energía, para hacer regresar la nave a la Tierra solamente es necesaria una pequeña cantidad de energía para desorbitar la nave o el elemento de la nave que se trata de recuperar.

Para frenar su velocidad se utiliza un efecto natural, el frenado atmosférico en el proceso de reentrada.

En consecuencia, tanto el regreso de naves tripuladas a la Tierra, como el envío de cápsulas desde un satélite a la Tierra, operación de amplia

utilización en los satélites militares de reconocimiento, se facilita considerablemente por la existencia de la atmósfera.

- El espacio es un medio de hostilidad limitada para la vida humana.

El espacio extraatmosférico es ciertamente hostil al hombre pero el grado de hostilidad está prácticamente limitado.

La sollicitación mecánica de las naves tripuladas en el espacio se limita a la diferencia de presión entre el interior y el exterior, cuyo valor máximo es el valor de la presión interior, es decir, del orden de una atmósfera independientemente de la profundidad que se alcance en el espacio. Si se compara esta situación con la que presenta el medio submarino, en el que cada metro que se profundiza supone un metro de agua de presión adicional sobre un casco que trabaja a compresión, mientras el material de la nave espacial trabaja a tracción y con una carga reducida e independiente de la profundidad, se comprende la gran ventaja técnica que ofrece el espacio para el diseño y construcción de las naves y de los trajes espaciales de los astronautas en operaciones EVA (*Extra-Vehicular-Activity*).

Otras sollicitaciones que requieren medidas de protección como las radiaciones y los micrometeoritos no plantean dificultades técnicas serias. El sistema de soporte de vida en una nave espacial es un problema técnico plenamente resuelto.

- Ingravidez.

La ingravidez, o la microgravedad (puesto que la gravedad nula solamente se presenta en el centro de masa de la nave), es una ambientación inducida por el movimiento orbital, que si bien constituye una sollicitación para el ser humano para la que se requiere una adaptación, que no implica dificultades, ofrece también una gran ventaja.

Además del potencial de utilización de esta ambientación en procesos de experimentación y de producción en el espacio que indirectamente pueden ser de interés para la Defensa (*Ciencia de Materiales y Ciencias de la Vida*), la gran ventaja para la Defensa es la facilidad de manipulación en órbita de grandes elementos, estructuras, módulos, satélites, etc., por el mínimo esfuerzo requerido.

Esta circunstancia, unida a la capacidad de carga del *Shuttle*, actualmente, y en el futuro de otros sistemas con capacidad de transporte entre la Tierra y el espacio en ambos sentidos y con capacidad de maniobra en órbita hace posible operaciones como:

- Reparación de satélites en órbita.

- Recuperación de satélites en órbita y su transporte a tierra (se hace notar la incidencia que esta operación puede tener en relación con la Defensa, puesto que sería posible la captura de satélites enemigos). Actualmente esta capacidad se limita a órbitas próximas a la Tierra (LEO).
- Montaje de grandes estructuras en el espacio ensamblando elementos inyectados en órbita. La estación Espacial Internacional (ISS), proyecto en el que participan con los EE.UU., ESA, Japón y Canadá, se basa en esta capacidad.

Todas estas operaciones se han realizado ya, de modo que su factibilidad está demostrada.

Las consideraciones expuestas muestran que las características naturales, la gravitación, el Sol y la atmósfera terrestre y la inducida de la microgravedad facilitan la utilización del espacio y que la hostilidad natural del espacio extraatmosférico es superable.

1.3.2. Operativas.

Para la Defensa el dominio de puntos elevados ha sido tradicionalmente una aspiración por las ventajas de superioridad que ofrece para observar y atacar al enemigo y para operaciones como comunicaciones. Evidentemente el espacio es el medio ideal para conseguir estas ventajas, pero evidentemente ofrece muchas más y ha ampliado el espectro de aplicaciones de tal manera que actualmente es básico para las operaciones militares, principalmente de apoyo, siendo el aspecto agresivo —la mayor ventaja tradicional— el que menos se ha desarrollado en el espacio.

Esta situación pone en evidencia una gran ventaja operativa, la impunidad. Aunque posteriormente se mencionará la posibilidad de agresión en el espacio, de hecho los satélites de la Defensa operan libremente y ambas potencias aceptan esta situación, incluso con una base legal, puesto que en el Tratado SALT-II se admite que cada potencia utilice los medios técnicos disponibles (evidentemente los satélites de reconocimiento) para la verificación del cumplimiento del tratado.

Ambas potencias han respetado la operación de los satélites militares, no obstante se ha producido una circunstancia que podría asociarse a una agresión: Un satélite de reconocimiento americano sobre Siberia ha sufrido los efectos de una luz intensa que ha saturado sus sensores impidiendo la observación. Evidentemente se puede atribuir este efecto a la operación de un láser dirigido al satélite, aunque se ha dado una explicación, posiblemente política, de que el efecto se ha debido a una explosión de gas.

Sin embargo se desarrollan dispositivos de autodefensa de los satélites militares para contrarrestar las amenazas que pesan sobre ellos.

Este tipo de amenazas son de dos tipos, de carácter general y de carácter específico para los diversos tipos de satélites.

El ataque a satélites con carácter general está representado por los sistemas ASAT (con las limitaciones actuales a LEO) y por el efecto de las explosiones nucleares en el espacio.

Para contrarrestar el efecto de destrucción mecánica el dispositivo indicado es la capacidad de maniobra del satélite atacado para evadir el ataque. Este sistema implica medios de detección del ataque, ya sea incorporados en el satélite o en tierra, en este caso complementados con telemando. Este procedimiento es sin duda más eficaz contra el sistema soviético que contra el que se desarrolla en los EE.UU., por falta de tiempo de reacción.

Respecto a los efectos de explosiones nucleares exoatmosféricas, aunque no se dispone de un conocimiento experimental, ni se puede adquirir dadas las prohibiciones establecidas por tratados, los estudios teóricos demuestran que la radiación X, los neutrones, la radiación gamma y muy especialmente el impulso electromagnético (EMP) producirían daños irreparables en los circuitos eléctricos en los satélites que se encontraran en un radio de considerable extensión, del orden de 4.000 kms para una explosión de 10 M ton.

La única protección posible es el *endurecimiento* de los satélites a los efectos de la radiación. Este tema es objeto actualmente de una intensa investigación.

Las amenazas de carácter específico son muy diversas, por ejemplo, las interferencias radioeléctricas para los satélites de comunicaciones. Hay medios técnicos para dificultarlas, pero sin duda el procedimiento más eficaz es el previsto en el futuro sistema militar americano, MILSTAR, que consiste en utilizar frecuencias muy elevadas, 44 Ghz en sentido ascendente y 20 Ghz en el descendente, frecuencias muy difíciles de interferir porque el haz radiante es muy estrecho. El empleo de estas frecuencias tan elevadas tiene también la ventaja de una gran capacidad de información.

Otro ejemplo típico es el de los satélites de alerta avanzada que se pueden atacar mediante un destello luminoso intenso que sature sus sensores, para este fin el láser es el dispositivo más indicado. Para defensa contra este tipo de agresión se considera la posibilidad de utilizar detectores en el satélite que al recibir un haz láser dirigido al satélite manden el cierre de un obturador a la entrada del telescopio de infrarrojos.

Otras aplicaciones de gran interés militar como: reconocimiento, alerta avanzada, vigilancia naval, comunicaciones y navegación y otras típicas en el ámbito civil, como la meteorología y la geodesia, pero que suministran datos de gran valor militar, han superado ampliamente las pocas iniciativas de utilización del espacio como medio de agresión (FOBS, MOBS), si bien en realidad la más grave amenaza para la humanidad procede del espacio. Las ojivas nucleares (RV, MRV, MIRV, MARV) de los misiles balísticos (ICBM, IRBM, SLBM) proceden del espacio y siguen un movimiento orbital hasta la reentrada en la atmósfera, aunque no se trate de sistemas típicamente espaciales.

El espacio también se utiliza con carácter agresivo para el ataque a satélites enemigos, mediante sistemas ASAT.

Por último se menciona la situación de la defensa contra los misiles balísticos (BMD) que puede cambiar el carácter, hasta ahora esencialmente pacífico del espacio, en un futuro próximo. Después de los primeros desarrollos y despliegue de los sistemas ABM y de la evaluación por los EE.UU. de los sistemas de cobertura amplia Sentinel y Safeguard y sin duda de un ejercicio similar en la URSS, las dos potencias acordaron limitar el despliegue de estos sistemas por el Acuerdo SALT-ABM 1974.

Sin duda ambas potencias llegaron a la conclusión de la falta de efectividad del sistema como consecuencia de las limitaciones técnicas del momento. Los EE.UU. incluso renunciaron al despliegue permitido por el tratado.

Este bloqueo se ha mantenido, al menos oficialmente, hasta el año 1983. En marzo de ese año el discurso del presidente Reagan, popularmente conocido con el *Star Wars Speech*, ha dado estado oficial a la SDI, la Iniciativa de la Defensa Estratégica, que puede tener como resultado la utilización del espacio como un escudo protector contra las ojivas de los misiles balísticos.

Estas consideraciones ponen de manifiesto el gran atractivo que ofrece el espacio para la Defensa. Era lógico que no pasara inadvertido para las grandes potencias con capacidad espacial, sino que contrariamente trataran de aprovecharlo al máximo. Así ha ocurrido, la Defensa ha sido protagonista distinguida del desarrollo de la ciencia y de la tecnología del espacio desde la iniciación de la carrera espacial. Incluso antes, es significativo señalar que las primeras comunicaciones vía satélite las realizó la Navy americana utilizando nuestro satélite natural, la Luna, como reflector en el proyecto *Communication By Moon Relay* (CMR) entre 1954 y 1959,

que posteriormente se transformó en un enlace de comunicaciones entre Washington y Hawai que fue operacional entre 1959 y 1963.

Este proyecto se había iniciado por el Army con el nombre de Proyecto Diana.

El primer satélite artificial de comunicaciones fue también un proyecto militar, el *Score*, construido por el Army, fue inyectado en órbita por la Air Force el 18 de diciembre de 1958, y fue seguido en octubre de 1960 por el *Courier-IB* del *Army Signal Corps*.

En consecuencia es evidente que la Defensa ha jugado un papel decisivo en la iniciación de las actividades espaciales y ha mantenido el liderazgo hasta nuestros días.

Sin embargo se hace notar que la Defensa ha centrado su esfuerzo en las aplicaciones de su interés y no sólo no ha sido protagonista de las hazañas espaciales más espectaculares, como la exploración lunar y planetaria, sino que, en gran medida, sus actividades han pasado desapercibidas para el gran público que, por ejemplo, ha conocido la existencia de satélites de vigilancia naval, equipados con radar y alimentados por generadores nucleares, cuando se ha producido accidentalmente la caída en tierra de elementos con radiactividad, procedentes de naves soviéticas (como consecuencia de un fallo en la operación de inyección en una órbita superior) y que han supuesto un peligro para la población.

Este hecho, ampliamente discutido en las Naciones Unidas, aunque ha tenido más consecuencias políticas que prácticas, puesto que la URSS no ha renunciado a la utilización de la energía nuclear, e incluso se ha repetido el accidente, evidentemente ha alcanzado cierta popularidad y ha mostrado al público actividades militares poco conocidas.

Sin duda debido a razones políticas la Defensa americana ha sido más prudente y ha renunciado a la utilización de la energía nuclear en sus naves. No así la NASA que ha tenido que utilizarla en naves que acceden al espacio profundo, para la investigación interplanetaria y para los dispositivos instrumentales instalados en la Luna en las misiones Apollo, ALSEP (*Apollo Lunar Surface Experiments Package*), que han transmitido sus datos a tierra.

La importancia del espacio para la Defensa se refleja en el hecho de que se ha convertido en el mayor usuario del espacio, con el mayor número de satélites que orbitan alrededor de la Tierra.

En los EE.UU. el gasto anual medio en el espacio es del orden de 13.000 millones de dólares, aproximadamente, la mitad se destina al programa civil y la otra mitad al militar. Este esfuerzo contrasta con el aún muy reducido

Europeo, que dedica a actividades espaciales militares aproximadamente el 2 por 100 del presupuesto americano.

Aunque esta cifra muestra que el esfuerzo europeo es muy reducido; es de esperar que las iniciativas de UK, Francia, la RFA e Italia, países que han reconocido a nivel político la importancia del espacio para la Defensa, tenga como consecuencia un rápido crecimiento de los recursos destinados a la actividad espacial militar europea.

En el caso de los EE.UU. la presencia del máximo nivel político, el nivel presidencial, ha sido una actitud constante en la actividad espacial, tanto civil como militar. Como ejemplos se pueden citar:

- La creación de la NASA fue una iniciativa del presidente Eisenhower (Public Law 85-568, firmada por el presidente el 29 de julio de 1958).
- El 25 de mayo de 1961 el presidente Kennedy, en un discurso ante el Congreso, pidió su apoyo para realizar la misión de aterrizaje del hombre en la Luna y el retorno a la Tierra, antes de terminar la década.
El día 16 de julio de 1969 se inició la misión *Apollo 11*, que convertiría en realidad el objetivo del presidente.
- El día 15 de marzo de 1967 el presidente Johnson declaraba que si bien se habían gastado cuarenta mil millones de dólares en el programa espacial el conocimiento obtenido de la fotografía espacial (en clara alusión a los satélites de reconocimiento) valía diez veces más, porque se conocía los misiles (estratégicos) que tenía el enemigo.
- En julio de 1982 se hace público el documento presidencial sobre Política Espacial de los EE.UU., del que se extraen literalmente algunos párrafos significativos:
 - «Dentro de los fines pacíficos caben actividades que persigan objetivos de seguridad nacional.»
 - «Los EE.UU. consideran que los dispositivos espaciales son propiedad nacional del país que los lanza y que tienen derecho de paso y operación en el espacio sin interferencias. Toda interferencia deliberada de dispositivos espaciales se considerará infracción de derechos soberanos.»
 - «El programa espacial de los EE.UU. tendrá dos vertientes distintas, pero estrechamente interrelacionadas, la de seguridad nacional y la civil. Para evitar duplicaciones innecesarias se mantendrá una estrecha cooperación e intercambio de datos entre ambos programas.»

- Los EE.UU. llevarán a cabo actividades en el espacio en soporte de su derecho de autodefensa.»
- Refiriéndose al *Shuttle*: «Se otorgará prioridad de lanzamiento a las misiones de seguridad nacional». En el mismo documento, las directrices presidenciales sobre el Programa Espacial de Seguridad Nacional muestran claramente la realidad de la militarización del espacio.
- En marzo de 1983 el discurso del presidente Reagan, popularmente conocido como el *Star Wars Speech*, confirma la postura presidencial a favor del desarrollo espacial militar.
- En enero de 1984, el presidente Reagan ha hecho el ofrecimiento a los «amigos y aliados» de los EE.UU. para participar en el programa de Estación Espacial, que la NASA debe realizar dentro de la siguiente década. (ESA, Japón y Canadá han respondido positivamente a este ofrecimiento, lo que ha tenido como consecuencia la nueva designación de Estación Espacial Internacional.)

Evidentemente la importancia reconocida al espacio como medio de operación de la Defensa en los EE.UU. tiene una equivalencia en la URSS, aunque existe menos transparencia respecto a la organización y distribución de funciones. Pero tanto en una como en otra potencia se ha dado estado oficial a la fuerza espacial.

El 1 de septiembre de 1982 se ha creado el *Space Command* en los EE.UU., el 1 de enero de 1983 se han activado la Primera Ala Espacial y la *Space Command's Communication Division* en Peterson AFB (Colorado) cerca del cuartel general de NORAD en Colorado Springs. El general Hartinger fue nombrado jefe de NORAD y del *Space Command*.

Como respuesta la URSS creó el *Mando Cósmico* y designó para su jefatura al teniente general Shatalov.

Esta situación no debe asociarse con la agresividad, la realidad es muy diferente. El *Space Command* tiene el mando militar sobre un conjunto de unidades muy diferentes a las tradicionales, porque ninguna unidad dispone de armamento y ninguna actúa bajo el sistema tradicional de mando, sino con automatismo y sometidas a la disciplina de los ordenadores.

La práctica ausencia de armamento en el espacio no excluye ciertos riesgos en la utilización del espacio por la Defensa, un caso típico es la utilización de un generador nuclear para la alimentación del radar en los satélites de vigilancia naval soviéticos. Aunque está previsto que al terminar

su misión la parte radiactiva de la nave se separó y se inyectó en una órbita alejada, para evitar su descenso a tierra, esta operación ha fracasado ya en dos satélites, produciéndose la caída de restos radiactivos, afortunadamente sin consecuencias graves, pero causando la natural alarma por el peligro potencial para toda la zona sobrevolada por el satélite en sus últimas órbitas.

1.4. **Clasificación.**

La amplitud del espectro de la utilización del espacio por la Defensa es tan extensa que se hace necesaria una clasificación que permita sistemáticamente la presentación de las actividades militares espaciales.

Se hace notar que así como la aviación militar permite una clasificación basada en el armamento (táctica, estratégica) o en la función no armada (reconocimiento, transporte), pero no tendría sentido una aviación militar no armada, la entrada de la Defensa en el espacio ha sido esencialmente no agresiva y con fines de prevención del conflicto o de soporte a las actividades de la Defensa.

Los satélites de la Defensa se han desarrollado con dos finalidades esenciales: inteligencia y servicios, si bien existen otros dispositivos espaciales que no se pueden incluir en estos dos grandes grupos, pero que se tomarán en consideración a efectos de una clasificación detallada.

1.4.1. *Sistemas de inteligencia.*

Los sistemas de inteligencia son los que proveen información de interés militar obtenida mediante observación del enemigo. Se excluye la información de fenómenos naturales, como la meteorología, cuyo interés militar es evidente.

Los sistemas de inteligencia tienen una finalidad que han cumplido con eficacia, la prevención de la guerra.

Los satélites de reconocimiento han permitido a las grandes potencias conocer el potencial estratégico mutuo y la situación de su despliegue en tierra, con extraordinaria precisión, mediante la utilización de satélites geodésicos. El efecto inmediato ha sido la eliminación del factor sorpresa respecto a medios y la consecuencia el acuerdo sobre limitación de armamento nuclear y la búsqueda de una situación equilibrada (Acuerdos SALT I y II).

Los satélites de alerta avanzada permiten la detección inmediata de un ataque nuclear y la respuesta con un ataque similar antes de sufrir los

efectos del ataque (*Lannch on warning*). Esta situación, que elimina la ventaja tradicional en la guerra convencional del factor sorpresa en el ataque, es un elemento disuasorio para desencadenar un conflicto que no puede ganar ningún beligerante.

Los satélites de inteligencia permiten vigilar el cumplimiento de los tratados, obtener información de actividades a partir de escuchas radioeléctricas, conocer posiciones y comunicaciones de buques, conocer actividades nocturnas y subterráneas mediante detectores de infrarrojos, vigilar los ensayos de armamento del enemigo, vigilar las actividades industriales, el transporte de material estratégico, la construcción de instalaciones, etc. En resumen, disponer de una información tan completa de las actividades del enemigo que elimina el factor sorpresa de sus acciones.

Evidentemente, en caso de conflicto la actividad de la inteligencia estaría dirigida a la obtención de información para la planificación de las operaciones.

En caso de conflicto real entre las potencias o los bloques, suponiendo que se tratara de un conflicto limitado, puesto que en una guerra nuclear total la devastación sería inmediata, los sistemas espaciales de inteligencia, como los de servicios, estarían sometidos a contramedidas. Hasta ahora la operación de sistemas de inteligencia, en conflictos reales, se ha limitado a conflictos entre terceros sin capacidad de contramedidas, por lo que los sistemas de las dos potencias han podido operar impunemente y sin interferencias, y suministrar información a los beligerantes según sus afinidades, por ejemplo, la ayuda de los EE.UU. a Gran Bretaña en la guerra de las Malvinas.

Evidentemente, no se dispone de una experiencia válida de aplicación a un conflicto real entre potencias, pero se llegó a la conclusión de que los sistemas de inteligencia han constituido un medio de la mayor eficacia para la disuasión de un conflicto nuclear entre potencias.

1.4.2. *Sistemas de apoyo.*

Los sistemas que proveen servicios son los que se utilizan para dar un apoyo a las actividades de la Defensa, tanto en tiempo de paz como durante un conflicto armado.

El tipo de servicios que suministran estos sistemas tienen un paralelismo evidente con sistemas civiles, los sistemas de comunicaciones, meteorológicos y de navegación son diferentes en su aplicación civil y militar, sin

embargo se presentan interacciones claras entre unos y otros que no se limitan a cierta comunalidad en diseño, desarrollo y fabricación sino que alcanza hasta el nivel operacional.

1.4.3. *Sistemas ofensivos y defensivos.*

Los sistemas espaciales agresivos se han limitado hasta ahora a los sistemas ASAT soviéticos. El sistema ASAT americano no es operacional y su desarrollo y ensayos están sometidos al frenado de presiones políticas para retrasar la militarización agresiva en el espacio. Sin embargo se trata de un sistema que no es típicamente espacial, basado en el lanzamiento de un misil antisatélite desde un avión F-15.

Como se ha expuesto previamente la utilización del espacio como base de dispositivos agresivos es la que menos se ha desarrollado, sin duda como consecuencia de una actitud política, la de evitar que el espacio se convierta en teatro de operaciones.

No obstante, los sistemas de satélites de la Defensa constituyen un soporte tan importante para los beligerantes que resulta prácticamente obligado desarrollar dispositivos para atacarlos y para defenderlos.

Con un criterio amplio se pueden considerar también sistemas espaciales los misiles balísticos que acceden al espacio en el que inyectan en órbita sus ojivas nucleares. Se trata de dispositivos que en la mayor parte de su tiempo de operación se encuentran en el espacio extraatmosférico en el que siguen una trayectoria regida por la ley gravitatoria, es decir una órbita que, a diferencia de las órbitas de los satélites, intercepta la superficie terrestre.

Estos sistemas son agresivos y constituyen el mayor potencial devastador existente.

Durante la década de los años sesenta el planteamiento de la BMD, basada en el sistema ABM, puso de manifiesto que un punto débil de las ojivas de los misiles estratégicos era el apogeo extraordinariamente elevado de sus órbitas, de 1.000 a 1.500 km. sobre la superficie terrestre, lo que permitía su detección desde el objetivo con tiempo suficiente, del orden de 10 minutos, para preparar la reacción de la Defensa.

Con objeto de reducir la vulnerabilidad del material atacante, mediante la reducción del tiempo de reacción de la defensa se ideó el procedimiento del bombardeo orbital, consistente en la inyección de bombas nucleares en órbita baja, para hacerlas descender mediante una operación de reentrada.

sobre el objetivo. Utilizando una órbita muy próxima a la Tierra, que ni siquiera asegurase una órbita completa por el efecto de la resistencia atmosférica, se podía reducir el tiempo transcurrido entre la detección y el encuentro con el objetivo a un intervalo tan crítico como tres minutos. Este sistema se ha denominado FOBS (*Fractional Orbital Bombing System*) y no ha merecido demasiado interés porque presenta grandes desventajas respecto a las ojivas de los misiles balísticos, requiere una mayor energía de inyección (satelización) y su precisión es mucho menor, la ventaja que ofrecía reduciendo el tiempo de reacción por la limitación del horizonte desapareció tan pronto como se pusieron en servicio los sistemas espaciales de alerta avanzada.

Para evitar el inconveniente adicional que presentaba el sistema, la facilidad de predicción de la órbita a partir de datos de observación (posición, velocidad), que podrían hacerse incluso desde un país aliado, y en consecuencia de predicción de posibles objetivos, se pensó en la utilización de bombas satélites, con capacidad de maniobra para cambiar la órbita varias veces hasta la final, este sistema se ha denominado MOBS (*Múltiple Orbital Bombing System*).

El desarrollo de los aviones espaciales, ya una realidad con el Shuttle americano operativo, y más adelante con naves con capacidad de maniobra en el espacio y que puedan regresar a la Tierra aterrizando como aviones procedentes de la URSS, de Europa y de Japón, se ofrece una posibilidad de agresión en el espacio, ya demostrada por la NASA con fines civiles, pero extensible a la aplicación militar, la captura de satélites enemigos en el espacio y su transporte a la Tierra.

En consecuencia se trata de una capacidad potencial de agresión en el espacio que también debe incluirse.

