

## **CAPÍTULO CUARTO**

# **PERSPECTIVAS PARA EL AÑO 2000 DE LOS SATÉLITES C<sup>3</sup>I**

## 4. PERSPECTIVAS PARA EL AÑO 2000 DE LOS SATÉLITES C<sup>3</sup>I

POR LUIS IZQUIERDO ECHEVARRÍA  
y LUIS PUEYO PANDURO

### 4.1. Definiciones.

En primer lugar, se requiere la definición del ámbito de C<sup>3</sup>I. Como se sabe, el significado de esta designación es:

C<sup>3</sup> = 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 C<sup>3</sup> 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 geode), 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 C<sup>3</sup>I, por lo que transcribimos la definición del Departamento de Defensa norteamericano:

«Los sistemas C<sup>3</sup>I 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 C<sup>3</sup>I e impedir su funcionamiento correcto, los sistemas C<sup>3</sup>I 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 C<sup>3</sup>I. Según las fuerzas armadas estadounidenses el elemento fundamental de un sistema C<sup>3</sup>I es el humano y para conseguir que un C<sup>3</sup>I 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 C<sup>3</sup>I.

Un sistema C<sup>3</sup>I debe tener las siguientes características fundamentales:

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

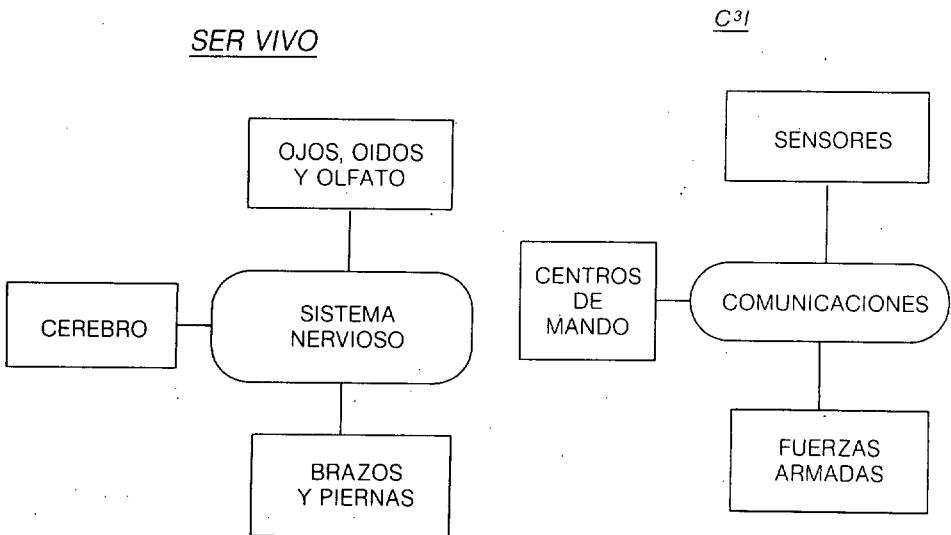


Figura 1

Esquema de paralelismo entre un ser vivo y un C<sup>3</sup>I

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 C<sup>3</sup>I 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 C<sup>3</sup>I, 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 C<sup>3</sup>I.*

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 C<sup>3</sup>I sea estratégico o táctico y dentro de los sistemas tácticos, del tipo de operación en la que se empleará un C<sup>3</sup>I. Hay que recordar siempre que los sistemas C<sup>3</sup>I, con toda su complejidad, no son más que un elemento de trabajo del mando para ayudarle a decidir y mandar.

Los sistemas C<sup>3</sup>I estratégicos tienen estaciones complejas y fijas en tierra, mientras que en los tácticos las instalaciones terrestres son, como mínimo, transportables. Los C<sup>3</sup>I 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 C<sup>3</sup>I 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.