1.4.4. *Satélites de investigación y ensayos.*

La investigación científica no es un objetivo de la Defensa, en consecuencia no parecería procedente incluir este concepto en la clasificación. Sin embargo la Defensa requiere información relacionada con la constitución y forma de la Tierra y con la atmósfera, es decir, de hechos naturales y en consecuencia de carácter científico, y, aunque sus objetivos no sean científicos, puede suministrar datos de sus satélites a la comunidad científica, al mismo tiempo que adquiere los datos obtenidos por los científicos que son de su interés, en este caso sin las restricciones que se pueden imponer en los datos obtenidos por la Defensa.

Se hace notar la diferencia que existe entre estos satélites y los satélites de inteligencia, estos últimos obtienen información de hechos artificiales mientras que los primeros obtienen información de hechos naturales.

1.5. **Aplicaciones geodésicas para la Defensa.**

La Geodesia es una ciencia y una disciplina de estudio universitario y de investigación. Tiene una doble vertiente que distingue la Geodesia geométrica, cuyo objetivo es el estudio de la configuración, forma y dimensiones de la Tierra y la Geodesia dinámica, cuyo objetivo es el estudio del potencial gravitatorio terrestre.

El conocimiento de estos datos, de carácter científico, es de gran valor para la Defensa. Tradicionalmente la Geodesia geométrica ha sido, como la cartografía, una materia de interés militar y en consecuencia objeto de una gran actividad militar, por lo que se encuentran en la historia de la Geodesia tradicionales nombres ilustres de militares que han hecho valiosas aportaciones (por ejemplo, el general Ibáñez de Ibero en España).

Es obvio que el conocimiento preciso de la situación de un objetivo militar es de gran interés para la Defensa.

La era de los misiles estratégicos ha dado una nueva dimensión al valor militar de la Geodesia. Se considera el modo de operación de un misil estratégico:

- El misil tiene una trayectoria guiada desde su salida hasta el punto de inyección de su cabeza de combate.
- El sistema de guiado es inercial, de modo que la determinación de su posición y velocidad en cada instante se realiza combinando las medidas a bordo de la aceleración de empuje y el cálculo de la aceleración gravitatoria. Se comprende que cuanto mayor sea la precisión de este cálculo mayor será la precisión del guiado.

En el punto de inyección se deposita lo que constituye la cabeza de guerra, concepto que ha evolucionado en las generaciones sucesivas, desde una ojiva única de gran potencia a los sistemas más modernos en los que se inyecta un contenedor (bus) de ojivas que sigue una trayectoria orbital, es decir, regida por el potencial gravitatorio terrestre (con una influencia gravitacional de otros astros que induce perturbaciones poco importantes), que desprende sus ojivas secuencialmente para que se dirijan a sus objetivos (MIRV) o incluso con capacidad de maniobra terminal (MARV).

En consecuencia es necesario conocer con la mayor precisión posible tanto la posición del punto base del misil y la del objetivo (Geodesia geométrica) como el potencial gravitatorio (Geodesia dinámica), puesto que de la precisión de este conocimiento depende la precisión de la inyección y la previsión del movimiento orbital.

Se hace notar la interacción de ambas vertientes de la Geodesia respecto a la dinámica de los satélites.

- Un satélite de órbita conocida con precisión (6 parámetros) se puede utilizar para determinar la posición relativa de puntos de la superficie terrestre, mediante triangulación.
- Las perturbaciones de la órbita de un satélite debidas al campo gravitatorio terrestre, permiten determinar el potencial gravitatorio como función de punto en el espacio (longitud, latitud y distancia al centro de la Tierra).

Evidentemente no es posible separar las perturbaciones y conseguir que la órbita de un satélite sea perturbada solamente por el campo gravitatorio. Sin embargo hay una circunstancia natural que facilita la separación de este efecto, el hecho de que el campo gravitatorio derive de un potencial, y decir que sea un campo de fuerzas conservativo, mientras los demás efectos de perturbación son disipativos, hace posible la discriminación de unos y otros efectos y que se pueda hacer el cálculo que conduce a la determinación del potencial.

En consecuencia se comprende el interés de la Defensa en disponer de sus propios satélites geodésicos.

No se puede ignorar el enorme potencial de posibilidades que ofrece el espacio para el ensayo de sistemas de la Defensa.

Las plataformas orbitales constituyen una excelente base para ensayos de sistemas o de dispositivos y verificar su comportamiento en el ambiente espacial antes de pasar al estado operacional.

El mismo espacio por sus características físicas influye directamente en la agresividad de los sistemas, de modo que sus efectos dentro de la atmósfera y en el espacio extraatmosférico pueden ser muy diferentes. El vacío espacial impide la propagación de la onda explosiva, efecto agresivo corrientemente utilizado dentro de la atmósfera e ineficaz en el espacio.

El vacío espacial a su vez permite la propagación de radiaciones que dentro de la atmósfera se atenúan y quedan extinguidas en un corto alcance

por las características de atenuación y absorción de la atmósfera. Cuando la humanidad empieza a preocuparse por los efectos adversos del *agujero de ozono* detectado en la Antártida, por el peligro que implica para la vida la falta de la protección que ejerce la capa de ozono absorbiendo la radiación ultravioleta, se comprende que el espacio permeable a las radiaciones es el medio ideal para la transmisión de radiaciones destructivas, como los rayos X, el láser o las radiaciones emitidas en una explosión nuclear.

Se expone como ejemplo que el sistema ABM desarrollado en los EE.UU., aunque no desplegado, se basaba en dos tipos de misiles; el *Spartan*, interceptador extraatmosférico y el *Sprint*, interceptador endoatmosférico, ambos con ojivas nucleares. En el *Spartan* el efecto destructivo se obtenía con la radiación X emitida en la explosión nuclear, en el *Sprint* que no podía utilizar este efecto debido a la absorción atmosférica, se utilizaba la emisión de neutrones procedente de la explosión de una ojiva nuclear especialmente diseñada para intensificar esta emisión. Esta ojiva fue el origen de la llamada bomba de neutrones que algunos años más tarde sería noticia y motivo de preocupación.

En consecuencia dentro de la clasificación se incluye el concepto de ensayos, que comprende tanto el empleo de plataformas espaciales para ensayos como el de dispositivos que utilizan las características físicas del espacio.

Como consecuencia de las consideraciones anteriores se presenta una clasificación de los sistemas espaciales de la Defensa, en la tabla que figura a continuación. Respecto a esta tabla se exponen las siguientes observaciones:

- Algunos sistemas figuran entre paréntesis, con lo que se indica que o bien se trata de sistemas que no son de actualidad (caso de los satélites *VELA*) o que se trata de sistemas civiles con aplicación militar (caso de los satélites de teledetección).
- El *Shuttle* figura en diversos grupos, debido a que su flexibilidad de operación permite que éste tenga diversidad de objetivos.

T A B L A

Sistemas espaciales de la Defensa

SISTEMAS DE INTELIGENCIA

Reconocimiento.
Vigilancia naval.
ELINT-FERRET/COMINT/
SIGINT.
Alerta avanzada.
IONDS - NUDETS
ITSS (*Integrated Tactical
Surveillance System*).
(VELA) (Sustituido por IONDS).
(Teledetección civil, aplicación
a Defensa).
(Naves tripuladas)
NORAD IGEODSS/BMEWS/
OTH

SISTEMAS DE APOYO

Comunicaciones.
Meteorología.
Navegación.
(Buques y rescate).
Shuttle (reparación y re-
cuperación).

SISTEMAS DE INVESTIGACIÓN

Y ENSAYO

STP (Space Test Programme).
Geodesia.
Geosat (Navy).
HILAT (auroras).
Shuttle.
Estación Espacial.

SISTEMAS DEFENSIVOS

BMD: ABM, SDI
Misión ASAT.
Satélite ASAT
Sistema de Autodefensa de
satélites
Shuttle (captura).

SISTEMAS OFENSIVOS

ICBM, IRBM, SLBM
Misión ASAT
Satélite ASAT
FOBS/MOBS
Shuttle (captura).

CAPÍTULO SEGUNDO

PERSPECTIVAS PARA EL AÑO 2000 DE LOS SATÉLITES DE NAVEGACIÓN

2. PERSPECTIVAS PARA EL AÑO 2000 DE LOS SATÉLITES DE NAVEGACIÓN

POR JOSÉ LUIS DEL HIERRO ALCÁNTARA

2.1. Introducción histórica.

Cuando el hombre en plena Edad Media se arriesgó por primera vez en la historia a navegar fuera de la vista de la costa, sintió la imperiosa necesidad de conocer su situación en el océano para ajustar el rumbo que le arribara a su destino. Siglos después, cuando los pioneros de la aviación remontaron el vuelo por encima de las nubes, sintieron idéntica necesidad.

Tanto marinos como aviadores han aprovechado inmediatamente cuantos adelantos científicos y técnicos han sido aplicables a la navegación. Así ocurrió con el campo magnético terrestre y la brújula, la medición del tiempo y la ampolleta, la observación astronómica y el astrolabio, instrumentos que, perfeccionados, se siguen utilizando como bitácora, cronómetro y sextante. Estos instrumentos, junto con la aguja giroscópica, siguen siendo los habitualmente utilizados en la navegación convencional marítima, también en la aérea e incluso en la terrestre. Sin embargo, estos ingenios solos o combinados son insuficientes para facilitar la situación geográfica de forma continua, exacta y segura, por ser instrumentos imprecisos, sujetos a fenómenos naturales variables y condicionados por la meteorología y el ambiente.

El descubrimiento de las ondas radioeléctricas y el invento de la radio por Marconi abrió inmediatamente el campo de la radionavegación y marcó el principio de una época. Se comenzó con el sencillo radiogoniómetro, que permite obtener la situación por el «corte» de las direcciones en que se reciben las emisiones de estaciones transmisoras de posición conocida.

Siguieron a los radiogoniómetros procedimientos más perfeccionados, como el CONSOL, y posteriormente otros más exactos, cómodos y

sofisticados, como el DECCA, LORAN y OMEGA, sistemas que en general calculan la situación mediante la medición de la diferencia en el tiempo con que se reciben las señales radio emitidas simultáneamente desde diferentes puntos geográficos.

Aunque en los últimos modelos se ha llegado a cierta precisión, seguridad y automatismo, todos resultan afectados por las perturbaciones que afectan a la radio en la baja atmósfera, tienen un alcance limitado y, por razones económicas, sólo están disponibles en pocas áreas geográficas mundiales.

Después de la Guerra Mundial, se generalizó el uso del radar en sus muchas variantes, aplicado a la navegación marítima y aérea. No obstante, por su inexactitud relativa, corto alcance y subordinación a objetos que proporcionen ecos, su empleo se reduce a las zonas costeras y a prevenir la seguridad respecto a otros móviles y a la meteorología.

Como excepción, el radar Doppler podría considerarse el procedimiento ideal para la navegación aérea militar. Es un sistema compacto, preciso, que se lleva íntegramente a bordo y puede utilizarse tanto sobre tierra como sobre la mar, y además no resulta excesivamente caro. Sin embargo, desde un punto de vista operativo tiene un fallo crítico: es un emisor activo, indiscreto y, por consiguiente, poco seguro en zonas de combate.

Los sistemas de navegación inercial nacieron como respuesta a la necesidad de los submarinos nucleares estratégicos de contar con una buena situación en todo momento, y a la obligación de permanecer continuamente sumergidos, incluso bajo los hielos polares. Por su coste, generalmente los sistemas inerciales convencionales han quedado relegados a la navegación militar.

En el año 1957, al observar el efecto Doppler en las señales emitidas por el satélite ruso *Sputnik*, se concibió la idea de que los satélites podrían ser plataformas ideales para instalar sistemas de navegación de cobertura mundial de extraordinaria precisión, dado que desde su privilegiado emplazamiento las ondas de alta frecuencia (UHF) tienen un gran alcance, son virtualmente imperturbables y permiten una gran exactitud en las mediciones.

Pocos años después, se pone en funcionamiento el TRANSIT, primer sistema de navegación por satélite, creado para servir a las necesidades de la Navy, especialmente a los submarinos nucleares, pero que, con el tiempo y dado sus buenos resultados, se ha generalizado su utilidad civil y militar. El TRANSIT emplea técnicas radio-doppler que calculan la situación del buque

por observación de los cambios de frecuencia de las emisiones transmitidas por los satélites que cruzan el espacio sobre ellos. Normalmente, ha venido funcionando con seis satélites situados en órbitas circulares a 1.100 km de altura.

Aunque el TRANSIT lleva veinte años funcionando satisfactoriamente y existían proyectos para su perfeccionamiento, sólo permanecerá en servicio hasta el momento que esté operativo el nuevo sistema *Global Positioning System* (GPS).

El GPS tiene su origen en dos programas distintos, el «Programa 621 B» de la USAF y el proyecto *Timation* de la Navy, que perseguían idénticos objetivos. En 1973 el Departamento de Defensa, con buen criterio, instó a los dos ejércitos a unir sus esfuerzos para conseguir un nuevo sistema de navegación mundial. La técnica del GPS es, en concepto, más simple que la radio-doppler, pero de más difícil desarrollo. Se basa en la medición del tiempo que las ondas radio, viajando a la velocidad de la luz, tardan en cubrir la distancia existente entre el satélite y el observador.

El corazón de los satélites de navegación NAVSTAR del sistema GPS es un reloj atómico (tres en cada satélite por redundancia) —que mantiene la exactitud de la hora, por referencia a un oscilador de átomo de rubidio— y que alcanza una estabilidad de un segundo en treinta mil años o, lo que es lo mismo, una precisión de una millonésima de segundo.

Los dieciocho satélites que compondrán el sistema operativo estarán sincronizados en el mismo «tiempo» GPS. Cada satélite emitirá una señal característica y al mismo instante la señal que indica su situación exacta. Midiendo el lapso de tiempo transcurrido entre la emisión de la señal desde el satélite y el instante de su recepción por el receptor GPS, y multiplicando dicho lapso por la velocidad de la luz, la computadora del receptor calculará la distancia entre él y el satélite.

Si el receptor GPS tiene su propio reloj atómico puesto en «tiempo GPS», necesitará tres distancias simultáneas a otros tantos satélites para triangular su situación en tres dimensiones. Pero si no es factible que el receptor tenga un costoso reloj atómico, puede tomar tiempo y distancia a cuatro satélites a la vez y de esta manera el computador del receptor compensará el error de su propio reloj, resolviendo una operación de «cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas», siendo tres de dichas incógnitas las tres coordenadas de su situación y la cuarta el error de su reloj.

Además de la situación geográfica, el receptor GPS puede calcular también su velocidad con una precisión de una décima de milla por hora

(una décima de nudo), utilizando para ello el efecto «doppler», como los satélites de navegación TRANSIT.

Las instalaciones en tierra del sistema GPS se componen fundamentalmente de una estación de control principal *Master Control Station* en Colorado Sprigs y varias estaciones monitoras secundarias en Hawaii, Kwajalein, Diego García y Ascensión. Todas las estaciones monitoras —excepto Hawaii— están equipadas con antenas en tierra para comunicar con los satélites NAVSTAR del sistema. Las estaciones monitoras siguen pasivamente a todos los satélites NAVSTAR que tienen a la vista, obteniendo los datos de distancia y tiempo de reloj de cada satélite. Esta información se retransmite a la estación de control principal, donde se calculan y predicen las efemérides y el tiempo. Los datos de efemérides y reloj se inyectan en cada satélite por medio de un mensaje NAV.

2.2. Los sistemas de navegación del futuro.

A partir del año 1990, con cierto retraso por las razones que se explicarán más adelante, comenzará la década de implantación del *Global Positioning System* (GPS), también conocido como NAVSTAR, sistema de navegación del Departamento de Defensa de los EE.UU. de Norteamérica, que promete ser en cierto modo la solución total, ya que será capaz de proporcionar a buques, aeronaves, misiles, vehículos terrestres o simples observadores su situación exacta, en todo momento y en cualquier lugar del mundo, sean cual sean las condiciones ambientales y meteorológicas.

Existe, sin embargo, la posibilidad que las señales GPS puedan ser perturbadas intencionadamente o que el sistema falle en ciertos lugares muy concretos donde las señales queden enmascaradas (1). En estos casos el GPS puede integrarse con otros procedimientos pasivos de navegación. La solución lógica, al menos militarmente hablando, es el navegador inercial, el *Ring Laser Gyro* (RLG) o los giróscopos de fibra óptica, que harán posible en un futuro próximo combinar la robustez con la exactitud.

Estas nuevas tecnologías están llamadas a fundamentar la navegación aérea y marítima de los años 2000. No obstante, por estar este trabajo específicamente enfocado al espacio, nos limitaremos a describir aquellos sistemas de navegación que utilizan satélites.

(1) El GPS incluirá medidas COMSEC bajo control del Departamento de Defensa, que impedirá sea utilizado en su plena exactitud por los usuarios no autorizados.

2.3. Sistema de posición global (GPS).

2.3.1. Resumen.

El GPS es un sistema de posición global que, sin duda, se convertirá en el procedimiento de radio-navegación más extendido en el mundo, cuando a partir del año 1990 se ponga gradualmente en servicio en el curso del próximo decenio. Las ventajas del GPS: excelente precisión, disponibilidad mundial, características «todo tiempo» y simplicidad de manejo, le aseguran un rápido éxito, y el gran mercado que creará, garantizará una variedad de equipos a precios interesantes.

Es previsible que el GPS, por sus excelencias y ventajas, provoque en poco tiempo la práctica desaparición de los demás sistemas de radio-navegación y arrincone en el olvido otros procedimientos tradicionales.

En este trabajo describiremos el estado actual del GPS y los progresos previstos para su completa realización. Citaremos el impresionante número de aplicaciones que se perfilan y la constelación actual de satélites NAVSTAR de ensayo. Finalmente, una breve referencia al «GPS Diferencial», modalidad que asegurará una precisión de cinco metros en ciertas zonas. En fin, la exposición trata de viajar al porvenir, imaginando el momento que el GPS esté listo, utilizado ampliamente y con gran variedad de equipos disponibles, todo ello en el principio del próximo siglo XXI.

2.3.2. Situación actual.

El GPS, como antes se apuntó, fue promocionado por el Departamento de Defensa en los EE.UU. con una finalidad eminentemente militar, para garantizar la navegación precisa, continua, mundial y tridimensional que al mismo tiempo pudiera tener aplicaciones terrestres, navales y aéreas. La ejecución del proyecto se dividió en tres fases, y que, si todo hubiese marchado sin contratiempos, debería haber concluido en el próximo año 1989. La catástrofe ocurrida en el transbordador espacial el 28 de febrero de 1986 retrasó fatalmente todo el programa, sin poder por ahora predecirse todas las consecuencias que la tragedia tendrá sobre la puesta en órbita de los satélites y, por tanto, del sistema.

Si bien la finalidad original y prioritaria del GPS era militar, es indudable que tendrá numerosas aplicaciones civiles, y en el futuro se espera que el número de utilizadores civiles sea mucho mayor que el de militares.

Actualmente se están utilizando siete satélites prototipo dentro de un programa de ensayos. Sus órbitas están concebidas para asegurar la

cobertura completa del sistema durante muchas horas al día, lo que ha permitido efectuar profundos ensayos sin el gasto de una constelación de satélites de serie. Se espera que de cuatro a siete satélites de ensayo puedan continuar disponibles hasta el lanzamiento de los satélites de serie. Estos, más grandes y pesados que los prototipos, se pondrán en órbita por medio de los trasbordadores espaciales, dos por cada vuelo. Cuando se hayan lanzado y puesto en órbita los doce primeros satélites, se asegurará la navegación mundial, continua y bidimensional, que es suficiente para las aplicaciones navales puras.

2.3.3. *Perspectiva a medio plazo.*

Cuando se complete la puesta en órbita de los 18 satélites operativos que forman el sistema será posible la navegación mundial, continua y tridimensional. El conocimiento de la altura sobre el suelo es imprescindible para la navegación aérea y para ciertas aplicaciones terrestres.

Además de los 18 satélites operativos existe el proyecto de poner en órbita otros tres satélites activos de «reserva», que harían un total de 21 en el espacio. La Secretaría de Estado de los EE.UU., quiere ampliar la constelación del GPS hasta 24 satélites para aumentar la fiabilidad por encima del 98 por 100.

Los satélites operativos GPS orbitarán en seis planos a 20.200 kilómetros sobre la superficie de la Tierra, de tal suerte que sólo se precisará la mitad del tiempo de rotación de la Tierra (11h 58m 02s) para que cada satélite efectúe una órbita completa. Gracias a esta constelación de satélites, cualquier observador podrá recibir simultáneamente las señales de cuatro satélites a la vez, como mínimo. El equipo receptor del utilizador mide los tiempos de llegada de las señales emitidas simultáneamente por los satélites y determina automáticamente cuatro parámetros: latitud, longitud, altitud y tiempo.

2.3.4. *Frecuencias y códigos de emisión.*

Los satélites GPS emiten en dos frecuencias distintas con el propósito de corregir los errores por refracción ionosférica. Las frecuencias del GPS se denominan L1 (1.575,42 Mhz) y L2 (1.227,6 Mhz).

La señal en frecuencia L1 se transmite en dos códigos diferentes en tanto que en la frecuencia L2 sólo se transmite en uno.

El código P (preciso) es una secuencia pseudo-aleatoria de unos y de ceros con un ritmo de transmisión de 10,23 Mhz (número de veces que

puede pasar a cero y viceversa). El código C/A (adquisición gruesa) cambia cada 1.023 Mhz y se repite todos los milisegundos (lo que es lo mismo que decir que el código tiene una longitud de 1.023 bits). Ambos códigos de la frecuencia L1, P y C/A, transmiten el mensaje numérico propio de cada satélite al ritmo de 50 bits por segundo.

Se prevé que los equipos de navegación más baratos funcionen con la frecuencia L1 y utilizando sólo el código C/A. Los receptores más costosos, preparados para utilizar el código P, presentan tres importantes ventajas:

- a) Acceso a la frecuencia L2 para corrección de la refracción ionosférica.
- b) Mejor protección contra las interferencias (particularmente importante en aplicaciones militares).
- c) Precisión más elevada en la medida de distancias.

2.3.5. *Satélites de ensayo. Resultados.*

Hasta el momento en que finalice el despliegue de la constelación de satélites operativos, podrá contarse algunas horas cada día en la mayor parte del mundo con los satélites de ensayo. Según declaraciones del capitán de navío Catalán, director del Observatorio de Marina de San Fernando y jefe de la expedición española a la Antártida, se están obteniendo grandes resultados prácticos, tales como situar con exactitud las tierras de aquel continente, cuya cartografía disponible tiene errores importantes.

2.3.6. *Política de empleo.*

Dos importantes cuestiones que afectan a la política de empleo del GPS, que deben conocer los utilizadores potenciales del sistema. La primera cuestión bautizada «antipiratería» (AS) por el Departamento de Defensa de los EE.UU., se refiere a la intención de cifrar los códigos P que transmitan los satélites de serie.

El código resultante a transmitir se denominará código Y. Con esta política se pretende impedir el acceso al código P (y por consiguiente a la frecuencia L2) a la generalidad de los usuarios, con excepción de aquellos privados que estén oficialmente autorizados a guardar el secreto, y para los cuales se juzgue de interés para la seguridad de los EE.UU. que empleen el código Y. Es obvio que esta restricción orientará la demanda de los usuarios civiles hacia equipos del código C/A, con frecuencia única.

La segunda cuestión se refiere a la limitación en la precisión accesible a los utilizadores civiles, por cuanto pueda afectar a la seguridad nacional, y se denomina «sindegradación voluntaria» (SA). La máxima precisión autorizada se fija en 100 m, aun cuando esta postura podrá revisarse en el futuro, mejorándola. En este momento, los civiles que necesiten una precisión más elevada, deberán optar por las técnicas del «GPS Diferencial», que se describirán más adelante.

2.3.7. *Comercialización.*

Está prevista la aparición inmediata de equipos de navegación GPS relativamente baratos, compuestos de dos módulos electrónicos solamente: un oscilador y una antena. La tendencia mundial actual se inclina por la fabricación de equipos de navegación electrónica muy simples y de bajo costo, como está sucediendo con el TRANSIT. Aun contando con la complejidad relativa del GPS, en comparación con el TRANSIT, se puede estimar que en el año 1995 se podrá adquirir un equipo GPS por 500 dólares.

Cuando el GPS esté totalmente operativo y el gran público compruebe sus enormes ventajas, la demanda crecerá y disminuirán los precios como ha sucedido con otros aparatos electrónicos de consumo.

Las compañías especialistas están gastando millones de dólares en investigación y desarrollo de nuevos equipos, en tecnología de fabricación y en crear redes de comercialización y servicio en todo el mundo.

2.3.8. *Funcionamiento y manejo.*

La simplicidad de funcionamiento y manejo son cualidades importantes para lograr el éxito entre los utilizadores civiles. A este respecto el GPS es más fácil de utilizar que todos los demás sistemas de navegación electrónica ahora disponibles (LORAN-C OMEGA, TRANSIT, etc.). el GPS no causa preocupación alguna en cuanto ajustes, calibraciones, deslizamiento de canales, interferencia de ondas celestes o filtraje de ondas locales.

El usuario enciende su equipo y sin ningún otro ajuste comienza a recibir los datos para una navegación continua y precisa. Naturalmente existen algunas limitaciones, la configuración del terreno e incluso la cercanía de grandes edificios o buques pueden perturbar las señales, no obstanté, en general y en todo lugar su funcionamiento será de una gran simplicidad.

Las repetidas cualidades del GPS, que facilitará la navegación precisa y segura, las 24 horas del día en el mundo entero, con cualquier clase de meteorología, a un bajo coste y fácil manejo garantizan un enorme mercado

potencial. Se prevé que los utilizadores se contarán por millones y la navegación electrónica se convertirá en una práctica tan común como ahora lo son las radiocomunicaciones.

2.3.9. Posibles aplicaciones.

Aún cuando el sistema no esté operativo, la cobertura experimental actualmente disponible ha permitido numerosísimas aplicaciones prácticas. El Servicio de Guardacostas de los EE.UU. *Cost Guard* lo viene utilizando desde 1984, para la navegación aérea, y otros particulares en tareas tan diversas como la localización del *Titanic*, el posicionamiento de plataformas petrolíferas *Off shore* y la recuperación de los restos del malogrado *Challenger*.

La tendencia comercial de los fabricantes es la de integrar dentro de un mismo chásis los sistemas actuales en uso, OMEGA y TRANSIT, con el futuro GPS. De esta forma el navegante continúa utilizando los sistemas operativos y experimenta las ventajas del nuevo. Cada sistema controla a los otros, se reducen gastos y en un momento dado podrá pasar fácilmente de esta situación a la plena explotación del GPS.

La casa *Magnavox* en colaboración con la *Wild Heerbrugg* de Suiza, han puesto a punto el equipo transportable WM-101, que ya está a la venta, que permite a los geodestas posiciones relativas con una exactitud cercanas al centímetro.

2.3.10. Los satélites NAVSTAR del Sistema GPS.

Los siete NAVSTAR que funcionan actualmente en la constelación de pruebas son del tipo *Block-1* y los futuros operacionales serán del tipo *Block-2*. Esta nueva generación de satélites son más resistentes contra agresiones electromagnéticas y han mejorado su supervivencia. Diseñados para permanecer en órbita durante siete años y medio —dos años de vida más que los *Block-1*— pesan 1.862 libras y por lo tanto son un 87 por 100 más pesados que sus predecesores.

Los satélites NAVSTAR *Block-2* representan la producción más larga de un mismo tipo de satélite jamás fabricado. Un total de 28 unidades al coste de 1.200 millones de dólares repartidos así:

- 18 operativos que reemplazarán a los de prueba.
- 3 que se colocarán en órbita inactivos, como repuestos.
- 3 para cubrir fallos en los lanzamientos.
- 4 que se mantendrán en tierra como repuestos.

Todos los satélites NAVSTAR han sido construidos por la Compañía *Rockwell* Internacional en su factoría de California. Los satélites tienen forma de cilindro de 1,5 metros de diámetro, con dos paneles solares de 5,3 metros de envergadura que le proporcionan una potencia de 580 watios. El satélite está estabilizado de tal forma que presenta una de las bases del cilindro hacia la Tierra, mientras que los paneles solares están orientados para seguir al Sol. Para contar con energía eléctrica durante los eclipses va dotado de tres baterías de níquel-cadmio. El satélite cuenta con un sistema de control de altitud y órbita impulsado por cohetes de hidrazida.

2.3.11. *El GPS Diferencial.*

El sistema GPS «standard» proporciona suficiente exactitud para la mayoría de sus aplicaciones civiles y militares relacionadas con la navegación y el conocimiento de la situación geográfica. Sin embargo, determinados usuarios precisan todavía mayor exactitud, que se puede conseguir utilizando la modalidad denominada «GPS Diferencial».

El «GPS Diferencial» se basa en la instalación de un receptor GPS normal en una estación fija en tierra, cuya situación geográfica naturalmente se conoce y se introduce en el sistema como dato inicial de referencia. Por correlación entre dicha situación exactamente conocida y las señales, que en cada momento se reciben de los satélites que están a la vista de la estación, se calculan los errores en distancia de cada uno de los referidos satélites.

Acto seguido, la estación «GPS Diferencial» radio retransmite a los usuarios que puedan encontrarse en su misma área geográfica, los errores en distancia calculados, los que, aplicados como correcciones, mejoran la exactitud de las mediciones y en consecuencia aumentan la precisión del sistema GPS.

Otra manera de actuación consiste en que la estación compara su situación geográfica conocida con la obtenida por medio de su receptor GPS, deduciendo de su diferencia una corrección de índice en longitud y latitud, que retransmite a los usuarios. Este procedimiento puede no ser el más adecuado cuando los usuarios y la estación pueden haber utilizado diferentes satélites.

Contando con el equipo adecuado se puede alcanzar una precisión de 2 a 3 metros (5 metros garantizados al 95 por 100), a distancias de 200 kilómetros o más de una estación de control. Estas técnicas diferenciales

podrán utilizarse para conseguir una precisión óptima en ciertas zonas, cuando se requiera.

El «GPS Diferencial» es de gran interés para los pozos petrolíferos *Off-shore*, porque asegura la necesaria precisión a distancias aceptables y protege de errores accidentales en esta fase de ensayo del GPS, o de aquellos intencionados cuando el sistema sea operativo.

Los Gobiernos e Instituciones oficiales muestran gran interés por el «GPS Diferencial» que servirá para mejorar la seguridad en la navegación en sus aguas territoriales, especialmente en estrechos y entradas de puertos.

Con objeto de planificar el empleo del «GPS Diferencial» se ha constituido un comité especial en el seno del *Radio Technical Commission for Maritime Service* (RTCM), que cuenta con la participación masiva de usuarios, fabricantes y representantes de las naciones más importantes. El Comité ha recomendado la utilización de frecuencias diferentes para los diferentes servicios, formatos de mensajes, velocidad mínima de transmisión (50 bits/segundo), etc.; normalizaciones que posibilitarán que los equipos de cualquier fabricante puedan utilizar el sistema.

2.4. **Perspectivas de futuro.**

Como anteriormente queda dicho, desde el momento en que estén en órbita y convenientemente espaciados los 12 primeros satélites sería factible la navegación bidimensional, continua y mundial (longitud y latitud). No obstante esta esperanza podría malograrse porque:

- a) El Gobierno de los EE.UU. no declarase operativo el sistema en tanto no estén situados los 18 satélites.
- b) La constelación de 12 satélites continuará presentando algunas lagunas en la cobertura mundial, según lugar y la hora del día.
- c) Los utilizadores más conservadores adoptarán una actitud de expectativa antes de tomar la decisión de adquirir los equipos.

Respecto a los numerosos equipos GPS que van a fabricarse podría establecerse la clasificación siguiente:

- a) Equipos poco costosos, alimentados por baterías, transportables, empleados preferentemente por excursionistas y exploradores.
- b) Productos también poco costosos, concebidos para su instalación permanente a bordo de embarcaciones o aeronaves de recreo, que podrían también aplicarse a otras actividades comerciales y militares ligeras. Estos equipos deberán estar concebidos para soportar

condiciones marinas y alimentarse con las fuentes de energía existentes.

- c) Equipos para aplicaciones militares y comerciales duras, que precisen funcionar continuamente durante años, sin averías. el utilizador deberá encontrar personal técnico capacitado y piezas de recambio en todo el mundo.
- d) Equipos GPS diseñados para formar parte de sistemas de navegación y situación integrados.

Además, se diseñarán y fabricarán interconexiones de los equipos GPS con la aguja giroscópica, piloto automático o los radares.

Según todos los indicios, un gran número de fabricantes proyectan lanzar sobre la marcha equipos de navegación GPS, lo que beneficiará a fin de cuentas a los usuarios que podrán elegir entre los de mejores características, a precios interesantes. Es probable que muchas compañías ante la presión de esa competencia a la baja se retiren del mercado como ocurrió en el caso del TRANSIT.

Como sucede siempre que aparecen nuevas tecnologías, algunos emplearán el GPS en todo cuanto crean posible, y otros más conservadores se retraerán en principio. A largo plazo sin embargo, la evidencia de las ventajas y comodidad que proporciona acabará convenciendo a los más reticentes.

En el campo civil, la economía de personal y de combustible son factores de consideración. Se calcula que un gran buque mercante —si dispone de GPS— puede ahorrar en un solo viaje oceánico la cantidad de combustible equivalente al precio de un equipo de navegación GPS.

Las diferencias políticas con los EE.UU. de Norteamérica no deben ser un obstáculo que retraiga a los usuarios potenciales. El sistema mejora de forma tan radical todos los demás procedimientos o sistemas de navegación existentes que sería absurdo que nadie renunciara a él, por meras posturas ideológicas o políticas. Otra cosa es la seguridad nacional que puede verse afectada si civil y militarmente una nación se entrega en exclusiva al sistema olvidando la navegación convencional u otras alternativas.

El GPS en definitiva, es algo más que una innovación tecnológica, es la solución definitiva —al menos en el campo civil— a un problema que ha ocupado al hombre durante siglos y que ha costado muchos esfuerzos y vidas. Es un hito en la historia de la humanidad, comparable al descubrimiento del fuego, la rueda, la escritura o las vacunas.

2.5. **Aspectos legales y jurídicos del uso del GPS.**

En un futuro próximo, el uso del GPS deberá estar regido por disposiciones gubernamentales e internacionales. Se conoce, por ejemplo, que cuando el sistema esté operativo, se adoptará como referencia reglamentaria por el Servicio de Guarda Costas de los EE.UU.

La Conferencia del Mar, los Convenios de Pesca, los Reglamentos de Circulación Aérea y en general todos los acuerdos internacionales que tengan relación con la navegación pueden llegar a exigir el uso del GPS o un sistema equivalente en determinados lugares y circunstancias.

El GPS tendrá una aplicación muy práctica en la determinación de la situación exacta de pesqueros en alta mar, origen de numerosas fricciones con los buques guardapescas e incluso de conflictos internacionales.

Igualmente se aplicará intensamente en la defensa de la soberanía nacional en la Zona económica exclusiva (200 millas) en relación con la vigilancia fiscal, represión del contrabando, control de la explotación de recursos y de vertidos, etc...

2.6. **Otras iniciativas.**

La URSS ha anunciado la puesta en marcha de un sistema de situación global propio que denominará GLONASS, del que se carece de información por el momento, pero que no puede diferir demasiado del concepto GPS.

Realmente, desde un punto de vista civil o mundial, parece una redundancia innecesaria, superponer dos sistemas con igual finalidad, considerando que el GPS supera las propias necesidades del usuario.

No obstante, esta decisión soviética bien sea por motivos militares, por rivalidad o simple prestigio, redundará en un mejor servicio a la comunidad mundial que gozará de mayor precisión, seguridad y disponibilidad.

Cuando estén funcionando ambos sistemas, ruso y norteamericano, es factible que los equipos se fabriquen preparados para recibir indiferente o simultáneamente el GPS y/o el GLONASS.

2.7. **Oferta comercial de receptores.**

Ante la gran demanda que se avecina los fabricantes más importantes están haciendo un duro esfuerzo para copar el mercado.

Solamente la *Collins, División de Rockwell Internacional*, ha vendido equipos al Departamento de Defensa de los EE.UU. por valor de 152

millones de dólares, como primer pedido y tiene opciones por 434 millones más.

Todos los receptores militares de la *Collins* reciben en la banda L y tienen códigos P y C/A. Disponen de dos a cinco canales y cubren todas las necesidades, desde un vehículo terrestre hasta un avión de combate. Las señales del GPS pueden representarse en un *display*, almacenarse en la memoria de un ordenador y generar información para la investigación, o si se quiere integrarse en un sistema inercial.

Un receptor *Collins* de dos canales después de 572 horas de pruebas en un helicóptero UH-60 *Black Hawk* obtuvo una exactitud promedio de 8 metros en horizontal y 9 en vertical.

Asociado con un sistema inercial el GPS de *Collins* puede mantener la exactitud en la navegación durante el período que se encuentre bajo los efectos de un interferidor.

Aunque los receptores GPS de *Collins* son razonablemente compactos (el modelo *standard* mide 19 X 19 X 37 cm), está trabajando en nuevas tecnologías para reducir el tamaño y el peso, y pronto pondrá en servicio un prototipo miniaturizado.

Además de *Collins*, otras importantes empresas tienen sus equipos en el mercado, citaremos a:

— *Sperry y Motorola* (EE.UU.)

Han lanzado conjuntamente el receptor GZ-810, que computariza la situación y la velocidad una vez por segundo. Las entradas a los mandos de vuelo son similares a los de otros sensores.

— *SEL* (Alemania)

Ha logrado alcanzar una exactitud de 10 metros con su receptor en el código C/A, y es uno de los participantes en el proyecto de receptor europeo.

— *RACAL* (Reino Unido)

Ha desarrollado un receptor con arquitectura digital muy avanzado. Con la utilización de una antena adaptativa, una antena orientable de seguimiento digital y una estrecha integración con otros sensores consigue unas buenas características anti perturbación.

— *Plessey*

En cooperación con *Magnavox* fabrica el receptor de dos canales PA-9050.

- *Smiths Industries y Polytechnis Electronis*
El receptor GP6 PEL XR-1 de un solo canal (C/A solamente) y está desarrollando el XR-3, para el helicóptero EH-101.
- *Crouzet (Francia)*
Prepara un receptor que funciona en conjunción con un inercial para su instalación en aviones y helicópteros.

Además de las ya citadas empresas, *Canada Marconi, King Radio, Texas Instruments, Tracor y Trimble Navigation* también están desarrollando sus propios receptores GPS.

2.8. Conclusiones.

En el año 2000 cuando con toda probabilidad el GPS esté totalmente operativo y comercializado, se convertirá en el único sistema de navegación radio civil en el mundo, desplazando a todos los demás que irán quedando obsoletos (con la excepción del GLONASS ruso si llega a entrar en servicio).

En la esfera militar la cuestión es diferente. El GPS es resistente a las perturbaciones convencionales, pero no es invulnerable, incluso los satélites en órbita pueden sufrir agresiones hostiles. Por lo tanto ni el bloque occidental ni el soviético podrán confiarse absolutamente a sus respectivos sistemas GPS y GLONASS.

Por tanto, la navegación militar marítima y aérea deberá fundamentarse en otros sistemas autónomos, exactos y discretos como los inerciales, giróscopos láser y de fibra óptica, aunque por supuesto los GPS se generalizarán en todo tipo de vehículos militares.

En último caso, todos los países del mundo, incluso EE.UU. y la URSS, no deberían olvidar los procedimientos tradicionales de navegación astronómica y de estima, lentos, imprecisos, pero que no fallan y dependen sólo de Dios.

CAPÍTULO TERCERO

PERSPECTIVAS PARA EL AÑO 2000 DE LOS SATÉLITES DE VIGILANCIA Y OBSERVACIÓN

3. PERSPECTIVAS PARA EL AÑO 2000 DE LOS SATÉLITES DE VIGILANCIA Y OBSERVACIÓN

POR MANUEL BAUTISTA ARANDA

3.1. Introducción.

A lo largo de la historia, los servicios de inteligencia, encargados de obtener información de interés militar sobre el enemigo declarado o en potencia, han sido siempre considerados como un elemento fundamental en todos los ejércitos. Un buen conocimiento de las fuerzas del enemigo, de su armamento y de su despliegue ha sido un factor decisivo en el buen resultado de muchas acciones bélicas.

Los métodos empleados para obtener información han ido evolucionando en el transcurso del tiempo, a medida que el progreso de la técnica ponía nuevos medios a disposición de los servicios de inteligencia. La aparición de la aviación a principios de este siglo supuso un gran avance. Permitía adentrarse profundamente en territorio enemigo y observar sus movimientos de tropas, actividad de sus industrias, construcción de fortificaciones y otra multitud de datos de gran interés militar. Sin embargo, en tiempos de paz tenía y sigue teniendo la grave limitación de que no puede utilizarse sin violar el espacio aéreo y la soberanía del país sobrevolado. Todos recordarán el grave incidente diplomático que se produjo en el año 1960, cuando un avión militar norteamericano tipo U-2 fue derribado sobre la URSS mientras realizaba una misión de reconocimiento.

La posibilidad de conseguir esta misma información por medio de satélites ha abierto un campo nuevo con perspectivas realmente extraordinarias. Los satélites pueden sobrevolar cualquier punto de la superficie terrestre, sin que esto se considere como una violación de la soberanía de

los Estados (1). Y los continuos progresos en la instrumentación instalada a bordo les permite obtener cada vez más información y más precisa. Todo ello hace que los mandos militares de los países que tienen capacidad para poner satélites en órbita dediquen una atención preferente y unos elevados presupuestos a los sistemas de vigilancia y observación por medio de satélites.

Para realizar de una forma eficaz las funciones de vigilancia y observación se utilizan varios tipos de satélites «especializados», provistos de la instrumentación adecuada a su especialización y que se sitúan también en las órbitas apropiadas. Estos son básicamente:

- Satélites de reconocimiento fotográfico.
- Satélites para vigilancia y observación de los océanos.
- Satélites detectores de lanzamientos de misiles.
- Satélites para escucha de las emisiones radioeléctricas.
- Satélites detectores de explosiones nucleares.
- Satélites meteorológicos militares.

A lo largo de estas páginas vamos a examinar únicamente los del primer tipo, es decir, los de reconocimiento fotográfico.

3.2. **Satélites de reconocimiento fotográfico.**

Las primeras actividades en este campo por parte de los EE.UU. se inician en febrero de 1959 con el lanzamiento del *Discoverer 1*; ni tan sólo un año después de que pusieran en órbita su primer satélite, el *Explorer 1* (1 de febrero de 1958).

El objetivo fundamental del programa DISCOVERER era el de experimentar en vuelo y poner a punto una serie de técnicas básicas para los satélites de reconocimiento fotográfico. Se trataba de ensayar lanzamientos de precisión en órbita polar; de estabilizar y controlar la orientación del satélite y de sus cámaras fotográficas durante toda su vida útil; de conseguir que la película fotográfica, una vez impresionada, se pudiera recuperar por medio de una cápsula que se desprendía del satélite y descendía en un lugar prefijado; de recuperar esta cápsula en el aire mientras hacía su descenso final en paracaídas, y otras técnicas, que hoy en día son corrientes, pero que en aquellos años representaban un gran avance.

(1) En alguna ocasión, al discutir si el paso de un satélite violaba o no el espacio aéreo del país sobrevolado, se ha argumentado que en realidad no era el satélite el que pasaba por encima del país, sino que era el país, como consecuencia del giro de la Tierra, el que pasaba por debajo del satélite, ya que la órbita de éste está en un plano fijo y no gira con la Tierra.

El primer satélite operativo de reconocimiento fotográfico fue el *Samos 2*, puesto en órbita el 31 de enero de 1961. Su éxito fue total y desde entonces el empleo de satélites para misiones de reconocimiento ha continuado ininterrumpidamente.

En lo que respecta a la URSS, aunque la información disponible sea menos precisa, sí es lo suficiente como para asegurar que el desarrollo de satélites de reconocimiento fotográfico ha seguido un proceso paralelo al de los EE.UU. Tras una serie de lanzamientos experimentales, que empiezan en 1960, consiguió llegar a un modelo operativo en abril de 1962 con el *Cosmos 4*. La mayor parte de los satélites de la gran familia *Cosmos* es en realidad satélites militares de observación y vigilancia.

Si bien es cierto que los satélites de reconocimiento fotográfico ofrecen posibilidades extraordinarias para obtener valiosa información de interés militar, que su utilización ha ido creciendo con los años y que, por supuesto, lo seguirá haciendo hasta el año 2000 y sucesivos, también es cierto que poseen una serie de limitaciones intrínsecas, de las que no se suele tratar con frecuencia y que es importante conocer y valorar. Los satélites son sin duda una herramienta maravillosa, pero distan mucho de ser la panacea.

Para analizar estas posibilidades y limitaciones de los satélites de reconocimiento fotográfico vamos a considerar los siguientes aspectos:

- Áreas que puede sobrevolar un satélite.
- Cantidad de imágenes que puede tomar.
- Frecuencia con que puede fotografiarse un objetivo.
- Calidad de las imágenes obtenidas.
- Posibilidad de enmascaramiento de objetivos e interferencia del satélite.

Por último, haremos un resumen de las actividades norteamericanas, soviéticas y de otros países con este tipo de satélites.

3.3. Áreas que puede sobrevolar un satélite.

La parte de la superficie terrestre que puede sobrevolar un satélite depende exclusivamente de la inclinación de su órbita, es decir, del ángulo diedro que forma el plano de la órbita con el plano del ecuador terrestre.

Si esta inclinación es, por ejemplo, de 40 grados, el satélite podrá sobrevolar cualquier punto de la superficie terrestre comprendido entre los 40° de latitud Norte y los 40° de latitud Sur. Pero no podrá sobrevolar nunca ningún punto situado más al Norte de los 40° N, ni más al Sur de los 40° S.

Por tanto, la superficie fotografiable es tanto mayor cuanto mayor sea la inclinación de la órbita. Y si esta inclinación llega a 90° —las llamadas órbitas polares— la cobertura que se consigue es total y cualquier punto de la Tierra puede ser fotografiado. Los satélites de reconocimiento se sitúan siempre en órbitas de gran inclinación, a pesar de que la energía necesaria para su puesta en órbita va siendo mayor a medida que crece esta inclinación. O lo que es equivalente, un mismo cohete lanzador puede poner en órbita satélites; más pesados, en órbitas de baja inclinación que cuando se trata de órbitas polares o de alta inclinación.

Mención especial merecen las llamadas órbitas heliosíncronas, que permiten que cualquier objetivo sea sobrevolado siempre a la misma hora del día. Con ello se consigue que imágenes sucesivas tomadas en fechas distintas lo sean en condiciones parecidas de iluminación del terreno y con el mismo juego de luces y sombras, lo que facilita la labor posterior de los interpretadores y el detectar los cambios que hayan podido producirse en un objetivo concreto entre dos tomas consecutivas. Las órbitas heliosíncronas se consiguen dando al plano de las mismas una inclinación algo superior a los 90° (2) de tal forma que la precesión del plano de esta órbita, causada por la forma no esférica de la Tierra, sino achatada por los polos, comprende exactamente la diferencia que hay entre la duración del día solar (24 horas) y el período de rotación de la Tierra (día sideral), que es de 23 horas, 56 minutos y 4 segundos.

Los satélites norteamericanos de reconocimiento fotográfico se sitúan sistemáticamente en órbitas heliosíncronas, con una cobertura prácticamente completa de toda la superficie terrestre.

Los soviéticos por su parte emplean varios tipos de órbitas, todas de gran inclinación (entre 51° y 81°); pero en cambio, no utilizan ni las órbitas polares, ni las órbitas heliosíncronas, debido principalmente a que la situación geográfica de sus campos de lanzamiento impone ciertas limitaciones en los ángulos de tiro hacia el Norte y hacia el Sur.

La afirmación de que un satélite puede llegar a fotografiar cualquier punto de la superficie terrestre (o de una parte de ella, según la inclinación de su órbita) necesita algunas aclaraciones, para que no se cree una idea deformada de sus posibilidades. La afirmación es cierta, pero también es

(2) La inclinación exacta que se necesita para que una órbita sea heliosíncrona depende de la altura y excentricidad de la misma. A título de ejemplo, un satélite situado en órbita circular a 400 kms. de altura necesita una inclinación de 97° . Y ese mismo satélite necesitaría una inclinación de 99° para 900 kms. de altura.

cierto que cada objetivo concreto no se puede fotografiar cuando se quiere, sino cuando se puede, es decir, cuando el satélite pasa por su vertical o próximo a ella. Y a veces, en los satélites de reconocimiento fotográfico, que se sitúan siempre en órbitas bajas, hay que esperar muchas horas e incluso varios días hasta que esto ocurra.

La limitación que este hecho representa tiene poca importancia cuando se trata de fotografiar objetivos fijos o que varían lentamente con el tiempo, como por ejemplo la construcción de una nueva base aérea. Pero es una limitación muy fuerte, cuando se desean observar hechos o situaciones transitorias de corta duración. La probabilidad de que en tales casos haya un satélite en el sitio correcto y en el momento oportuno es un tanto remota.

3.4. Cantidad de imágenes que pueden tomar.

El número de imágenes que pueden obtenerse diariamente con un satélite de reconocimiento fotográfico depende fundamentalmente de:

- Las cámaras utilizadas a bordo.
- El sistema de almacenamiento de imágenes.
- El procedimiento usado para transmitir estas imágenes a tierra.

Cuando el sistema empleado a bordo para captar las imágenes es el de impresionar película fotográfica, la limitación en el número de estas imágenes es obvia. Viene dada por la cantidad total de película que lleve el satélite en el momento de su lanzamiento, que forzosamente es limitada y que al cabo de un cierto tiempo, semanas o meses, se acaba agotando. Y con ello se acaba también la capacidad fotográfica del satélite.

En un futuro cercano, sin duda antes del año 2000, será posible visitar estos satélites con naves tripuladas, e incluso con naves automáticas no tripuladas, que podrán reponer las existencias de película fotográfica y permitirán extender la vida útil de estos valiosos satélites.

La utilización de película fotográfica tiene además otro inconveniente y es el del envío a tierra de papel impresionado. El procedimiento a seguir puede ser el de hacer que el satélite completo regrese a tierra, o mejor, recuperar una cápsula que se desprenda del satélite y transporte en su interior la película impresionada. Si el satélite dispone de una sola cápsula, tendrá que esperar muchos días o semanas hasta que toda la película haya sido utilizada y la información captada llegará a tierra con mucho retraso. Algo puede aliviarse este problema si el satélite, como ocurre por ejemplo en los norteamericanos del tipo *Big Bird* y en los rusos de la cuarta generación,

provistos de varias cápsulas, que va lanzando sucesivamente a medida que va utilizando la película de a bordo.

A pesar de todos estos inconvenientes, el sistema de llevar a bordo película fotográfica, que se impresiona y después se recupera, todavía se utiliza porque sigue siendo el sistema que permite obtener las fotografías de más alta calidad y resolución.

Evidentemente, hay otros procedimientos para transmitir a tierra la información captada a bordo. Sin necesidad de ser expertos en la materia, todos los lectores tienen la experiencia diaria de la transmisión de imágenes de televisión. Y efectivamente, un sistema parecido puede emplearse en el caso de los satélites. La información puede recibirse así en directo, conforme se está captando, sin los retrasos que antes señalábamos.

No vamos a entrar en detalles técnicos sobre la forma en que las imágenes se captan a bordo, ni cómo se transforman en señales eléctricas, ni si la transmisión a tierra se hace en forma analógica o digital. Los sistemas empleados han sido muy diversos. La información publicada en el caso de los satélites militares ha sido escasa. Pero en cambio la hay y mucha sobre los sistemas utilizados en los llamados satélites detectores de recursos terrestres y también en los que se han lanzado para explorar y fotografiar la Luna y los planetas. Y ello nos permite formarnos una idea bastante aproximada de los sistemas que utilizan los satélites militares.

Comparados con los sistemas que emplean película fotográfica, tienen el inconveniente de que la calidad y resolución de las imágenes recibidas en tierra es algo inferior; pero la información puede recibirse rápidamente y no tienen la limitación de la película fotográfica, que antes o después termina por agotarse. La cantidad de información que pueden transmitir a lo largo de su vida es muy superior.

Sin embargo, la transmisión en directo de las imágenes captadas a bordo sólo es posible cuando el satélite está en contacto con una estación terrena. Y, teniendo en cuenta las bandas del espectro de frecuencias utilizadas, este contacto directo sólo puede ocurrir cuando el satélite pasa por encima del horizonte de la estación y hay línea directa de «visión» entre ambos.

Al cabo del día, el tiempo total en que esta situación de visión directa satélite-estación se presenta es relativamente pequeño. Depende de la altura del satélite, de la inclinación de su órbita y en gran medida de la latitud geográfica en que esté situada la estación. Para concretar ideas vamos a considerar el caso de un satélite en órbita polar, a 250 km de altura y 90

minutos de período. Una estación situada en el ecuador, que es la peor situación para este caso particular de órbita, sólo podría tener contacto directo y recibir información unas 3 ó 4 veces al día, con un tiempo útil total no superior a unos 15 minutos. Esta misma estación situada en un polo, que teóricamente es la situación óptima para una órbita polar, ya que el satélite sobrevuela el polo en cada una de sus vueltas alrededor de la Tierra, podría establecer contacto 16 veces diarias, con una duración de unos 6 minutos cada vez y un total de unos 100 minutos al cabo del día. Y en latitudes intermedias, también serían intermedias entre ambos casos extremos las posibilidades de comunicación.

Pero incluso en el caso óptimo del ejemplo considerado, la estación sólo puede estar en contacto, y por tanto recibir información en directo, durante unos 100 minutos diarios. Y no puede recibir nada durante el resto del día, es decir, durante unos 1.340 minutos (el 93 por 100 del tiempo).

Disponiendo de una red de estaciones, adecuadamente distribuidas en la superficie terrestre, puede mejorarse algo esta situación. Pero, por razones geográficas, políticas y económicas, es imposible que la red de estaciones sea tan completa como para mantener un contacto ininterrumpido con estos satélites de reconocimiento. Y además, cuando sobrevuelan el territorio enemigo, que es justamente cuando están captando la información más interesante, es cuando normalmente quedan fuera del alcance de las estaciones propias.

El problema que se plantea puede resolverse de dos formas totalmente distintas. La primera, que es la corrientemente utilizada, consiste en almacenar a bordo la información que va recogiendo el satélite y transmitirla a tierra cuando está en contacto con una estación. En el satélite se instalan equipos de grabación, que deben tener gran capacidad de almacenamiento y, sobre todo, no deben degradar la calidad de las imágenes almacenadas. Estos sistemas de grabación suelen constituir un punto débil en el satélite, que en repetidas ocasiones han fallado, cuando el resto del satélite todavía seguía operativo. Además, aunque su capacidad sea relativamente grande, sólo puede almacenar una fracción de toda la información que sería capaz de captar el satélite. En resumen, que si bien el satélite puede tomar imágenes aunque no esté en contacto con ninguna estación, como su capacidad de almacenamiento es limitada, sólo puede hacerlo de ciertos objetivos prioritarios.

La segunda forma de resolver el problema anterior es la de utilizar un segundo satélite, en órbita geoestacionaria o en órbita elíptica de muy alto

apogeo, que actúe como repetidor. Las imágenes obtenidas por el satélite de reconocimiento se transmiten al satélite repetidor y desde él a una estación de tierra. La ventaja del sistema proviene de que el satélite repetidor puede estar en contacto permanente con la estación terrena (si el satélite está en órbita geoestacionaria), o mantener este contacto durante varias horas seguidas (si está en órbita de muy alto apogeo). De esta forma, las imágenes que vaya tomando el satélite de reconocimiento se pueden ir recibiendo en tierra sin ningún retraso. En principio, la cantidad total de información que puede obtenerse con este sistema es muy superior a la de los sistemas antes citados. Los EE.UU. utilizan los satélites de comunicaciones del tipo SDS, en órbitas muy excéntricas (perigeo 300 km, apogeo 30.000 km), como satélites repetidores.

3.5. Frecuencia con que puede fotografiarse un objetivo.

Si en un momento dado un satélite pasa, por ejemplo, por la vertical de Madrid (coordenadas 40° N, 4° W), cuando este satélite vuelva a cruzar el paralelo 40° N, después de haber dado una vuelta completa a la Tierra, ya no sobrevolará la ciudad de Madrid, porque durante el tiempo transcurrido la Tierra ha girado un cierto ángulo sobre su eje. El satélite cruzará el paralelo 40° N por un punto situado más al este. ¿Cuánto más al este? Pues depende de la altura de su órbita. Para órbitas bajas, de unos 200 ó 300 km de altura, que son las habituales en los satélites de reconocimiento, el período, es decir, el tiempo que tarda el satélite en recorrer su órbita completa, es de unos 90 minutos. Y en 90 minutos la Tierra ha girado $22,5^{\circ}$, que equivalen a unos 2.500 km en el Ecuador y a unos 1.990 km a 40° N.

En el ejemplo que hemos puesto de un satélite de órbita baja que sobrevuela Madrid, en el paso siguiente cruzaría el paralelo 40° N por el extremo este de Italia (península de Tarento). En la figura 1 se representan las zonas sobrevoladas en tres pasos consecutivos (a, b y c) de un satélite de este tipo y con una inclinación de 65° , que es bastante utilizada por los satélites de reconocimiento soviéticos.

Unas 12 horas después, el satélite vuelve a sobrevolar estas regiones (pasos d, e y f), pero si antes se movía de Sur a Norte (pasos ascendentes), ahora se moverá de Norte a Sur (pasos descendentes). Y si los primeros tenían lugar durante las horas diurnas, los segundos ocurrirán durante la noche, por lo que su utilidad, a efectos de toma de fotografías es muy inferior.

Los nuevos pasos diurnos tendrán lugar al día siguiente, unas 24 horas después de los primeros, después de que el satélite haya dado 16 vueltas a

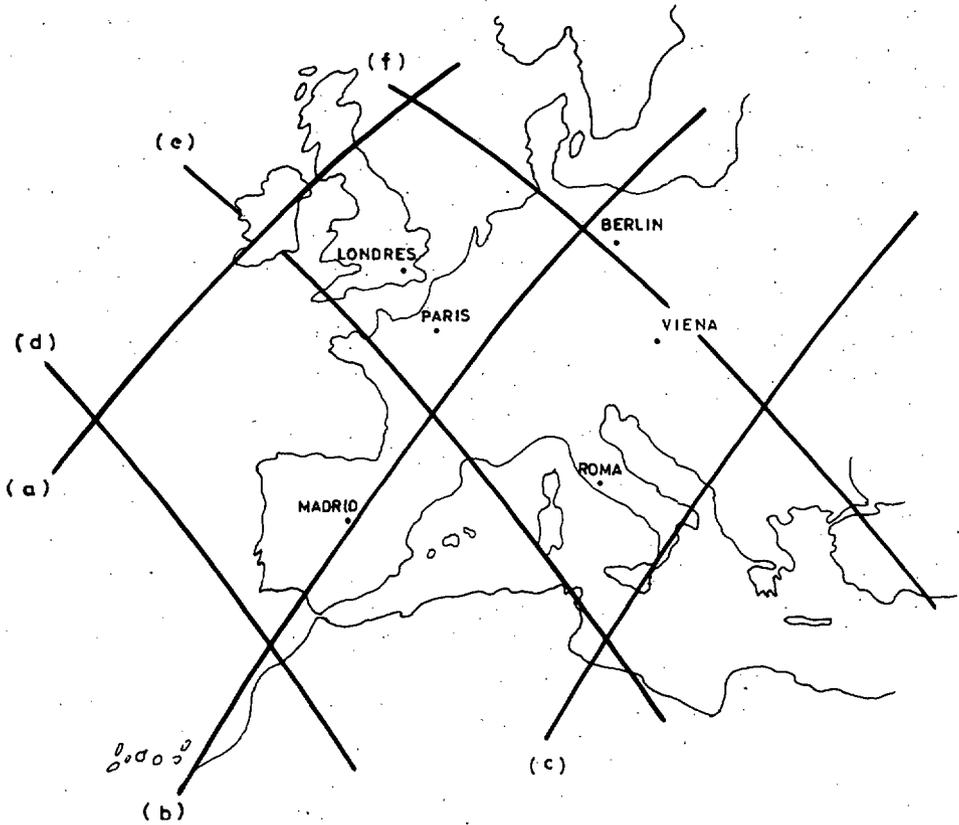


Figura 1

Zonas sobrevoladas en un período de veinticuatro horas por un satélite a 250 km de altura y 65° de inclinación de su órbita.

la Tierra. El satélite volverá a pasar sobre España, o sus proximidades, pero no forzosamente sobre Madrid. Y es posible que haya que esperar varios días hasta que vuelva a sobrevolar Madrid.

Eligiendo adecuadamente los parámetros de la órbita puede conseguirse que el satélite sobrevuele periódicamente el mismo objetivo, por ejemplo, cada día, o cada dos días. Pero hay otros factores a considerar en el momento de elegir la órbita más conveniente.

En el ejemplo mostrado en la figura anterior puede verse que entre la órbita que pasa por Madrid y la siguiente que pasa por el extremo este de Italia, hay una gran extensión de terreno, que no es sobrevolado por el

satélite y que no podría ser fotografiado ese día. Si el satélite repite su misma trayectoria al día siguiente y sobrevuela los mismos puntos del día anterior, las extensiones de terreno no cubiertas el primer día, tampoco lo serán en días sucesivos. Por el contrario, si la proyección de la órbita sobre la superficie se va desplazando de un día a otro, al cabo de un cierto número de días puede cubrirse todo el terreno sin dejar huecos.

La pregunta que surge ahora es: ¿cuántos días necesita un satélite para conseguir una cobertura completa? La respuesta depende fundamentalmente de la anchura de la franja que pueda fotografiarse en cada paso del satélite. Y esto a su vez depende de dos factores: la altura de la órbita y las características del sistema óptico de a bordo.

Es frecuente que los satélites de reconocimiento fotográfico puedan obtener imágenes de dos tipos: las que cubren un área relativamente grande con resolución moderada y otras de alta resolución y menor cobertura, que sirven para fotografiar con el máximo detalle objetivos concretos. En estos satélites, la cobertura completa del terreno sólo se consigue con la cámara de menor resolución. La altura del satélite es fundamental. Con un mismo sistema óptico, cuanto mayor sea la altura, mayor será la superficie cubierta por cada fotografía, aunque simultáneamente irá perdiendo resolución. A título de orientación puede decirse que para conseguir una cobertura completa con un satélite de órbita baja hacen falta entre dos y tres semanas.

En la práctica, el tiempo necesario puede ser mayor, principalmente por dos motivos. El primero, ajeno al satélite, es que las fotografías sólo se toman cuando la atmósfera está limpia, no hay nubes y se puede ver bien la superficie terrestre. El segundo son las limitaciones que suelen tener todos los satélites en cuanto a capacidad de almacenamiento de fotografías a bordo y capacidad del sistema de transmisión a tierra de estas fotografías.

Pero si lo que se desea, más que una cobertura completa, es saber con qué frecuencia pueden obtenerse imágenes de un objetivo concreto, el problema es distinto. La respuesta depende también de la altura de la órbita, pero sobre todo, de la capacidad que tenga el sistema óptico de a bordo para sacar fotos oblicuas, es decir, de cuántos grados pueda inclinarse a un lado y a otro de su trayectoria, para poder fotografiar objetivos que queden relativamente lejos de la vertical de la zona sobrevolada. También influye la latitud geográfica en que se encuentra el objetivo. Si se encuentra a unos 40° , puede pensarse que dicho objetivo podría fotografiarse unas dos veces por semana, si bien unas veces serían fotos verticales y otras, las más, serían fotos oblicuas.

3.6. Calidad de las imágenes obtenidas.

Se ha especulado mucho sobre los detalles que pueden observarse desde los satélites de reconocimiento y sobre el tamaño mínimo de los objetos que pueden identificarse en las fotografías tomadas por ellos. Este es un tema que siempre se ha considerado como alto secreto militar y nunca se han dado datos oficiales, ni se han publicado fotografías de alta resolución tomadas por satélites militares.

Por otro lado, las informaciones que han publicado algunos medios de difusión no se pueden aceptar ciegamente. Se presta a que sean filtraciones voluntarias, con datos exagerados, como parte de un plan para impresionar al público en general o confundir al adversario.

Concretamente, se publicó en la prensa hace ya algunos años que ciertos satélites norteamericanos podrían tomar imágenes de tan alta calidad y de tanta resolución, que no solamente podrían verse las personas y los coches, sino que incluso podían leerse los titulares de un periódico que tuviese en sus manos alguna de estas personas y las matrículas de los coches. Ante una noticia así cabe preguntarse: ¿es esto posible?, ¿es pura propaganda?, ¿qué parte hay de verdad?

Aunque no se disponga de datos oficiales, sí se puede llegar a unas ciertas estimaciones, posiblemente bastante cercanas a la realidad, analizando los principios físicos en que se basa el funcionamiento de una cámara fotográfica y las limitaciones que impone su utilización en un satélite. Para empezar, hay que tener en cuenta que la calidad de una imagen depende de bastantes factores. Depende, por supuesto, de las características de la cámara utilizada, pero también depende de la altura a que se encuentre el satélite, del tipo de película fotográfica empleada, del estado de transparencia de la atmósfera, de la forma en que está iluminado el objeto a fotografiar y del contraste que pueda haber por su forma o su color entre este objeto y el terreno circundante.

Suponiendo que todos estos factores se dan en grado óptimo, vamos a tratar de calcular cuál es la resolución máxima que puede obtenerse. En la figura 2 se muestra esquemáticamente la geometría de la formación de imágenes en el plano focal de una cámara fotográfica instalada en un satélite. La imagen que se forma en el plano focal es una reproducción de la que existe en la superficie de la Tierra, pero con unas dimensiones muy inferiores. La reducción es justamente:

$$\frac{d}{D} = \frac{f}{h}$$

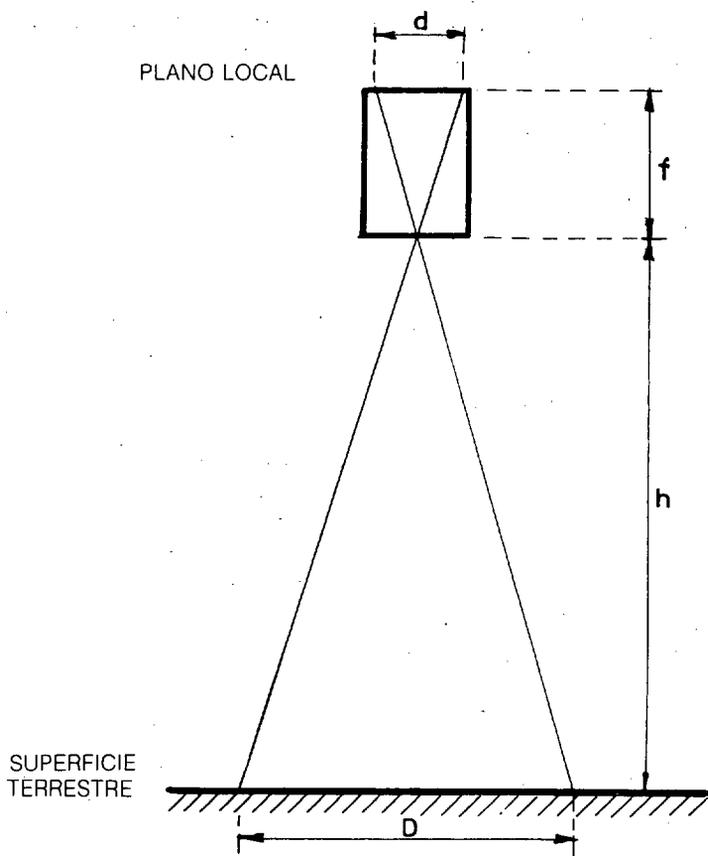


Figura 2

Representación esquemática de la formación de imágenes en una cámara fotográfica a bordo de un satélite.

siendo f la distancia focal del sistema óptico y h la altura a que se encuentra el satélite en el momento de tomar la fotografía. Si llamamos n al máximo número de líneas por milímetro que pueden grabarse en el papel fotográfico utilizado, la resolución R de la imagen, es decir, la distancia mínima en tierra entre dos objetos que pueden distinguirse como puntos separados en la fotografía, viene dada por la fórmula:

$$R = \frac{h}{f \cdot n}$$

en la que R viene expresado en metros, h en kilómetros, f en metros y n en líneas por milímetro.

Del examen de esta fórmula se deduce rápidamente que para conseguir una gran resolución (R muy pequeño) hay que tratar de que la altura del satélite h sea pequeña, que la distancia focal f sea grande y que el papel utilizado permita un gran número n de líneas por milímetro. Analicemos brevemente cada uno de estos tres factores para ver hasta dónde se puede llegar en la práctica.

3.6.1. *Altura del satélite.*

La altura mínima está limitada por la presencia de la atmósfera. La densidad atmosférica se va reduciendo con la altura de una forma gradual; pero incluso valores aparentemente ínfimos de esta densidad son suficientes para producir un efecto de frenado en el satélite, que le va haciendo perder altura e ir penetrando en capas más densas de la atmósfera. El proceso sigue, hasta que el satélite acaba quemándose y desintegrándose. El tiempo de permanencia en órbita de un satélite depende fundamentalmente de la altura de órbita, aunque hay otros factores que también influyen (forma y masa del satélite, excentricidad de la órbita, perturbaciones de la misma, actividad solar, etc.). Para concretar ideas y a título puramente indicativo podemos decir que un satélite en órbita circular a 800 km. de altura puede permanecer en el espacio unos 100 años. Que a 500 km. este tiempo se reduce a unos 10 años. Y que entre 150 y 200 km. el tiempo hay que medirlo en meses, o semanas, o incluso días.

La permanencia en órbita puede hacerse mayor utilizando órbitas excéntricas, y que el frenado atmosférico tiene lugar principalmente en la parte más baja del recorrido, es decir, cerca del perigeo, siendo menor en el resto. Si se utilizan órbitas excéntricas, hay que elegir adecuadamente sus parámetros para que cuando el satélite pase por su perigeo esté sobrevolando justamente las áreas de interés.

Si el satélite va provisto de un motor auxiliar, con su correspondiente combustible, es posible compensar el efecto del frenado atmosférico restaurando periódicamente la altura del perigeo y prolongando su vida útil. Incluso, con ayuda de un motor de este tipo es posible hacer *excursiones* de corta duración, bajando hasta unos 125 km. tomando las imágenes que se deseen y recuperando rápidamente la altura original. Si se intenta bajar más, o permanecer mucho tiempo en estas bajas alturas, la cantidad de combustible que se necesita es tan grande que la maniobra llega a ser prohibitiva. En cualquier caso, como el combustible disponible a bordo es siempre limitado, el margen que tiene un satélite para este tipo de maniobras es bastante reducido.

3.6.2. Distancia focal.

El deseo de obtener fotografías muy detalladas ha llevado a emplear cámaras fotográficas con distancia focal cada vez mayor. Se han llegado a montar a bordo de los satélites verdaderos telescopios de varias toneladas de peso.

Pero la distancia focal no se puede aumentar indefinidamente. Independientemente de los problemas de tamaño y peso que crea, el diámetro del sistema óptico tiene que aumentar al mismo tiempo que aumenta la distancia focal y este diámetro está limitado por problemas de difracción. Teniendo en cuenta estos factores, parece que es posible llegar hasta una distancia focal de 6 metros, pero que es muy difícil superar esta cifra.

Para poder reducir el tamaño total de la cámara, conservando una gran distancia focal, se recurre a los llamados sistemas ópticos plegados, tales como el Cassegrain, utilizado desde hace mucho tiempo en algunos tipos de telescopios terrestres, en que con ayuda de espejos la imagen sufre varias reflexiones y alarga su recorrido óptico.

3.6.3. Película fotográfica.

La capacidad de una película para impresionar imágenes nítidas viene expresada por el máximo número de líneas por milímetro que puede grabar, conservando cada línea su individualidad. Y esta capacidad del papel depende fundamentalmente del tamaño del grano en la emulsión. Cuanto más pequeño es el grano, mayor es n , el número de líneas por milímetro. En las aplicaciones que estamos considerando del grano es del orden de centésimas, e incluso milésimas, de milímetro. Para n se han dado en algunas publicaciones valores de 100 como *normales* y valores de hasta 175 como posibles.

3.6.4. Resolución máxima.

Después de las consideraciones anteriores, volvamos nuevamente a la fórmula:

$$R = \frac{h}{f \cdot n}$$

y vamos a suponer dos casos concretos:

- 1) Un satélite con una cámara de 5 m. de distancia focal, con un papel de 150 líneas/mm. y que sobrevuela el terreno a 150 km. de altura. Sustituyendo estos datos, se obtiene una resolución máxima de 0,2 m.

- 2) Si la cámara tiene una distancia focal de 6 m., el papel permite 175 líneas/mm. y el satélite sobrevuela a 125 km. de altura, es decir, en las condiciones que parecen ser las más extremas posibles, la resolución resultante es de 0,12 m.

En cualquier caso, una resolución próxima a los 15 cm. parece ser que es la máxima que puede conseguirse hoy en día desde un satélite. Pero conviene advertir que esta resolución máxima sólo podrá alcanzarse en algunos momentos, cuando sean óptimas una serie de circunstancias que también le afectan, como por ejemplo, la transparencia de la atmósfera, la presencia de polvo en suspensión, humos, vapor de agua, turbulencia, etc. degradan rápidamente la calidad de las imágenes.

Con independencia de los razonamientos anteriores y de los resultados a que se ha llegado, las «filtraciones» publicadas en algunas revistas, por ejemplo en la prestigiosa *Aviation Week*, citan la cifra de 6 pulgadas (15 cm.) como resolución posible en los satélites norteamericanos del tipo *Close-look*. Y esta coincidencia en el valor de 15 cm. da mayor verosimilitud a los resultados obtenidos en los cálculos anteriores.

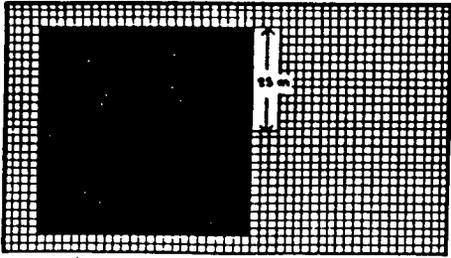
3.6.5. *Objetos que pueden detectarse.*

Si bien el concepto de resolución es bastante intuitivo, vamos a dar algunos ejemplos que lo concreten más. Con una resolución de 3 m. se puede detectar la existencia en tierra de misiles balísticos; pero hay que llegar a resoluciones de 0,5 m. si se desea identificar el tipo exacto de misil. Análogamente, basta una resolución de unos 5 m. para descubrir la presencia de un avión en tierra; pero ha de ser muy superior para conocer los detalles de forma, dimensiones, armamento exterior que lleva, etc.

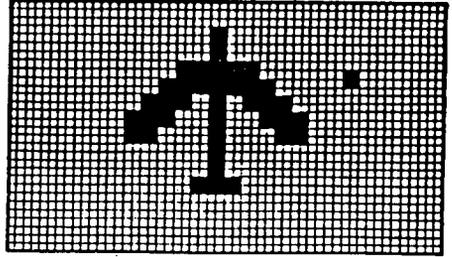
Lo que sí está claro es que la lectura de los titulares de un periódico o la de la matrícula de un coche es algo que queda fuera de las posibilidades actuales. Una resolución máxima de unos 15 cm. en forma alguna permite semejantes cosas.

La figura 3 es bastante ilustrativa. Muestra cómo se vería un avión tipo B-52, que tiene 56 m. de envergadura y 48 m. de longitud, con un sistema óptico cuya resolución fuera:

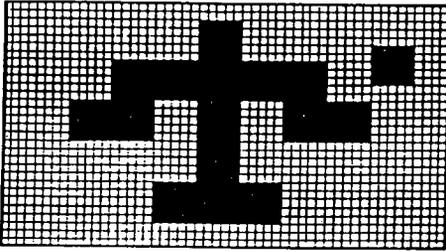
- 25 m. — imagen a
- 10 m. — imagen b
- 5 m. — imagen c
- 2,5 m. — imagen d
- 0,6 m. — imagen e



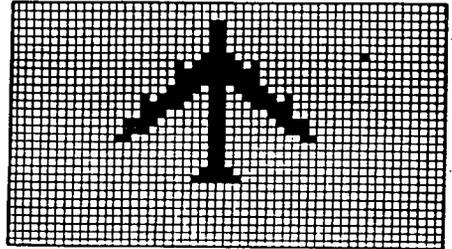
a



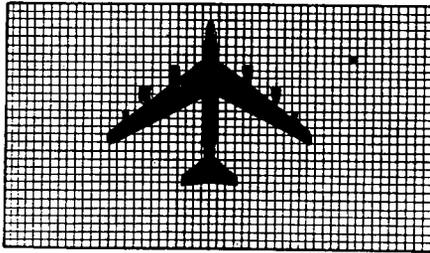
c



b



d



e

Figura 3

Forma en que se vería un avión de bombardeo B-52 (envergadura 56 m, longitud 48 m) con un sensor cuya máxima resolución fuera: a = 25 m, b = 10 m, c = 5 m, d = 2.5 m, e = 0,6 m.

Es interesante ver cómo se van apreciando cada vez más detalles, a medida que va aumentando la resolución.

En la figura 4 se muestra un detalle ampliado de una fotografía de una base aérea soviética con resolución equivalente a la que puede obtenerse con un satélite tipo *Big Bird*. Se aprecian con toda claridad un *Mig-25*, un *Mig-21* y hasta las personas que los atienden.

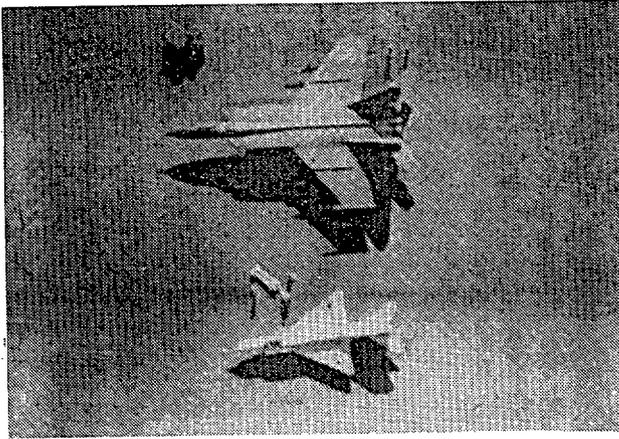


Figura 4

Fotografía de una base aérea soviética con resolución equivalente a la que podría obtenerse con un satélite *Big Bird*.

La fotografía reproducida en la figura 5 ha sido ampliamente difundida en numerosos libros y revistas. Fue tomada desde el *Skylab* en 1974 desde una altura de 430 km. y con una cámara de 0,46 m de distancia focal. La resolución es de unos 10 m. La foto muestra la base aérea de *Mac Dill* en Florida (EE.UU.). Entre otros muchos detalles, pueden verse los aviones en la zona de estacionamiento.

3.7. Posibilidades de enmascaramiento e interferencia del satélite.

Conociendo las posibilidades y limitaciones de los satélites de reconocimiento, se pueden adoptar algunas medidas que impidan, o al menos dificulten, la observación de determinados objetivos o actividades propias. Veamos algunas de ellas.

Cuando se trata de hechos o actividades de corta duración, la medida más eficaz es procurar que se produzcan en aquellos periodos en que no hay ningún satélite enemigo sobrevolando la zona en cuestión. Como ya se ha indicado antes, esta situación ocurre durante la mayor parte del día. Únicamente hay que disponer de la información necesaria para saber con anticipación las horas de paso de los satélites adversarios y poder planear las actividades propias que deseamos ocultar.

El obtener esta información puede ser difícil, o incluso imposible, para un país cualquiera; pero no lo es en absoluto para las grandes potencias. Concretamente los EE.UU. disponen de la Red NORAD (*North American*

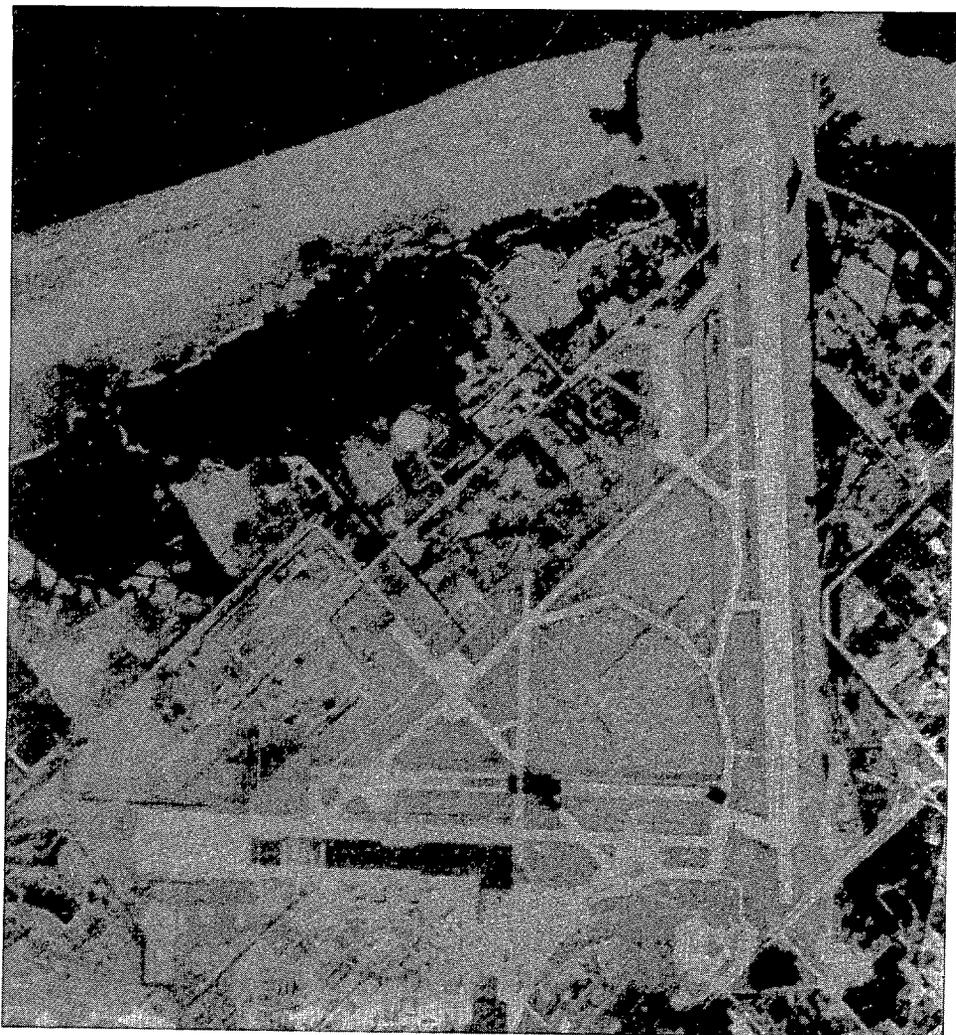


Figura 5

Base aérea de MacDill en Florida (EE.UU.), fotografiada por el Skylab en 1974 desde una altura de 430 km. La resolución es de unos 10 m.

Aerospace Defence Command) que, con ayuda de radares y sistemas ópticos adecuadamente distribuidos en distintos puntos de la Tierra, mantiene una vigilancia ininterrumpida de todos los objetos que se desplazan en el espacio exterior, hasta una altura muy superior a la utilizada por los satélites de reconocimiento. Con esta red se detecta rápidamente la presencia de cualquier nuevo satélite, aunque su lanzamiento se haya

tratado de mantener en secreto, y de cualquier cambio de órbita que haya podido producirse en alguno de los satélites que ya estaban en el espacio.

Una vez detectado un satélite y calculados los parámetros de su órbita, se puede predecir con bastante anticipación las horas de paso sobre cualquier punto de la superficie terrestre. Ciertamente que los satélites de reconocimiento van equipados normalmente con sistemas de propulsión, que les permiten efectuar algunas maniobras de cambio de órbita. Pero el combustible disponible a bordo es siempre bastante limitado y las maniobras posibles, especialmente si llevan consigo un cambio en el plano de la órbita, son relativamente pequeñas. Es decir, que las previsiones sobre pasos futuros de cada satélite pueden hacerse siempre con aceptable precisión.

Cuando se trata de objetivos fijos o de actividades que se van a desarrollar a lo largo de períodos relativamente largos, no cabe eludir el hecho de que antes o después un satélite de reconocimiento enemigo sobrevuele el objetivo y pueda fotografiarlo. Ante esta situación caben dos formas de actuar. La primera es tratar de que el objetivo que queremos ocultar pase desapercibido en las imágenes captadas por el satélite, es decir, enmascarar el objetivo. La segunda es impedir, o al menos dificultar, la actividad del satélite, interfiriendo sus instrumentos captadores de información.

Sobre el enmascaramiento de objetivos para ocultarlos a la observación aérea hay una larga experiencia. Su desarrollo y perfeccionamiento han corrido paralelos al desarrollo y perfeccionamiento de los aviones de reconocimiento y de sus medios de observación. Y esta experiencia y las técnicas aplicadas son extensibles en gran medida al enmascaramiento de objetivos frente a su observación desde satélites, que, por analogía con la observación aérea, podríamos llamar observación espacial.

Sin embargo, el trabajo de los expertos en enmascaramiento se ha complicado tremendamente por dos motivos. Por un lado, por el uso de fotografía multispectral, que permite a los satélites tomar simultáneamente varias fotografías de un mismo objetivo, cada una en una banda distinta del espectro de frecuencias, tanto en la zona visible como en el infrarrojo. Por otro lado, los espectaculares avances conseguidos en el tratamiento o procesado de las imágenes con ayuda de ordenadores, que junto con la fotografía multispectral, permite detectar objetivos enmascarados, en condiciones que hace no muchos años hubieran resultado impensables.

Sobre la posible interferencia de los satélites de reconocimiento, debemos distinguir su aspecto técnico y su aspecto político. Técnicamente,

esta interferencia es posible, e incluso podríamos decir que relativamente fácil, siempre que conozcamos la posición exacta del satélite en cada momento. Un simple haz de rayos láser, que ilumine continuamente al satélite mientras está sobre el horizonte del objetivo que queremos ocultar, basta para *cegar* al satélite y dejarlo temporalmente inoperativo. E incluso, si no lleva un dispositivo especial de protección del sistema óptico de a bordo, puede quedar permanentemente dañado. Pero lo normal es que los satélites lleven un dispositivo que cierre automáticamente el sistema óptico si es iluminado con algo que pueda dañarlo.

Políticamente se ha llegado a un acuerdo entre los EE.UU. y URSS para no interferir los *medios técnicos* de comprobación del cumplimiento de los Acuerdos SALT. Aunque no se citen expresamente, los *medios técnicos* se refieren fundamentalmente a los satélites de reconocimiento. Y según parece, este acuerdo de no interferencia se viene cumpliendo bastante bien, aunque las revistas especializadas citaran hace algunos años las interferencias sufridas por un satélite norteamericano cuando sobrevolaba Siberia. Pero fue un caso aislado y tal vez discutible si se trató de una interferencia voluntaria. Es evidente que en caso de conflicto armado este acuerdo no tendría ningún valor.

3.8. Programa de los Estados Unidos.

La primera información oficial sobre las actividades norteamericanas en el campo de los satélites de observación y vigilancia se tiene en noviembre de 1958, cuando el Departamento de Defensa de este país dio a conocer que el Programa WS-117 L (*Weapon System 117 L*), en el que se venía trabajando desde hacía tres años, consistía en realidad en tres programas distintos y complementarios, a saber:

- El Programa DISCOVER, de carácter experimental.
- El Programa SAMOS (*Satélite and Missile Observation System*), que era un programa operativo de satélites de reconocimiento.
- El Programa MIDAS (*Missile Defense Alarm System*), para la detección de lanzamientos de misiles.

El Programa DISCOVER, con un total de 38 lanzamientos entre 1959 y 1962, sirvió como banco de pruebas para ensayos y puesta a punto de equipos y técnicas utilizadas después en los satélites operativos.

El primer lanzamiento con éxito dentro del Programa SAMOS fue el *Samos-2*, en enero de 1961. Pero poco después, a partir del *Samos-3*

(septiembre 1961), se decidió mantener en secreto el desarrollo de este programa.

Desde 1961 hasta 1972 el programa de reconocimiento fotográfico de los EE.UU. estaba basado en dos tipos o familias de satélites, a saber:

- a) Satélites *Search-and-find*. Se utilizaban para la vigilancia y exploración previa de extensas zonas. Con un peso de unos 1.800 kg. iban provistos de cámaras de moderada resolución, pero cuyas fotografías cubrían amplias superficies de terreno. Eran muy adecuados para detectar objetivos y construcciones de interés estratégico. La información obtenida se solía transmitir a tierra por radio. La frecuencia de los lanzamientos, que empezó siendo de unos 14 al año, se fue reduciendo con el tiempo y acabó siendo de 2 al año.
- b) Satélites *Close-look*. Bastante mayores que los anteriores. Con un peso de unos 3.200 kg. llevaban a bordo cámaras de gran resolución y cámaras multispectrales. Se utilizaban para el examen detallado de objetivos concretos previamente seleccionados. La información se recibía en tierra recuperando la película impresionada, que se enviaba dentro de una cápsula adecuada. Generalmente se hacían los lanzamientos alternando uno del tipo *Search-and-find* y otro del tipo *Close-look*. Ambos tipos de satélites se lanzaban desde la base de Vandenberg (California) y se situaban en órbitas casi polares.

Uno de los principales inconvenientes de este sistema era el excesivo tiempo transcurrido desde que se recibía una información de interés proporcionada por un satélite del tipo a) antes citado, se estudiaba esta información, se preparaba el lanzamiento de un satélite tipo b) se tomaban las fotografías de alta resolución y se recuperaban estas fotografías.

Pero a mediados de 1971 los EE.UU. pusieron en órbita un gigantesco satélite de reconocimiento, como prototipo de una nueva generación. Hacia finales de 1972 parece que este nuevo tipo de satélites, llamado *Big Bird*, alcanzó su estado operativo. El *Big Bird*, con un peso total de unos 13.000 kgs. y con unas dimensiones aproximadas de 15 m de longitud y 3 m de diámetro, realiza las funciones correspondientes a los dos tipos de satélites antes citados.

Los *Big Bird* tienen como elemento básico una gigantesca cámara fotográfica *Perkin Elmer*. En realidad, más que de una cámara fotográfica deberíamos hablar de un verdadero telescopio, con una distancia focal de

varios metros y un peso estimado de unas 8 toneladas. Desde una altura de 160 km. puede conseguir fotografías en las que, según parece, se aprecian objetos de hasta 15 cm. de tamaño. El papel fotográfico, una vez impresionado, lo va enviando a tierra encerrado en cápsulas herméticas, que se desprenden del satélite y se recogen durante su descenso en paracaídas a través de la atmósfera, o tras su caída al agua. La recogida tiene lugar en el Océano Pacífico, cerca de las Islas Hawaii. Cada *Big Bird* puede enviar hasta 6 cápsulas. Una vez recuperado el papel, se envía urgentemente a Washington, al *National Photographic Interpretation Center* para su revelado, tratamiento con computador e interpretación de la información recibida.

Los *Big Bird* están equipados también con una cámara *Eastman Kodak* de media resolución. Sus fotos, que se transmiten por televisión a tierra y están disponibles con gran rapidez, sirven para alertar sobre la presencia de objetivos de interés, que se pueden fotografiar después con todo detalle con la cámara anterior. Para conseguir una buena calidad en la transmisión de estas imágenes por televisión, los *Big Bird* van provistos de una gran antena parabólica de 6 m. de diámetro, que va plegada durante el lanzamiento y se despliega una vez que el satélite está en órbita.

Desde 1972 se ha venido utilizando regularmente este tipo de satélite. Ha sido una pieza clave en el programa de reconocimiento fotográfico de los EE.UU. Su permanencia en órbita, que empezó siendo de 52 días, fue aumentando gradualmente, y en 1980 ya superaba los 6 meses. El ritmo de lanzamientos venía siendo de 1 ó 2 al año. En abril de 1986, una explosión del cohete lanzador, un *Titan 34 D*, destruyó el último *Big Bird*.

Paralelamente, en 1976 se empezó a utilizar un nuevo tipo de satélite, el *KH-11*, desarrollado conjuntamente por la CIA y por las Fuerzas Aéreas. Sus dimensiones y pesos son parecidos a los del *Big Bird*, pero se sitúan en órbitas más altas (unos 250 km. de perigeo y 520 de apogeo), permanecen bastante más tiempo en el espacio (más de dos años), y sobre todo, la información recogida se transmite a tierra en forma digital. Cada imagen se descompone en puntos, que se transmiten uno por uno, y después en tierra se reconstruye la fotografía punto por punto.

Las fotografías así obtenidas tienen de momento calidad algo inferior a las conseguidas con los *Big Bird*. Pero hay planes en marcha para ir mejorando esta calidad y sustituir completamente a los *Big Bird*. La explosión del *Titan 34 D* antes citada ha afectado también al desarrollo de este programa. Hasta ese momento había habido 6 lanzamientos. Dado que

la vida útil de estos satélites está limitada por el combustible necesario a bordo para mantener la adecuada orientación del satélite y para realizar correcciones de órbita, hay planes para que en un futuro próximo puedan ser reabastecidos de combustible por medio del transbordador espacial y prolongar así su vida útil.

3.9. Programa de la Unión Soviética.

Dentro de sus actividades espaciales, el programa en que la URSS ha realizado el mayor esfuerzo es justamente el de satélites militares de reconocimiento fotográfico. Cada año viene a poner en órbita unos 30 satélites de este tipo, consiguiendo así que siempre, o casi siempre, haya al menos uno en servicio. En ocasiones especiales, en momentos de tensión internacional, como fue la última guerra árabe-israelita, o la guerra de las Malvinas, u otras situaciones parecidas, se ha visto cómo la URSS era capaz de reaccionar con rapidez, aumentando el ritmo de lanzamientos y acelerando la recuperación de algunos de estos satélites para disponer rápidamente de la información que habían recogido.

Los lanzamientos se efectúan indistintamente desde Plesetsk, al norte de la URSS, a 62° de latitud, y desde Tyuratam, al noreste del Mar Aral, a 48° de latitud, aunque con preferencia desde el primer campo. Las órbitas utilizadas tienen inclinaciones comprendidas entre los 51° y 81° y, a diferencia de lo que hacen los EE.UU., no utilizan órbitas heliosíncronas. Puede estimarse que el número total de satélites fotográficos militares puestos en órbita por la URSS hasta finales de 1988 ha sido de unos 700, es decir, alrededor del 30 por 100 de todos los satélites lanzados por este país.

Aunque la información disponible sobre el programa soviético es incompleta, sí se tiene la suficiente como para reconstruir con un margen de error relativamente pequeño la forma en que ha ido desarrollándose a través de sucesivas *generaciones* de satélites, que en parte se han ido solapando en el tiempo.

Primera generación.—Se inició con el *Cosmos 4*, primer satélite de reconocimiento soviético, puesto en órbita el 26 de abril de 1962 y recuperado 3 días después. Los satélites de esta primera generación están derivados de las naves tripuladas *Vostok*. Su masa total es de unos 4.500 kg. y la masa de la cápsula que se recupera, con la película impresionada en su interior, es de unos 2.300 kg. Se utilizan lanzadores SL-3. La inclinación normal de las órbitas es de 65°. Y la vida útil de estos satélites, desde su lanzamiento hasta que se recupera la cápsula correspondiente, es

de 8 días con pocas excepciones. Una vez en órbita, no tienen ninguna capacidad de maniobra. El último satélite lanzado de esta primera generación fue el *Cosmos 153*, lanzado en abril de 1967.

Segunda generación.—Son satélites mayores, con una masa de 5.500 a 6.000 kg. Utilizan como lanzador el SL-4, el mismo que se emplea para poner en órbita las naves tripuladas de la serie *Voskhod*. El primer satélite de esta segunda generación fue el *Cosmos 22* (noviembre 1963) y el último el *Cosmos 1.004* (mayo 1978).

Dentro de ella podemos distinguir tres grupos: de baja resolución, de alta resolución y de permanencia en órbita extendida. Los satélites de los dos primeros grupos se recuperan a los 8 días, mientras que los del tercero se recuperan a los 12 días.

Tercera generación.—Se inició con el *Cosmos 251*, lanzado en octubre de 1968. Su masa está entre 6.000 y 6.500 kg. Una vez en órbita, tienen ciertas posibilidades de maniobra para modificar esta órbita. Se estima que estos satélites están derivados de las naves tripuladas *Soyuz*, pero sin paneles de células solares. La alimentación de energía eléctrica se hace a base de baterías, lo que hace que su vida útil sea relativamente corta. Se recuperan a los 13 días.

Cuarta generación.—Los satélites de esta generación, que se inició con el *Cosmos 758* (septiembre 1975), tienen mayor masa (unos 7.000 kg.), permanecen más tiempo en órbita (de 4 a 6 semanas) y van enviando cápsulas a tierra (entre 4 y 6) con el papel fotográfico que van impresionando. Se supone que están basados también en las naves *Soyuz*, pero con paneles de células solares para permitir su vida útil más larga. Si bien el primer lanzamiento tuvo lugar en 1975, parece que hasta 1980 no alcanzó su estado operativo.

Quinta generación.—Se inició hacia 1982 y alcanza su estado operativo en 1987. Su permanencia en órbita sigue aumentando. Habitualmente está entre 6 y 8 semanas, pero en un caso concreto *Cosmos 1.810* llegó a los 259 días. Tienen mayor capacidad de maniobra, que les permite modificar su órbita para sobrevolar y observar objetivos concretos. Tienen capacidad para transmitir por radio las imágenes tomadas, usando para ello satélites repetidores en órbita geosíncrona.

Como consecuencia de los avances conseguidos y a pesar de que el número de satélites de reconocimiento puestos en órbita cada año por la

URSS permanece sensiblemente constante, su capacidad de observación, medida en satélites por día en órbita, se ha triplicado entre 1980 y 1987.

En una primera comparación de los programas norteamericano y soviético resultan muy llamativos los enfoques tan diferentes de ambos. Por parte de los EE.UU. el programa se basa en el uso de muy pocos satélites, pero muy complejos, de gran capacidad y con una larga permanencia en órbita. En cambio, según acabamos de indicar, el programa ruso incluye muchos satélites, más pequeños que los norteamericanos y de vida útil bastante más corta.

3.10. Otros programas.

3.10.1. Programa chino.

Aunque la información disponible sea muy escasa, tenemos que mencionar las actividades chinas en el campo de los satélites de reconocimiento.

El 24 de abril de 1970 China efectúa su primer lanzamiento y entra a formar parte del grupo de naciones que son capaces de poner satélites en órbita. En 1975 tiene lugar la primera recuperación de un satélite chino. Hasta el 1 de septiembre de 1988 China había puesto en órbita un total de 23 satélites. Y había recuperado 11 de ellos.

Los satélites recuperables se lanzan desde Siuquan (41, 2° N-100° E), con lanzadores tipo CZ-2 (*Larga Marcha 2*). Tienen una masa total de unos 2.500 kg., si bien la masa del módulo recuperable es sólo de unos 1.800 kgs. Su permanencia en órbita es de cinco días como término medio. Se tiene la certeza de que algunos de estos 11 satélites eran militares de reconocimiento, pero no hay datos suficientes para identificar cuáles sí y cuáles no. Las órbitas de todos ellos, con perigeos bastante bajos, de unos 175 km., son muy adecuadas para la toma de fotografías de alta resolución. La inclinación de las órbitas, en torno a los 60°, permite observar todas las fronteras de la China con la URSS y un objetivo bastante probable de estos satélites es conseguir información detallada sobre el despliegue del ejército soviético cerca de las fronteras chinas.

4.10.2. Programa HELIOS

No podemos terminar esta exposición sobre los satélites militares de reconocimiento fotográfico sin citar al programa HELIOS. Actualmente está en fase de desarrollo y se espera poner en órbita el primer satélite en 1993



Se trata de un programa iniciado por Francia, al que posteriormente se han asociado Italia y España. El HELIOS está derivado del satélite francés *Spot*, puesto en órbita en 1986 dentro del Programa General de Observación de la Tierra. El HELIOS pesará unos 2.500 kg. y con un lanzador *Ariane 4* se situará en una órbita heliosíncrona, a unos 800 km. de altura. Según la revista *Air & Cosmos*, se estima que las fotografías obtenidas tendrán una resolución de un metro.

CAPÍTULO CUARTO

PERSPECTIVAS PARA EL AÑO 2000 DE LOS SATÉLITES C³I

4. PERSPECTIVAS PARA EL AÑO 2000 DE LOS SATÉLITES C³I

POR LUIS IZQUIERDO ECHEVARRÍA
y LUIS PUEYO PANDURO

4.1. Definiciones.

En primer lugar, se requiere la definición del ámbito de C³I. Como se sabe, el significado de esta designación es:

C³ = Mando (*Command*)-Control y Comunicaciones.

I = Información (*Inteligencia*).

El concepto «comunicaciones» es claro. Se trata del enlace entre mandos y subordinados, así como entre elementos del sistema.

Trataremos de aclarar los conceptos de mando y control con la descripción abreviada de un sistema espacial típico que comprende:

- Satélites en órbita.
- Redes en tierra, de mando (telemando) y control.
- Enlaces de comunicaciones de mando del sistema (generalmente —pero no exclusivamente— en tierra) con él o los satélites en órbita.

Estos enlaces pueden ser de cuatro tipos:

- Tierra-satélite (*up link*).
- Satélite-tierra (*down link*).
- Tierra-tierra a través de satélite (*through link*).
- Satélite-satélite (*cross link*).

Pero: no todos estos tipos de enlace se utilizan en un sistema espacial determinado.

Los dos primeros tipos se aplican a la transmisión de mensajes, órdenes, misiones del satélite, envío al centro de mando o control de la información adquirida, a facilitar el seguimiento del satélite, etc. En resumen, telemando, teledada y transmisión de información. Para facilitar el seguimiento del satélite, se emplea una baliza (*beacon*).

El enlace tierra-tierra se utiliza para las diversas redes de comunicaciones asociadas al sistema C³ y puede ser sin procesado (el satélite actúa sólo como estación repetidora) o con procesado, en el que la conmutación y/o la demodulación se realizan en el satélite.

El enlace satélite-satélite se utiliza, hasta el momento actual, en pocos sistemas. Sin embargo, se tiende a incrementar su empleo. Desde el punto de vista de la defensa, tiene dos grandes ventajas:

- Transmisión, con alto grado de seguridad, de información procedente de satélites en órbita baja a grandes distancias, vía satélites geostacionarios.
- Como consecuencia, reducción de estaciones de recepción.

La NASA ha puesto en servicio el sistema TDRSS (*Tracking and data relay satellite system*), que no tiene aplicación militar explícita, pero ésta ha quedado en evidencia al requerir el Departamento de Defensa norteamericano que el citado sistema se proteja contra el IEMP (impulso electromagnético instantáneo), que se produce en una explosión nuclear.

Finalmente, se considera la I de inteligencia:

La asociación de Inteligencia, un servicio militar clásico y del espacio, conduce a un dominio extraordinariamente amplio, tanto por la diversidad de funciones que se pueden realizar, desde el espacio, para la Inteligencia, como por la amplitud de cobertura, que comprende hasta la totalidad del globo terrestre y de su entorno.

Los sistemas espaciales que permiten obtener conocimiento de actividades del enemigo (potencial o real) que se pueden explotar en beneficio propio son los siguientes:

- Sistemas de reconocimiento.
- Sistemas de alerta avanzada.
- Sistemas de vigilancia naval.
- Sistemas de reconocimiento electrónico.
- Sistemas de detección de explosiones nucleares.

Estos sistemas se complementan con sistemas terrestres (NORAD, BMEWS, GEODSS) dirigidos a adquirir información espacial y con sistemas

espaciales de carácter civil que dan información de interés militar (Teledetección, Geodesia, Meteorología, etc.).

Los sistemas espaciales asociados con la Inteligencia, suministran una información sobre actividades realizadas por el hombre, sin embargo, no es la única información de interés para la Inteligencia, puesto que el conocimiento de características y de fenómenos naturales, es decir, de efectos esencialmente asociados a la Ciencia son, en muchos casos, de gran valor militar, aunque pueda existir alguna confusión respecto a la definición de su usuario principal, la Inteligencia o el Estado Mayor que planifica una operación.

Por ejemplo, la Geodesia facilita una información precisa de la situación de los objetivos del enemigo y del potencial gravitatorio. Es una información de carácter físico (conocimiento del geoide), pero esencial para la Inteligencia.

El conocimiento de la situación meteorológica es indispensable para la planificación de operaciones. Es una información esencial para un Estado Mayor y sin embargo, este mismo conocimiento, aplicado a la programación de la observación de un satélite de reconocimiento, basada en la cobertura de nubes, es necesario para la Inteligencia.

En consecuencia, procede considerar también como sistemas asociados a la Inteligencia algunos que suministran datos de carácter físico:

- Satélites geodésicos.
- Sistemas de satélites meteorológicos.
- Sistemas de observación marítima (estado del mar, observación del hielo).

No existe definición española de C³I, por lo que transcribimos la definición del Departamento de Defensa norteamericano:

«Los sistemas C³I son un conjunto de personal, equipos y elementos de información, proyectados para ayudar a la planificación, dirección y control de las fuerzas armadas».

«Su misión es incrementar la capacidad de disuasión, inherente a las fuerzas ofensivas y defensivas, y proporcionar a los comandantes de unidad de todos los escalones, una información precisa, fiable y oportuna».

«Asimismo, deben tener los medios necesarios para procesar, presentar y evaluar la información procedente de los diversos sensores y disponer de los elementos esenciales para que los comandantes de unidad puedan transmitir sus órdenes y decisiones a las fuerzas y sistemas de armas».

«Para neutralizar los beneficios que obtendría el enemigo al deteriorar nuestro C³I e impedir su funcionamiento correcto, los sistemas C³I tienen también como objetivo el desarrollo y operación de una guerra electrónica efectiva para las comunicaciones, el mando y el control».

Esta definición, tan prolija, trata de enumerar, concretar y definir todos los elementos y objetivos que constituyen un sistema C³I. Según las fuerzas armadas estadounidenses el elemento fundamental de un sistema C³I es el humano y para conseguir que un C³I funcione correctamente, se necesitan hombres bien entrenados y capaces de reaccionar rápidamente ante cualquier emergencia.

Como puede verse, en la figura 1 existe un gran paralelismo entre un ser vivo y un C³I.

Un sistema C³I debe tener las siguientes características fundamentales:

- Fiabilidad.
- Capacidad de supervivencia.
- Flexibilidad.
- Perfectibilidad.
- Posibilidad de funcionamiento con un cierto grado de degradación del sistema.

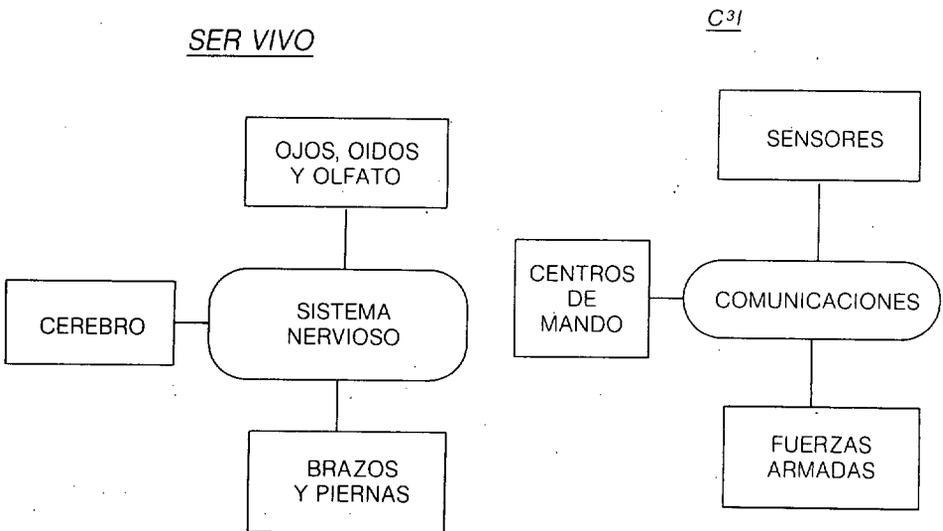


Figura 1

Esquema de paralelismo entre un ser vivo y un C³I

y sus finalidades básicas son:

- Acelerar y facilitar las funciones de mando y control.
- Tratamiento automático de la información para:
 - Permitir la transmisión de órdenes con rapidez y seguridad.
 - Facilitar rápido acceso a cualquier información, archivada en el banco de datos.
 - Presentar adecuadamente la situación actual, total o parcial, o cualquier información que se requiera.
- Compatibilidad e interoperabilidad con otros sistemas nacionales o aliados.

Evidentemente, se debe disponer de un mantenimiento adecuado para garantizar que la operatividad del sistema no se degrade.

4.2. **Situación actual.**

4.2.1. *General.*

Los elementos básicos, o subsistemas, de cualquier sistema C³I son:

- Subsistemas de adquisición de datos (sensores), cuya misión es adquirir información de toda índole, tanto del despliegue enemigo como del propio, meteorológica, geodésica, etc.
- Banco de datos, donde se archiva la información procedente de los sensores.
- Cálculo y proceso de datos, en los que se analizan, refunden y preparan para su presentación, los datos del banco.
- Subsistemas de presentación, que exponen de la manera más adecuada la información procesada.
- Red de comunicaciones, para transmitir la información a los mandos y las órdenes y decisiones de ellos a las unidades que deben cumplirlas.

Hay dos subsistemas fundamentales para un C³I, el de comunicaciones, cuya importancia salta a la vista, y el de proceso de datos, que quizá requiera unas líneas de explicación.

Al banco de datos está constantemente llegando una numerosa información, muy variada y de gran complicación, procedente de los diversos sensores.

Llega información por radiofrecuencias, infrarrojos, electroópticos, sensores pasivos (como televisión, p.e.), de sistemas *Elint* y *Sigint*, de amplificadores

de luz, de navegación, de movimientos de tropas, etc. Pero todo ello, procedente de sensores que no pueden producir información ponderada, y para los que cualquier dato tiene igual importancia que otro. Además, muchos sensores darán prácticamente información, casi idéntica, acerca de un objetivo determinado observado simultáneamente desde puntos distintos.

El filtraje y fusión de toda esta información para presentarla de forma tal que permita las decisiones rápidas que se exigen al Mando en una guerra moderna, es un problema de gran dificultad e importancia. A todos esos datos —que podríamos llamar instantáneos— hay que añadirles los planes estratégicos y tácticos propios, la información obtenida por otros medios (espionaje, prisioneros, etc.) y luego sintetizarlo todo y en tiempo real, si que quiere ser eficaz.

4.2.2. *Satélites en C³I.*

Anteriormente se ha bosquejado un sistema espacial típico. El papel de los satélites en la compleja organización descrita en el punto 5.2.1. depende de que el C³I sea estratégico o táctico y dentro de los sistemas tácticos, del tipo de operación en la que se empleará un C³I. Hay que recordar siempre que los sistemas C³I, con toda su complejidad, no son más que un elemento de trabajo del mando para ayudarle a decidir y mandar.

Los sistemas C³I estratégicos tienen estaciones complejas y fijas en tierra, mientras que en los tácticos las instalaciones terrestres son, como mínimo, transportables. Los C³I tácticos han de tener capacidad de respuesta inmediata a las variaciones rápidas y complejas que se producen en cualquier operación, mientras que los estratégicos no necesitan, en general, esa capacidad.

En la figura 2 se muestra un esquema simplificado de un C³I típico y como puede verse, es prácticamente (salvo en la parte de Inteligencia) igual al esquema de un sistema de control automático.

Del esquema aparece, en principio, la posibilidad de empleo de dos clases de satélites (o de familias de satélites). Para la red de comunicaciones, pueden utilizarse a gran altura y, por tanto, de vida posible larga, mientras que para la información del campo de batalla se necesitan órbitas más bajas, en especial para la obtención de información radioeléctrica. No obstante, desde órbitas elevadas, se puede conseguir información radioeléctrica en dos casos:

- La relativa a satélites con elementos activos.
- Telemedidas de misiles en vuelos de prueba.

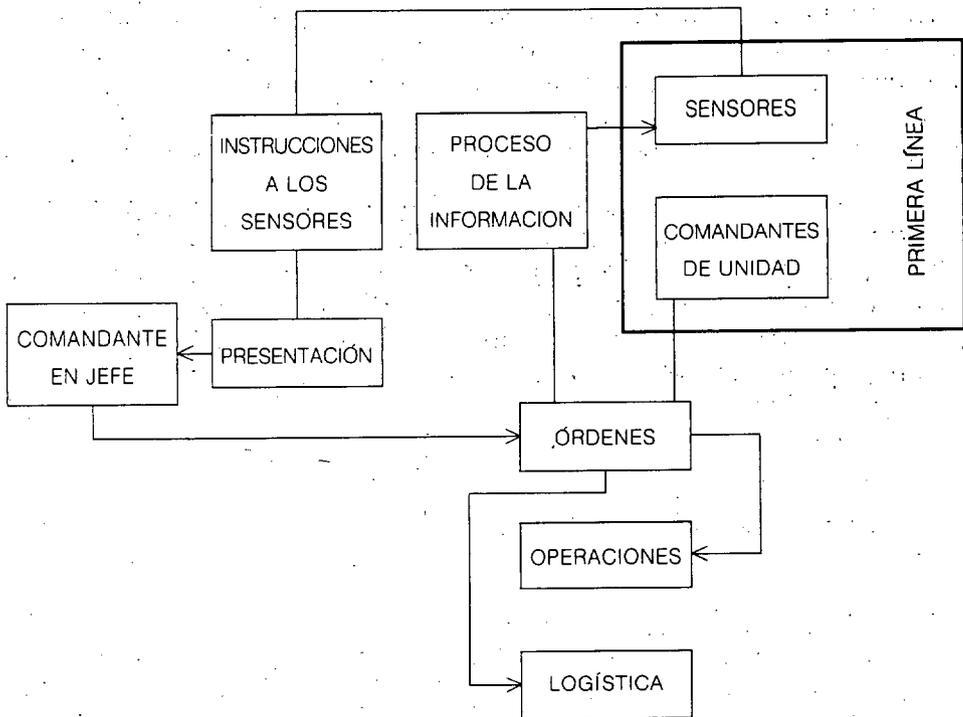


Figura 2

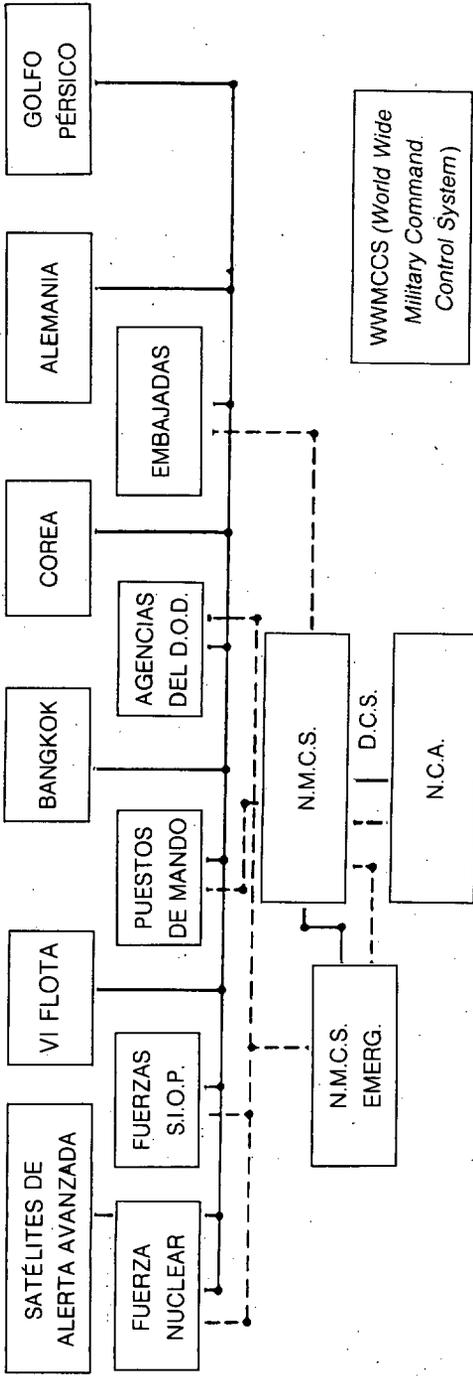
Esquema simplificado de un Sistema C³I típico

4.2.3. Sistemas C³I estratégicos.

Su misión principal es alerta de ataques enemigos por misiles o unidades de bombardeo y control de la respuesta al ataque, además de proporcionar información sobre los daños producidos por el ataque.

Esta definición de misión, excluye como sistema estratégico al AWACS de la OTAN al que muchos comentaristas clasifican como sistema estratégico, entre otras razones, por la complejidad de sus subsistemas.

En el mundo occidental, el C³I estratégico más complejo es el de EE.UU., cuya estructura simplificada se puede ver en la figura 3. Este sistema proporciona al Mando Nacional (NCA = *National Command Authority*) el mando y control de las Fuerzas Armadas norteamericanas a escala mundial. Tiene en servicio unos 40 computadores situados en 25 centros de mando y dispone de unas 17×10^6 líneas de transmisión de datos. En la figura se indican los significados de las siglas que se utilizan en el texto.



WWMCCS = Sistema mundial militar de mando y control.

DCS = Sistema de comunicaciones de la Defensa.

MEECN = Red de comunicaciones mínimas esenciales de emergencia.

N.C.A. = Comandante en Jefe de las Fuerzas Armadas Norteamericanas.

N.M.C.S. = Sistema militar nacional de mando.

S.I.O.P. = Plan estratégico integrado de operaciones.

D.O.D. = Departamento de Defensa.

—●— Enlaces DCS (Defense Communications System).

- - -●- - - Enlaces MEECN (Minimum Essential Emergency Communications Network)

N.C.A. (National Command Authority).

N.M.E.S. (National Military Command System).

S.I.O.P. (Strategic Integrated Operations Plan).

D.O.D. (Department of Defense).

Figura 3

Diagrama esquemático simplificado del sistema mundial norteamericano.

El NMCS, dispone de tres puestos de mando fijos en la superficie terrestre y uno de emergencia móvil, situado en un avión E4B, cuya misión es la de supervivencia ante un ataque nuclear que destruya los tres puestos terrestres. La transmisión de información en el NMCS se realiza con los medios del DCS que interconecta todas las unidades de las Fuerzas Armadas Norteamericanas.

El DCS emplea 5 satélites, 100 terminales terrestres de satélite, varios millares de radioenlaces y enlaces troposféricos y unos 50×10^6 kilómetros de líneas. Sus usuarios disponen en todo el mundo de enlaces en telefonía, teletipo y facsímil tanto normales como seguros.

En situación de crisis, está previsto el empleo del MEECN para asegurar el enlace entre el NCA y fuerzas especiales, en particular, las afectas al plan integrado de respuesta a un ataque nuclear. Este sistema utiliza también satélites y cubre un amplio margen de frecuencias, especialmente las de enlace con los submarinos portamisiles.

Según los EE.UU., la URSS dispone de un sistema estratégico C³I muy eficiente y con una magnífica cobertura mundial. En especial, el SIGINT soviético emplea más de 400 personas y varios millares de sensores desplegados en todo el mundo y en particular por los océanos, más varios cientos de centros de interceptación, análisis y proceso de datos.

Los principales componentes del C³I soviético son:

- El mando nacional.
- La red de sistemas de alerta avanzada.
- La red de sistemas de vigilancia.
- Los sistemas de comunicaciones, normal, de emergencia y de alarma.

Desde 1950, la URSS ha dedicado alta prioridad a la supervivencia de sus sistemas de mando, de las fuerzas armadas, el político y el económico, lo que ha influido fuertemente en la organización del sistema.

Así en Moscú está desplegado el único sistema operativo en el mundo de ABM (misiles antibalísticos) compuesto de misiles interceptores, radares, elementos de detección y dirección de tiro, comunicaciones, etc. Este sistema se está modernizando desde principios de los años 80.

Los sistemas SIGINT soviéticos más importantes detectados son:

- 30 conjuntos circulares de antenas Wullenweber para interceptación y goniometría a distancias hasta 10.000 km.

- Los complejos instalados en Lourdes (Cuba), bahía de Can Ranh (Vietnam) y Dhormas-Kar (Aden, Yemen del Sur).
- Los sistemas de escucha instalados en asentamientos diplomáticos de la URSS, especialmente los de EE.UU., Inglaterra, Japón, Canadá y Australia.
- Los más de 500 aviones *Elint*.
- Los más de 60 barcos *Sigint*.

Los sistemas de satélites soviéticos se describen a continuación:

La URSS ha establecido tres constelaciones diferentes de satélites para cubrir sus requerimientos de C³I, desde el nivel táctico hasta el estratégico.

- Constelación desplegada a 800 km de altitud, constituida por tres satélites, en planos orbitales separados 120°.
- Constelación desplegada a 1.300 km, constituida por un conjunto de 20 a 30 satélites de pequeño tamaño en un mismo plano orbital.
- Constelación *Molniya 1*.

Las dos primeras constelaciones se utilizan para los requerimientos tácticos, pero también cumplen una misión importante para la Inteligencia. Los satélites reciben desde puntos fijos transmisión de información que almacenan a bordo y la retransmiten, bajo órdenes de telemando, a estaciones de recepción. En particular, pueden hacer llegar a Moscú mensajes y datos procedentes de diversos puntos de transmisión como:

- Submarinos de la fuerza estratégica nuclear.
- Puestos de mandos dispersos.
- Agentes de la KGB distribuidos por todo el Globo.

Dada la pequeña distancia de los satélites se requieren transmisores de baja potencia.

El inconveniente de este sistema es que no responde a los requerimientos de C³I en tiempo real de modo que en transmisiones fuera de la zona de cobertura del satélite tiene retraso que puede ser de horas.

El número elevado de satélites, sin duda relacionado con su capacidad de almacenamiento de mensajes, asegura la comunicación permanente con todos los centros de control militar y fuerzas desplegadas, incluso en las mayores latitudes del territorio soviético.

La vida activa de los satélites es de unos 500 días, por lo que requieren una sustitución periódica.

Al menos se hacen unos cuatro lanzamientos al año, dos lanzamientos simples para la primera constelación y dos lanzamientos múltiples, en grupos de ocho satélites, para la segunda constelación.

Para las aplicaciones estratégicas se utiliza, desde 1965, la constelación *Molniya 1* que satisface los requerimientos de C³ en tiempo real. Está constituida por ocho satélites en planos separados 45°, en órbita de 63° a 65° de inclinación, perigeo de 500 km y apogeo de 40.000 km y período de doce horas. Con estas órbitas tan excéntricas y el desfase entre los tiempos de paso de los satélites, se asegura la cobertura continua del territorio soviético.

Dada la situación de las bases de lanzamiento de la URSS, la inyección en órbitas de inclinación elevada y muy excéntricas, permite cargas útiles mayores que si se inyectaran en órbita geoestacionaria.

La vida activa media de estos satélites es de unos 900 días. Cada año se sustituyen tres o cuatro satélites.

El sistema *Molniya 1* se ha continuado con sucesivas generaciones, dos y tres de utilización mixta civil y militar.

El sistema C³I de la URSS tiene unos subsistemas de alerta avanzada, principalmente para detección de misiles balísticos. Consta de tres niveles:

- Satélites de vigilancia infrarroja que dan 30 minutos de alerta contra cualquier lanzamiento de misiles intercontinentales.
- Radares trans-horizonte de unos 20-40 Mw a frecuencias entre cuatro y 27 Mhz.
- Radares de detección y seguimiento, capaces de detectar y perseguir objetivos a más de 6.000 km de distancia.

Como se ha visto anteriormente, el C³I de la URSS emplea más satélites que el de EE.UU., lo que es considerado por éstos como una debilidad del sistema soviético.

4.2.4. *Sistemas C³I tácticos.*

Como ejemplos describiremos, de forma simplificada, los sistemas norteamericanos, NTDS y TACS, respectivamente de la Marina de Guerra y de las Fuerzas Aéreas.

El NTDS (*Naval Tactical Data System*) es un C³I de control de sistemas de armas, instalado a bordo de un buque.

Sus sensores son radares, satélites, IFF, sonares, *Sigint*, etc.

El proceso de datos procedentes de estas fuentes, tan diversas y situadas geográficamente en puntos que pueden estar muy distantes, resalta la importancia del problema de «fusión de datos» citado en 5.2.1, problema que en los sistemas C³I tácticos tiene aún más gravedad, debido al escaso tiempo de que el mando dispone para ejercer su función.

Una idea de lo complicado del problema se logrará si se considera que los datos que envían los sensores al banco de datos pueden:

- Obtenerse en diversos puntos del espacio o tiempo.
- Tener diferente precisión de medida y distinta resolución espacial.
- Medir en sistemas de coordenadas dispares.
- Tener errores de ajuste desemejantes.

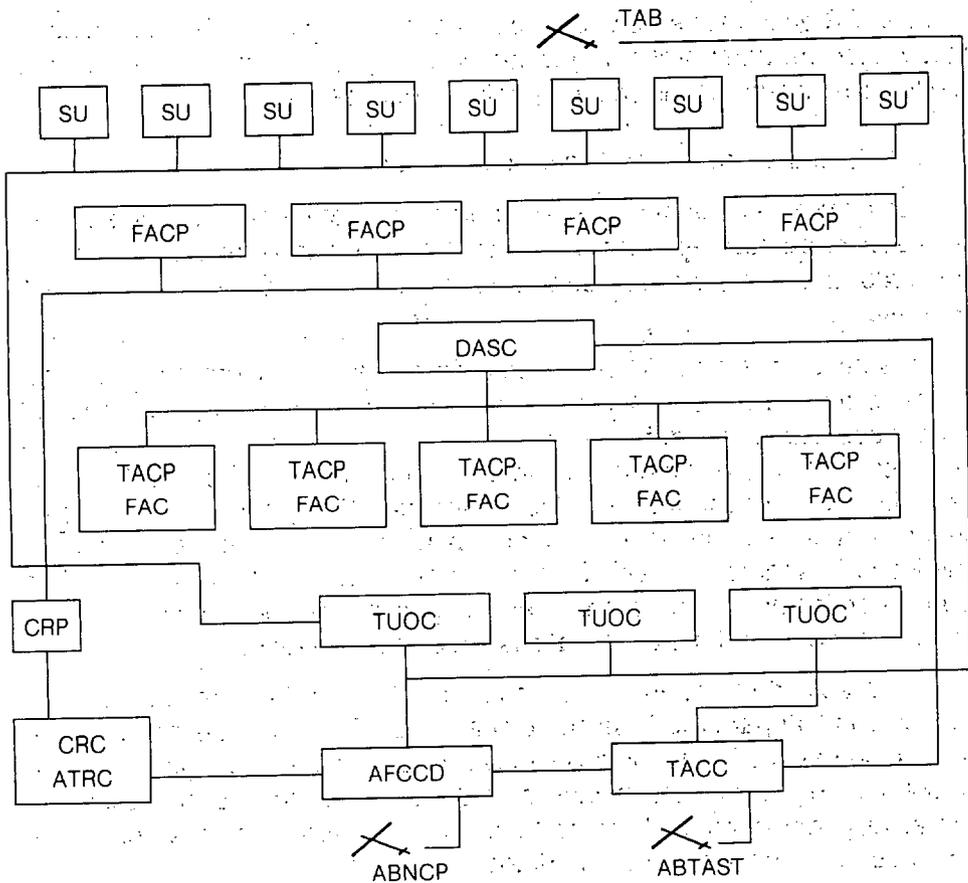
Es muy frecuente que al considerar datos procedentes de diversos sensores como los citados del NTDS, sin proceso completo de análisis y fusión, aparezcan en la presentación al mando como varios enemigos lo que en realidad es uno solo.

El NTDS proporciona, entre otros servicios:

- Procesado, archivado y presentación de la información procedente de los sensores con la mayor velocidad factible.
- Intercambio automático, en tiempo real, entre todos los buques integrados en el NTDS de la información acerca de enemigos en superficie, aire o sub-aire.
- Envío continuo, por circuitos seguros, de datos de la información a todos los buques integrados en NTDS tanto a los que están en puerto como a los que se encuentran navegando.

En la figura 4 se muestra un esquema simplificado del sistema TACS (*Tactical Air Control System*), en el que se puede apreciar la complejidad del sistema y revela que se orienta más hacia la dirección de las operaciones que hacia otras misiones.

En el TACC (*Tactical Air Combat Center*) se reciben los datos que a través del CRC (*Combat Reporting Center*) recogen los sensores. A esa información se une la meteorología, la logística de disponibilidad de armas y servicios y la información procedente de los puestos avanzados de control y una vez procesado, se remiten al puesto de Mando. Tomada la decisión del mando, se envían las órdenes de apoyo a las unidades de operaciones mediante el TACP (*Tactical Air Control Party*), el FAC (*Forward Area Controller*) y TUC (*Tactical Unit Operations Center*).



- TAB = Tactical Air Base = Base Táctica Aérea.
 SU = Supporting Unit = Unidad de apoyo.
 FACP = Forward Area Control Post = Puesto de control de la zona avanzada.
 DASC = Direct Air Support Center = Centro de apoyo directo aéreo.
 TACP = Tactical Air Control Party = Organización de control aéreo táctico.
 FAC = Controlador de la zona avanzada.
 CRP = Combat Reporting Post = Puesto de informes del combate.
 TUOC = Tactical Unit Operations Center = Centro de operaciones de las Unidades Tácticas.
 CRC = Combat Reporting Center = Centro de información del combate.
 ATRC = Air Traffic Reporting Center = Centro de información de Tráfico Aéreo.
 AFCCD = Air Force Component Commanding Post = Puesto de Mando de la Fuerza Aérea.
 TACC = Tactical Air Component Center = Centro de la Fuerza Aérea Táctica.
 ABNCP = Airborne National Commanding Post = Puesto de Mando Nacional Aerotransportado.
 ABTAST = Airborne Tactical Air Support Team = Equipo de la Fuerza Aérea de apoyo táctico aerotransportado.

Figura 4

Esquema simplificado del sistema TACS.

El TACS posee sensores de todas clases incluso AWACS y sus centros de proceso de datos trabajan en tiempo real y a velocidad máxima, para permitir reacciones ofensivas y defensivas oportunas y a tiempo.

4.2.5. *Comparación de medios de comunicación.*

Hemos visto, en los capítulos anteriores, el vasto campo de aplicaciones del satélite en los sistemas C³I para funciones muy diversas y como elemento fundamental en los subsistemas de transmisión e información de órdenes.

La selección del medio de transmisión que se considere como básico, depende de una serie de factores operativos y técnicos cuyo análisis, en cada caso particular, debe ser realizado conjuntamente por los Estados Mayores y los organismos técnicos de la Defensa. Este estudio es especialmente importante en los sistemas C³I tácticos, mucho más dependientes de condiciones locales y puntuales y mucho menos estable que los C³I estratégicos. Aunque el esquema operativo de cualquier C³I es igual, prácticamente, los medios empleados pueden ser muy diferentes entre uno y otro en función del análisis técnico-operativo.

En la tabla de la figura 5, se comparan los diferentes medios que se pueden emplear para redes de comunicación de C³I y se ve claramente que, en función del análisis técnico-operativo citado, los medios empleados y la proporción entre diferentes medios, para dos sistemas con distinta aplicación operativa, pueden ser muy dispares. Lo mismo se aplica a los sensores y a los sistemas de proceso y banco de datos.

4.3. **Perspectivas futuras.**

4.3.1. *General.*

Aunque las aplicaciones espaciales han evolucionado muy rápidamente desde que el espacio ha sido accesible, el ritmo de la evolución decrece progresivamente como consecuencia del nivel de complejidad técnica de los proyectos avanzados que prácticamente requieren el desarrollo de nuevas tecnologías, porque se trabaja en los límites del conocimiento, lo que conduce a que el desarrollo de nuevos proyectos requiera, hasta su puesta a punto y su calificación de operacional, unos plazos muy dilatados. En consecuencia, para el año 2000 no es previsible que se presenten variaciones considerables respecto a los sistemas que se desarrollan actualmente.

Algunos sistemas como el GPS o el MILSTAR son buen ejemplo de esta realidad. Sin embargo, son programas que están en experimentación y cuya perspectiva de terminación es realista.

Características	Radio HFI	Radio VLF	Radio UHF Repetidor Aéreo	Satélite	Microondas	Troposférico	Cable
Capacidad de circuitos	B/M	B	A	B/A (1)	M/A	M	M/A
Móvilidad	A	B (2)	A	B (2)	B/M	B/M	B
Facilidad de reposiciones	A	B	M (3)	B	B/M	B	B
Posibilidad de transmisión de datos	M	B	A	A	A	A	M/A
Resistencia a la GEL	M	M	M/A	M	M	M	A
Intercepción por el enemigo	M/B	B	A	B	M	M	M
Protección al IEPM	A	M	A	M/A	A	M/A	M/B
Protección física (4)	A	B	M	B	B	B	B/M
Inmunidad a los efectos atmosféricos	M	A	A (3)	A	M/A	M/A	A
Coste por circuito	M	A	M/A (5)	A	B/M	M	B/M

A = Alto, M = Medio, B = Bajo.

- Notas: (1) Depende del número de terminales y satélites.
 (2) Excepto en casos muy especiales.
 (3) Se exceptúan los efectos en el avión.
 (4) Contra acciones subversivas y las directas del enemigo.
 (5) Incluye el coste del avión repetidor.

Figura 5

Diferentes medios que se pueden emplear para redes de comunicación de C³I

Otros programas no pasan del nivel conceptual, aunque exista una base teórica y cierta experimentación, todo lo cual puede servir esencialmente para identificar las tecnologías que es necesario desarrollar para que lleguen a ser una realidad. Un buen ejemplo es el programa americano SDI (*Iniciativa de Defensa Estratégica*), que se ha iniciado sin tener en cuenta la certeza de que será posible desarrollar la tecnología necesaria para su realización.

Aunque se trata de un sistema concebido para la defensa contra las ojivas nucleares de los misiles estratégicos, es indudable que si llegara a ser una realidad, plantearía una situación revolucionaria respecto a la utilización militar del espacio.

Por último, se puede identificar un tercer grupo de programas, entre los dos extremos mencionados; aquellos en los que el reto tecnológico es previsiblemente superable y que si bien pueden requerir un desarrollo dilatado se pueden considerar realizables. Un ejemplo típico es el programa de estación espacial permanentemente habitada, iniciado por la NASA e internacionalizado posteriormente, como consecuencia del ofrecimiento del presidente americano, con la adhesión de ESA, Japón y Canadá como participantes.

Si bien se trata de un programa civil, se señala que la intervención del Departamento de Defensa ha impuesto el requerimiento de que la estación pudiera ser utilizada para fines de seguridad nacional por los participantes, lo que ha constituido una de las mayores dificultades en la negociación con los otros participantes. En consecuencia, no se puede excluir una utilización militar de la estación; es decir, la existencia de una gran base militar orbital con tripulación permanente (relevos periódicos). Aunque su utilización como base agresiva no se considera aceptable, por su vulnerabilidad, como base de observación y como plataforma de ensayos de sistemas puede ser de alto valor militar.

En consecuencia, se pueden identificar tres tipos de programas de futuro:

- Programas de operatividad inmediata.
- Programas de operatividad en un plazo del orden de una década.
- Programas a muy largo plazo, para fechas más avanzadas.

Las consideraciones de futuro que se presentan a continuación se refieren al primer tipo y en cierta medida al segundo, la incertidumbre respecto a los del tercer tipo hace aconsejable su exclusión.

4.3.2. Comunicaciones.

La tendencia es asegurar las comunicaciones y se realizarán los mayores esfuerzos para evitar:

- Fallos de equipos: mediante el desarrollo de la tecnología y la redundancia.
- Atenuación atmosférica.
- Interferencias.

Neutralizar las acciones del enemigo, entre las que se mencionan:

- Utilizar el enlace en beneficio propio — Captar pasivamente las señales.
- Anular el enlace — Interferencias mediante transmisión a la misma frecuencia.
- Inyectar su propia señal en el enlace — Transmisión de una señal, parecida a la verdadera.
- Ataque físico (aunque no practicado en GEO)

Los enlaces de telemando son más susceptibles a estas acciones:

- Interferencias: durante el lanzamiento sería catastrófico.
- Captación de señal para obtener información, tanto sobre la posible misión del satélite, como para conocer la forma de control. Necesario si se trata de enviar órdenes que degraden o anulen la misión.
- Generando órdenes espúreas, se puede hacer lo que se quiera del satélite dentro de sus límites de capacidad y es prácticamente imposible demostrar que se ha producido esta acción.

Evidentemente hay contramedidas contra estas acciones:

- Contra interferencias, utilizar flexibilidad de frecuencias en la banda.
- Contra la captación de emisiones — encriptado.
- Contra la inyección de señales — firmas de digitales que permitan conocer la autenticidad de la señal.

Los enlaces satélite-tierra son más difíciles de atacar. Aunque la antena transmisora, a bordo del satélite es necesariamente reducida, así como la potencia de transmisión, la antena de tierra puede ser de grandes dimensiones y en consecuencia muy direccional y dirigida al satélite.

La captación de la señal del satélite a tierra es una operación que no presenta grandes dificultades, pero la inyección de señales espúreas o la

interferencia es muy difícil de realizar porque es necesario que el dispositivo enemigo se intercale en el haz.

En los sistemas THROUGHLINK el enemigo puede actuar contra el enlace hacia tierra o contra el enlace hacia el satélite. Según la estrategia que haya elegido actuará contra uno y otro; si lo que pretende es la captación de las señales, utilizará la transmisión descendente; si lo que pretende es la interferencia o la inyección de señales, utilizará la transmisión ascendente.

El enlace satélite-satélite es el más seguro contra acciones del enemigo, que para captar las señales, para interferencias o para inyectar señales, necesita, preferentemente, una posición entre los dos satélites. Sin embargo, también se pueden captar las señales detrás del satélite receptor y se puede interferir o inyectar señales detrás del satélite emisor. Si el enlace es en doble sentido, se requiere necesariamente una posición entre los dos o dos posiciones.

Se comprende la gran dificultad física de disponer de estos dispositivos, que tendrían que ser satélites en órbita no geoestacionaria y en consecuencia con un requerimiento permanente de cambio de posición.

Tanto los EE.UU. como la URSS se esfuerzan en asegurar la supervivencia de sus sistemas de comunicaciones.

De un modo general, actualmente la URSS utiliza encriptado en todas las transmisiones de datos de sus naves espaciales, mientras no lo hacía en el pasado para las misiones tripuladas y las misiones científicas.

En los EE.UU., se utiliza un encriptado para los satélites militares en los enlaces tierra-satélite y satélite-tierra y la confirmación de la autenticidad en los enlaces tierra-satélite.

En los sistemas militares americanos más avanzados, MILSTAR y NAVSTAR, se utilizan frecuencias extremadamente elevadas (EHF), en MILSTAR para todos los enlaces y en NAVSTAR para teledirigida. En ambos sistemas, se utiliza enlace satélite-satélite para asegurar la supervivencia.

4.3.3. *Sistemas futuros (EE.UU.)*

La evolución futura de los sistemas de comunicaciones se basa esencialmente en dos programas, uno de las Fuerzas Aéreas, (*Advanced Space Communications*), y otro de DARPA (*Defence Advanced Research Projects Agency*) (*Submarine Laser Communications*), que se describen a continuación.

— *Air Force Advanced Space Communications.*

Este programa, orientado al desarrollo de tecnología avanzada de comunicaciones, incluye terminales, tecnología espacial y sistemas.

El esfuerzo tecnológico está dirigido a la transmisión de comunicaciones en EHF, a un procesado a bordo más complejo y a la conmutación de comunicaciones a bordo, con objeto de hacer las comunicaciones más adaptables a las condiciones tácticas cambiantes y mejorar la resistencia a las interferencias. Las actividades específicas comprenden el desarrollo de amplificadores de potencia, antenas, procesadores de señal, receptores y sintetizadores.

— *DARPA Submarine Laser Communications (SLC).*

Este programa tiene como objetivo el desarrollo de tecnología de comunicaciones avión-submarino (SLCAIR) y satélite-submarino (SLCSAT), basado en el empleo de láser azul-verde para la transmisión, a través del agua, a submarinos sumergidos.

Este trabajo requiere una investigación intensa de fenómenos físicos y un gran esfuerzo para el desarrollo de nuevos dispositivos, debido a que se trata de utilizar un medio de transmisión totalmente nuevo.

Se consideran dos posibles orientaciones de la investigación:

- Utilización de enlaces de alta potencia, con base en tierra, que emite un haz modulado. Este, se refleja en un receptor a bordo de un satélite que dirige el haz hacia el océano.
- Utilización de un láser, de menor potencia, a bordo de un satélite, que transmite directamente sobre la zona seleccionada del océano.

La investigación se dirige esencialmente hacia el láser azul-verde. Esta investigación recibe un soporte importante debido a que desde que la Marina utiliza submarinos de la fuerza estratégica, no ha conseguido disponer de un medio de comunicación satisfactorio para los submarinos sumergidos.

4.3.4. *Vigilancia basada en el espacio.*

La vigilancia basada en el espacio ofrece la oportunidad de vigilar sobre terreno enemigo, lo que tiene algún interés militar.

Se trata de sistemas de futuro, en los que se trabaja activamente en la actualidad, que harán posible:

- Obtención de información de alerta sobre misiles estratégicos, incluyendo datos para el seguimiento de las ojivas nucleares.
- Detección y seguimiento de aviones y misiles de crucero.
- Detección y seguimiento de satélites.

La mayor parte de los trabajos que se desarrollan en los EE.UU. con este fin están soportados por DARPA.

Los proyectos más importantes son los siguientes:

- HALO (*High Altitude Large Optic*).

Consiste en el desarrollo de la tecnología óptica requerida, para el empleo de mosaicos de detectores de grandes dimensiones en el espacio. El proyecto incluye el desarrollo y fabricación de mosaicos de detectores de telururo de cadmio y mercurio.

- *Infrared Early Warning*.

Tiene por objeto, la determinación de las firmas en infrarrojo de ICBMs y SLBMs con diversidad de propulsores, de aviones estratégicos y de misiles de crucero.

- HI-CAMP (*High Calibrated Airborne Measurements Program*).

Se trata del desarrollo de un sensor bidimensional, constituido por un mosaico de un gran número de detectores de infrarrojo. Se han realizado pruebas en un avión U-2 de la NASA haciendo medidas bidimensionales de radiación del fondo del suelo y del avión.

- *Detection from Space*.

Este proyecto tiene como objetivo el desarrollo de radar con base en el espacio. Se trata de una tecnología que se ha desarrollado ampliamente en tierra, para los grandes radares de desplazamiento de fase de la red Spacetrack, pero que implica un reto tecnológico para su instalación en el espacio. Se intenta conseguir radares especiales con aperturas de más de 100 metros de diámetro, alimentados con energía solar al nivel de 25 Kw.

Se hace notar que así como los soviéticos utilizan radar convencional a bordo de sus satélites RORSAT (*Radar Oceanic Reconnaissance Satellite*) alimentados por generador nuclear para vigilancia naval, en

los EE.UU. no se ha llegado a poner un sistema militar de radar espacial operacional (si bien se han hecho misiones civiles con radar embarcado).

La aplicación naval ha motivado el soporte de la Navy a este proyecto.

— *Teal Rubi*.

Este programa tiene como objetivo, el desarrollo de un satélite, para su inyección en órbita con el *Shuttle*, con una carga útil diseñada especialmente para la detección y seguimiento de aviones y misiles de crucero, mediante el empleo de sensores de infrarrojo, sensibles a la radiación de los gases de salida de los reactores.

Como el sistema se basa en la radiación emitida por el objeto, opera tanto de día como de noche, con la única limitación que puede imponer la existencia de nubes densas sobre el avión.

El desarrollo del *Teal Rubi* ha requerido grandes avances tecnológicos en dos áreas: circuitos integrados en gran escala y sistemas criogénicos.

Los circuitos integrados desarrollados, contienen cientos de miles de elementos con materiales sensibles a la radiación infrarroja. El dispositivo sensor, está constituido por un mosaico de 150.000 elementos y representa un avance considerable, respecto a los 2.000 elementos de los satélites de alerta avanzada.

El mosaico, está formado por 12 submosaicos, cada uno con una respuesta espectral diferente. El sensor, cubre el intervalo entre 1 y 16 micras, prácticamente la totalidad del espectro de emisión, con un nivel de energía apreciable, de los gases de salida de los reactores, cuyo pico de energía está alrededor de 4,3 micras.

El mosaico, está refrigerado a temperaturas criogénicas, lo que hace posible extender su respuesta a longitudes de dos escalones. El primer escalón utiliza metano, el segundo utiliza neón líquido.

El mosaico se sitúa en el plano focal de un telescopio de unos 3,5 metros de longitud.

Los ensayos de *Teal Rubi* se realizarán en órbita baja durante un año, para demostrar la operación del sistema, utilizando un grupo numeroso de aviones diferentes, si bien el objetivo operacional es un sistema basado en la órbita geoestacionaria.

4.3.5. *Inteligencia.*

Los sistemas de inteligencia basados en la captación de señales electrónicas, son los más protegidos respecto a seguridad y en consecuencia los menos conocidos. Este desconocimiento se refiere a los sistemas actuales, por lo que difícilmente se podrían presentar las perspectivas futuras.

Se puede suponer que los proyectos futuros estarán orientados a aumentar la capacidad y precisión del procesado a bordo, el alcance de los sistemas de captación de señales y la utilización generalizada de las transmisiones satélite-satélite.

CONSIDERACIONES FINALES

CONSIDERACIONES FINALES

POR BARSÉN GARCÍA LÓPEZ-RENGEL

No estaría completo este trabajo sin incluir algunos hechos que forman parte ya de la breve historia de la vida de esos satélites, y sin hacer mención de los éxitos y fracasos de la «carrera espacial» que mantienen entre sí las dos grandes potencias, EE.UU. y la URSS, a las que se unen con una presencia menor otras naciones como Francia, Japón, China e Israel.

Es interesante también el conocimiento de cómo se utilizan las diferentes órbitas según sus características propias y las de su utilización. Se ha tratado de una forma más profunda este tema por parte de los distintos capítulos; pero no parece superfluo dar como conclusión una simplificación sobre cuál es la misión de los satélites, cuál puede ser su vida en órbita y qué peligro representa para nuestra propia seguridad.

Existen organizaciones especializadas que estudian estos lanzamientos y que publican listas en las que se suministran los datos fundamentales como: fecha de lanzamiento, tiempo de vida en servicio, peso aproximado, vehículo lanzador, si emite señales y cuando cesan éstas, su perigeo y apogeo, inclinación sobre el plano del ecuador, tiempo que tarda en recorrer la órbita, lugar de lanzamiento, etc.

También este Seminario ha tratado de reflejar esta información en la forma de fichas individuales para cada satélite, desde el primer lanzamiento hasta el año 1982, trabajo que no se ha terminado y que ofrece grandes dificultades para su total realización por la dificultad de conseguir información.

Consta el trabajo realizado por el seminario de cuatro capítulos. El primero inicia el estudio con la introducción y clasificación necesarias para un conocimiento previo y general del tema.

El segundo trata del uso de los satélites de navegación ya sea por organismos civiles o para fines militares.

El tercero, dentro de lo que es el amplio uso de los satélites para la observación y vigilancia, estudia, en un primer apartado, los satélites que están provistos con medios ópticos para su misión de reconocimiento fotográfico, sin duda el más difundido entre los satélites.

Por último, el cuarto capítulo ha profundizado en lo que sin duda es el aspecto más importante del uso de los satélites, es lo que constituye el complejo sistema C³I, la herramienta de trabajo del Mando como son las Comunicaciones, Mando, Control e Información.

La historia de los satélites comienza su andadura con la puesta en órbita del *Sputnik I*. La fecha: el 4 de octubre de 1957. Su tamaño: 59 centímetros de diámetro, y su peso: 83 kilos.

Con este lanzamiento, llevado a cabo por la URSS, se convierte el espacio en una pista de competición, en donde se alternan éxitos y fracasos no sólo de tipo tecnológico sino que también se juegan grandes bazas políticas y estratégicas, que a su vez implican a la economía de las naciones en liza.

A partir de ese pequeño objeto situado en el espacio, hasta la llegada a las naves tripuladas de uso múltiple de hoy día, o las estaciones situadas en órbita, se han sucedido una gran cantidad de lanzamientos. Hacia el año 1988 se contabilizaban unos 7.000 objetos mayores de 10 centímetros de diámetro girando alrededor de la Tierra, y sólo de éstos un 5 por 100 eran satélites activos, pero el número de pequeños objetos, más o menos contabilizados, se elevaba a la cifra de 40.000. Estas cantidades han crecido hasta nuestros días y ya se cuentan entre ellos hasta pequeños reactores con carga de energía nuclear, abandonados definitivamente, que pueden tener una vida de millones de años.

Lo que en ese año de 1957 se consiguió, se transformó con los años en una rutina que ha conducido al uso de naves tripuladas de ida y vuelta y de reuso, de la permanencia continuada de tripulaciones con relevos periódicos en una estación orbital, la llegada del hombre a la Luna, o el envío de sondas que han estudiado los más apartados rincones de nuestro sistema solar.

Esta carrera, en la que han tratado de adelantarse mutuamente ambas naciones con fines propagandísticos en la mayor parte de las ocasiones, tuvo su origen con el anuncio, en el año 1955, por parte de EE.UU. y de la URSS de sus intenciones para lanzar pequeños satélites en 1957 como

contribución a los actos a celebrar en conmemoración del «Año Internacional de Geofísica».

En esta ocasión la sorpresa la dio la URSS con el lanzamiento y puesta en órbita del *Sputnik I*. Esto le proporcionó momentáneamente el liderazgo mundial en la carrera espacial, que llevó a que la Casa Blanca emitiese aquel mensaje famoso: «Dejadles seguir su *show* particular: no en la calle sino lejos de la Tierra».

Fueron momentos de tensión y competencia propagandística. Los EE.UU. aceleraron sus experimentos esperando aprovechar el fracaso que se originó con la descarga de las baterías, con el consiguiente fallo de las transmisiones del *Sputnik I*, que daba pie a la esperanza de ser los primeros en lograr un lanzamiento afortunado con el éxito completo. Pero los soviéticos con el lanzamiento del *Sputnik II*, el día 3 de noviembre de ese mismo año, remataron su victoria no sólo con la emisión de un *bleep* que se hizo famoso sino que además llevaba a bordo un pequeño pasajero por primera vez en la historia, era la perrita Laika.

El 6 de diciembre los americanos ponen su esperanza en el lanzamiento del *Vanguard*, que falla en su intento de situar en órbita su primer satélite; pero no fue hasta el 31 de enero de 1958 cuando consiguen poner en órbita el *Explorer I*, con su equipo transmisor funcionando y que se mantuvo en la emisión durante 5 meses más, llevándose a cabo una intensa investigación del anillo de radiación natural alrededor de la Tierra conocido como el anillo de *Van Allen*.

Esta manera con la que se inicia la carrera espacial ha seguido siendo la tónica en la actuación de ambas potencias, con adelantos o retrasos de uno y otro. Es posible que en algunas ocasiones primara la importancia de la opinión mundial y la oportunidad política de ser los primeros en conseguir una nueva victoria. No es posible saber como habría reaccionado el mundo si los EE.UU. hubieran sido los primeros en colocar en órbita un satélite. Quizás la propaganda de la URSS hubiera forzado su marcha para desprestigiar al contrario, tachándoles de imperialistas y de pretender usar el espacio con fines militares. Fue lo que ocurrió con la reacción ante el anuncio el 23 de marzo de 1983 de la Iniciativa de Defensa Estratégica (SDI) hecho por el presidente Reagan en su discurso televisado.

En general la URSS ha logrado siempre lanzar al espacio mayores cargas útiles. Aun cuando el *Sputnik I* sólo consiguió poner en órbita un peso de 83 kilos, el *Vanguard* por su parte no llegó más que a colocar dos kilos, pero el éxito fue igualmente logrado en esos cortísimos dos kilos de carga.

que lograron que funcionara el equipo transmisor, cuando, por el contrario, los rusos no lo lograron hasta el *Sputnik II*. Con el *Sputnik I* se pretendía hacer regresar a la Tierra la cápsula lanzada, pero cuatro días después, en lugar de conseguir su regreso, el satélite se situó en una órbita más elevada aún. Pero siguiendo su método de poner en órbita cargas cada vez mayores, el 15 de mayo de 1960 consiguen con el *Sputnik IV* poner en órbita una carga diez veces superior a la de los *Sputniks I* y *II*.

Otra característica destacada de las actuaciones de los soviéticos ha sido el número de lanzamientos efectuados, muy superior al de los americanos, y la colocación de esas grandes masas a baja altura, lo que conduce a una vida en órbita extremadamente corta. También la inclinación de sus órbitas es diferente a los satélites americanos a causa de la diferente situación de los objetivos a observar, ubicados en diferentes puntos terrestres. Una razón para que los soviéticos tengan que utilizar órbitas más bajas es, en el mayor número de los casos, debido a la inferioridad en sus medios de detección de los satélites, y que obliga a mantenerlos más próximos a la superficie terrestre para lograr similares grados de resolución en sus fotografías. Esta proximidad de las órbitas, que es del orden de los 180 a los 200 km., y la forma de conseguir una mayor permanencia es con las órbitas elípticas con un perigeo bajo y un apogeo más elevado porque la vida de los satélites se acorta al pasar su perigeo bajo a causa del rozamiento con la atmósfera.

El Anexo I muestra las órbitas y situación de los satélites de acuerdo con la misión a cumplir en el período 1958-1983.

- La órbita A (ver anexo I, p. 120) es casi circular con inclinaciones de los 97° y en ella se situaron entre esas fechas más de un centenar de satélites de navegación.
- La órbita B es la más frecuentada en sus diferentes alturas, es circular o casi circular y se emplea con satélites para:
 - Reconocimiento fotográfico.
 - Control de armamentos, acuerdo soviético-americano.
 - Control electrónico de emisiones terrestres, espiando las comunicaciones y emisiones radioeléctricas.
 - La vigilancia de los océanos, para el control de movimientos en superficie y exploración de medios antisubmarinos.
 - Los de geodesia, que consiguen la renovación de la cartografía terrestre, importante especialmente para la precisión en el lanzamiento de misiles intercontinentales.

- La órbita C es la órbita sincrónica con la Tierra, situada en el plano del ecuador (0°), y una altitud de unos 36.000 km. Se utiliza generalmente con fines militares para la detección y alerta temprana, además de los meteorológicos y de comunicaciones.
- La órbita D es elíptica, con un perigeo bajo y un apogeo entre los 30.000 y 40.000 km. de altura. Se emplea esta órbita generalmente por los rusos para la detección lejana y por los americanos para comunicaciones y reconocimiento.
- Por último la órbita E está situada a unos 110.000 km. y en la actualidad se encuentran en ella los dos satélites *Vela* americanos de detección de explosiones nucleares.

Una relación más completa de cómo se han utilizado estas órbitas es la siguiente:

Órbita A

— Fotografía		
BIG-BIRD	180 km pe.	
	290 km ap.	97° Inclinación
KH-11	240 km pe.	
	530 km ap.	97° Inclinación
— Meteorología		
METEOR	610 km pe.	98° Inclinación
— Electrónico (USA)	480 km pe.	97° Inclinación

Órbita B

— Fotografía		
COSMOS	180 km pe.	
	350 km ap.	62°, 72°, 82°, 67°
— Reconocimiento electrónico		
COSMOS	500 km	74° Inclinación
COSMOS	650 km	82° Inclinación
— Vigilancia océanos		
USA	1.100 km	63° Inclinación
COSMOS	250 km	65° Inclinación
— Meteorología		
METEOR	900 km	81° Inclinación
— Comunicaciones		
COSMOS	1.400 km	74° Inclinación

— Navegación		
USA	20.000 km	64° Inclinación
COSMOS	1.000 km	83° Inclinación
— Geodesia		

Órbita C

— Alerta (EW)		
USA	36.000 km	0° Inclinación
— Meteorológicos		
USA	36.000 km	0° Inclinación
— Comunicaciones		
US FLTSATCOM	36.000 km	0° Inclinación

Órbita D

— Alerta (EW)		
COSMOS	6.088 km pe. 39.000 km ap.	63° Inclinación
— Comunicaciones		
US SDS	250 km pe. 39.000 km ap.	64° Inclinación
MOLNIYA	440 km pe. 40.000 km ap.	63° Inclinación

Órbita E

— Detección explosiones nucleares		
USA (VELA)	110.000 km pe.	35° Inclinación

Un dato importante de esas órbitas, además del de su altura, es la inclinación con respecto al plano del ecuador.

Los EE.UU. utilizan órbitas más elevadas para la alerta temprana (EW) colocados en la órbita C a 36.000 km de altura en clara diferencia con los soviéticos que los sitúan en la órbita D, elíptica, con 668 km. de perigeo y 39.000 de apogeo, con una inclinación de 63°, por ello parece que la vida de los satélites americanos es más prolongada y cuentan con mejores sensores. Las inclinaciones se emplean a causa de que los territorios estén más extendidos en dirección de los paralelos y de los meridianos, de manera que siempre se consigue tener el objetivo a la vista.

En el caso de los satélites fotográficos ocurre algo parecido, el mayor poder de resolución con que cuentan los americanos les permite situarlos en órbitas más elevadas como sucede con el KH-11, que con los 240 x 530 kms. en la órbita A consigue una mayor permanencia que el COSMOS en la órbita B con alturas entre 180 y 350 km.

En otro aspecto militar hay que destacar el empleo de los satélites para la vigilancia de los tratados y observación de objetivos militares. Durante 25 años, unos 850 satélites de reconocimiento han estado situados en órbitas bajas inferiores a los 600 km. Con ellos, por ejemplo, se hizo el seguimiento mediante lanzamientos extras en la guerra del Yon Kippur, que se inició el 6 de octubre de 1973.

En un primer momento los EE.UU. lograron en esta guerra una información instantánea gracias a la larga permanencia de sus satélites. Eso permitió la observación de todos los acontecimientos sin que hubiera necesidad de efectuar nuevos lanzamientos de urgencia, como fue el caso de la URSS, que ante la previsión de acontecimientos extraordinarios tuvo que poner en órbita el *Cosmos 596* tres días antes del comienzo de la campaña, para una permanencia en órbita de sólo seis días. También el mismo día de la iniciación del conflicto lanzaron el *Cosmos 597* recuperado el día 12, y el *Cosmos 598*, lanzado el día 10 de octubre y recuperado el 16, y siguieron otros lanzamientos con el *Cosmos 599* el día 15, el *Cosmos 600* el 16 de octubre, etc., de tal forma que durante los siguientes doce meses los lanzamientos de satélites militares dominaron aún más en los programas de lanzamientos soviéticos.

De tal forma estaban interesadas las dos grandes potencias en el desarrollo de este acontecimiento bélico que se llegó a decir que ésta fue la primera guerra en el curso de la cual los Estados Mayores de los dos beligerantes no estaban mejor informados que las dos grandes potencias sobre la posición de sus propias fuerzas.

Otros casos similares fueron la detección de la explosión atómica de la India, el conflicto de las Malvinas, o el más reciente, en 1981, del descubrimiento de la construcción, por parte de la URSS, de un radar de impulsos electrónicos situado en Abalakova, cerca de Krasnoyarsk, que violaba el acuerdo ABM de 1972 y permitía a los soviéticos la defensa contra misiles de la zona central de la URSS, cuando el tratado sólo les permitía ese despliegue de defensa en la zona de Moscú.

Para la vigilancia de los océanos las dos naciones cuentan con satélites que cumplen esta misión con unas características similares a como

emplean los de reconocimiento fotográfico o electrónico. Situados los satélites de los dos en el mismo tipo de órbita, la B, y con una inclinación casi igual, 63° EE.UU. por 65° URSS, pero con el mismo problema de alturas: los 1.100 km de los americanos contra los 250 en un principio del *Cosmos* soviético que ya desde 1971-72, se supone que por mejoras técnicas, han situado en órbitas de 980 a 1.000 km. Esta vigilancia de los océanos la complementan con los satélites de reconocimiento fotográfico y electrónico.

Las comunicaciones, la necesidad más imperiosa de todos los ejércitos, dependen, en el caso americano, en un 70 por 100 de su totalidad de los satélites y de sus emisiones. Con ellos enlazan sus Puestos de Mando, los buques, los aviones y hasta las unidades terrestres. La mayoría de estos satélites americanos están en órbitas ecuatoriales, como es el caso del US *Fisatcom* de la Navy, con alturas de 36.000 km, y órbita geoestacionaria del tipo C, aunque también utilizan otras órbitas como la D por el satélite US SDS de la Defensa, con un perigeo de 250 km y un apogeo de 39.000 km y una inclinación de 64°, muy parecida a la del *Molniya* soviético o al *Cosmos* en la B, con una inclinación de 74° y altura de 1.400 km. Con estas inclinaciones los soviéticos consiguen que sus satélites estén a la vista en el hemisferio norte durante la mayor parte de su giro, aunque también a partir de 1974 han situado satélites en órbita geoestacionaria para las comunicaciones.

Pero no sólo son los satélites puramente militares los que utiliza la Defensa, están también otros que cumplen la doble función civil-militar, como son los meteorológicos o los de geodesia. Los primeros, por la misma razón ya mencionada de la diferente posición terrestre de ambas potencias y la de sus aliados políticos, los EE.UU. sitúan en órbitas ecuatoriales los satélites meteorológicos, en la órbita C. Por el contrario el *Meteor* se encuentra en la órbita B con 900 km de altura y en la A con 610 km y 98° de inclinación.

Los satélites de geodesia se encuentran en general situados entre los 1.800 y los 3.000 km de altura.

Los satélites de detección de explosiones nucleares americanos están en órbita E a 110.000 km de altura, los *Vela 1* y *2* con una vida calculada en millones de años. La inclinación de la órbita es de 35°. En el caso de los soviéticos es difícil saber cuáles son los satélites que cumplen esta misión, que se supone comparten con otra distinta en el mismo satélite.

Por último, trataremos de los satélites de reconocimiento electrónico, que son realmente los oídos en el espacio. Llevan equipos diseñados para

detectar e investigar las señales radioeléctricas generadas por las actividades del adversario, como pueden ser las producidas con las comunicaciones entre bases, los radares de alerta, los radares de la defensa y de los misiles. También proporcionan estos satélites datos sobre pruebas de nuevos misiles, o nuevos radares y muchos otros datos de tráfico de comunicaciones. Pero no sólo localizan el sistema que produce las señales, sino que además miden las características de estas señales, que permiten los planes de penetración de la Defensa mediante las «firmas» obtenidas permanentemente.

Las características de la órbita de estos satélites es una altura media, como ocurre con los de los americanos con 480 km y 97° de inclinación y la de los *Cosmos* con 500 km y 74° o los 650 km y 82° de inclinación.

Con ocasión de la guerra de las Malvinas, los EE.UU. consiguieron información de la posición de los buques gracias al uso de los satélites de reconocimiento electrónico. Este programa de seguimiento de buques de superficie lo iniciaron en 1976 con el proyecto WHITE CLOUD con los satélites *Eorsat* (*Electronic Intelligence Ocean Reconnaissance Satellite*).

Los soviéticos a su vez comenzaron sus seguimientos con un par de satélites lanzados en mayo de 1974, el *Cosmos 651* y el *Cosmos 654*. Los satélites llevaban un radar que hacían funcionar con un pequeño reactor nuclear como fuente de energía. Uno de estos satélites era el *Cosmos 954*, de vigilancia naval, del que se perdió el control al final de su órbita y se desintegró en Canadá en 1978, como también ocurrió con el *Cosmos 1.402* o el último, el *Cosmos 1.900*, que el día 1 de octubre de 1988 se desintegró al entrar en la atmósfera pero después de que previamente se separase el reactor nuclear que se situó en una órbita más elevada donde se supone permanecerá por siglos hasta el cese casi total de su radioactividad.

Los principales éxitos de la carrera espacial, por cada nación, figurando en primer lugar la nación vencedora en fecha de lanzamiento, lo que no significa el mayor éxito del programa, son los siguientes:

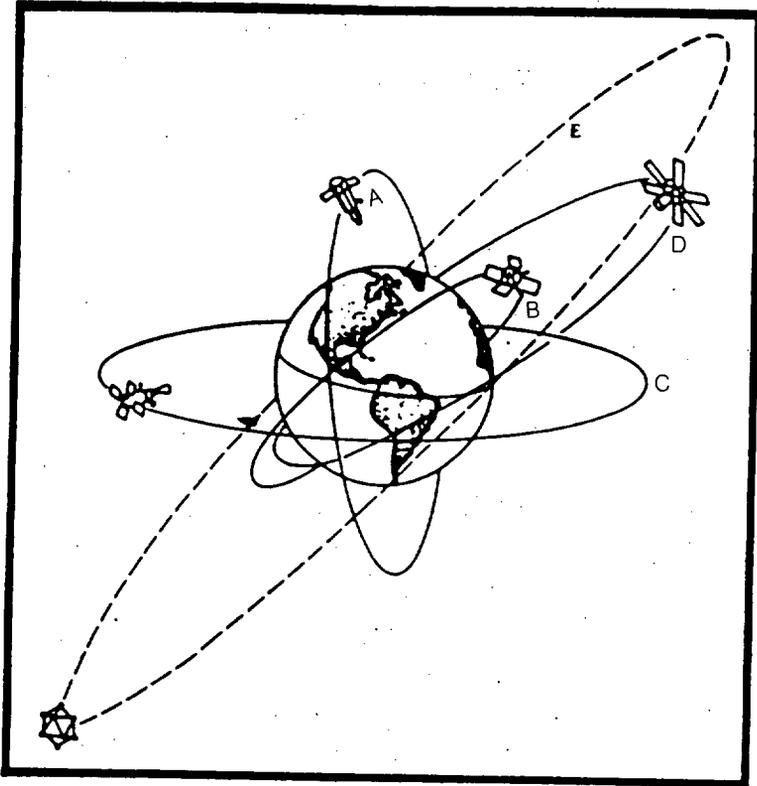
Primer satélite de la tierra	URSS octubre 1957	<i>Sputnik I</i>
	USA febrero 1958	<i>Explorer I</i>
Primer animal en el espacio	URSS noviembre 1957	<i>Sputnik II</i> (<i>Laika</i>)
	USA noviembre 1961	<i>Mercury-Atlas</i> <i>Enoschim</i>

Primera fotografía desde satélite	USA abril 1959 URSS abril 1962	<i>Discoverer 2</i> <i>Cosmos 4</i>
Nave en la Luna no tripulada	URSS septiembre 1959 USA abril 1967	<i>Luna 2</i> <i>Surveyor 3</i>
Primer satélite de meteorología	USA abril 1960 URSS abril 1963	<i>Tiros I</i> <i>Cosmos 14</i>
Primer satélite de navegación	USA abril 1969 URSS diciembre 1970	<i>Transit 1B</i> <i>Cosmos 385</i>
Alerta previa E. W.	USA mayo 1960 URSS diciembre 1968	<i>Midas 2</i> <i>Cosmos 260</i>
Primer satélite de comunicaciones	USA octubre 1960 URSS octubre 1964	<i>Courier 1B</i> <i>Cosmos 41</i>
Primer hombre en el espacio	URSS abril 1961 USA mayo 1961	<i>Vostok I</i> <i>(Gagarin)</i> <i>Mercury-Redstone 3 (Shepard)</i>
Energía nuclear en el espacio	USA junio 1961 URSS diciembre 1967	<i>Transit 4A</i> <i>(Plutonio 238)</i> <i>Cosmos 198</i>
Reconocimiento electrónico	USA febrero 1962 URSS marzo 1967	<i>Satélite de la USAF</i> <i>Cosmos 148</i>
Geodesia	USA octubre 1962 URSS febrero 1968	<i>Anna 1A</i> <i>Cosmos 203</i>
Mujer en el espacio	URSS junio 1963 USA junio 1983	<i>Vostok 6 (Tereshkova)</i> <i>Challenger F-2 (Ride)</i>
Satélite detección nuclear	USA octubre 1963 URSS ?	<i>Vela 1</i> ?
Satélite vigilancia oceánico	URSS diciembre 1967 USA abril 1976	<i>Cosmos 198</i> <i>Noss 1</i>

Hombre en la Luna	USA julio 1969	<i>Apolo 11 (Armstrong - Aldrin)</i>
Aterrizaje en un planeta lejano	URSS agosto 1970	<i>Venera 7 (Venus) diciembre 70</i>
	USA agosto 1975	<i>Viking (Marte) julio 76</i>
Laboratorio tripulado	URSS abril 1971	<i>Salyut 1</i>
	USA mayo 1973	<i>Skylab</i>
Vehículos espaciales reusables	USA abril 1981	<i>STS-1 (Young-Crippen)</i>
	URSS junio 1982	<i>Cosmos 1374 (no tripulado)</i>

Nuevos episodios se añadirán a esta lista antes del año 2000, pero en sus líneas generales, los tipos y usos de los satélites serán los mismos. Lo que sí evolucionará más rápidamente serán los equipos que transportan, especialmente los sensores a emplear. Es en este campo, el de los sensores, en el que menos difusión existe dado su carácter confidencial, aun cuando los fundamentos en que se basan son semejantes para ambas naciones. Es previsible un avance con el uso de nuevos equipos miniaturizados y nuevos sistemas de ordenadores que permitan una mayor eficacia de los satélites.

ANEXO I



Entre 1958 y 1983: 2.114 satélites en órbita, de ellos el 75 por 100 de uso militar directo.

Órbitas:

A	110	DE NAVEGACIÓN
B	850	DE RECONOCIMIENTO FOTOGRÁFICO
	210	DE RECONOCIMIENTO ELECTRÓNICO
	80	DE VIGILANCIA DE LOS OCÉANOS
	30	DE GEODESIA
C	40	DE ALERTA PREVIA (EW)
	140	DE METEOROLOGÍA
		DE COMUNICACIONES
D		DE ALERTA PREVIA (EW)

Colección Cuadernos de Estrategia