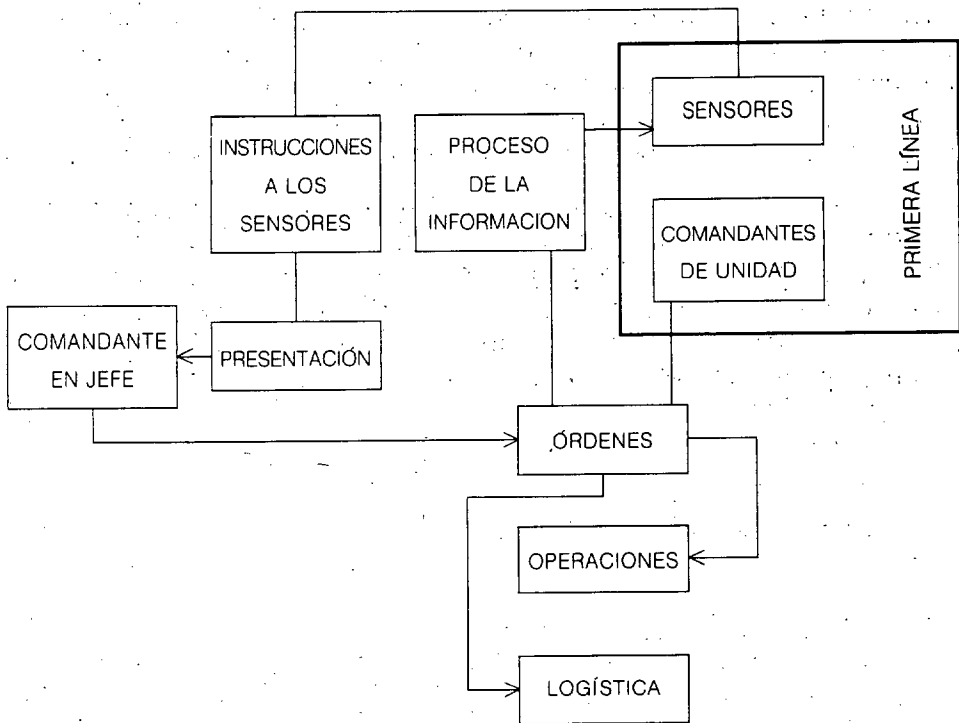


Figura 2

Esquema simplificado de un Sistema C<sup>3</sup>I típico

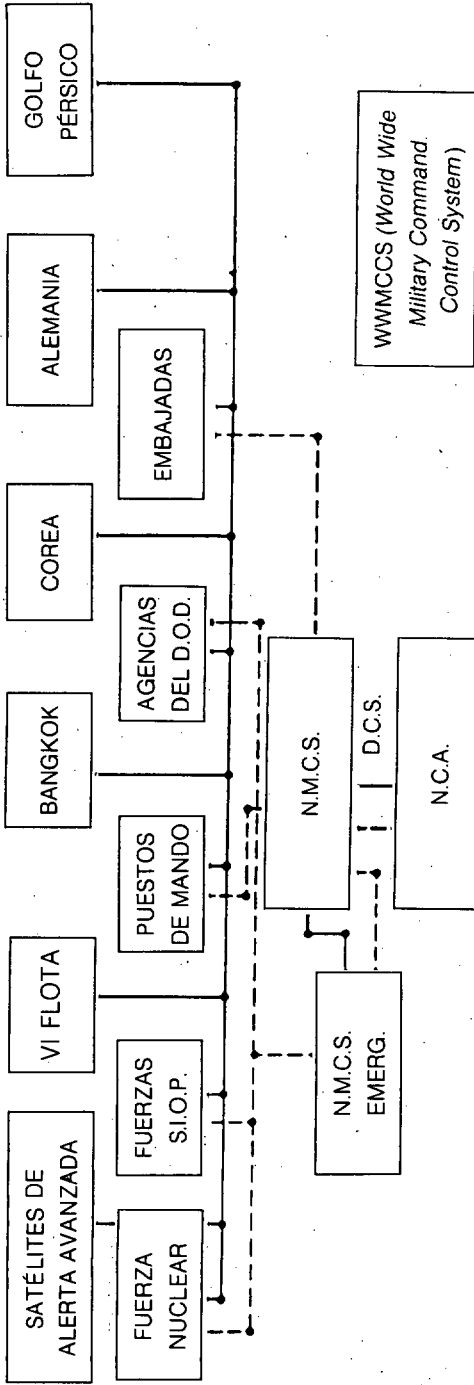
#### 4.2.3. Sistemas C<sup>3</sup>I estratégicos.

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 C<sup>3</sup>I 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  $17 \times 10^6$  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  $50 \times 10^6$  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 C<sup>3</sup>I 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 C<sup>3</sup>I 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 C<sup>3</sup>I, 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 C<sup>3</sup>I 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 C<sup>3</sup> 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 C<sup>3</sup>I 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 C<sup>3</sup>I 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 C<sup>3</sup>I 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 C<sup>3</sup>I 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 C<sup>3</sup>I 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.

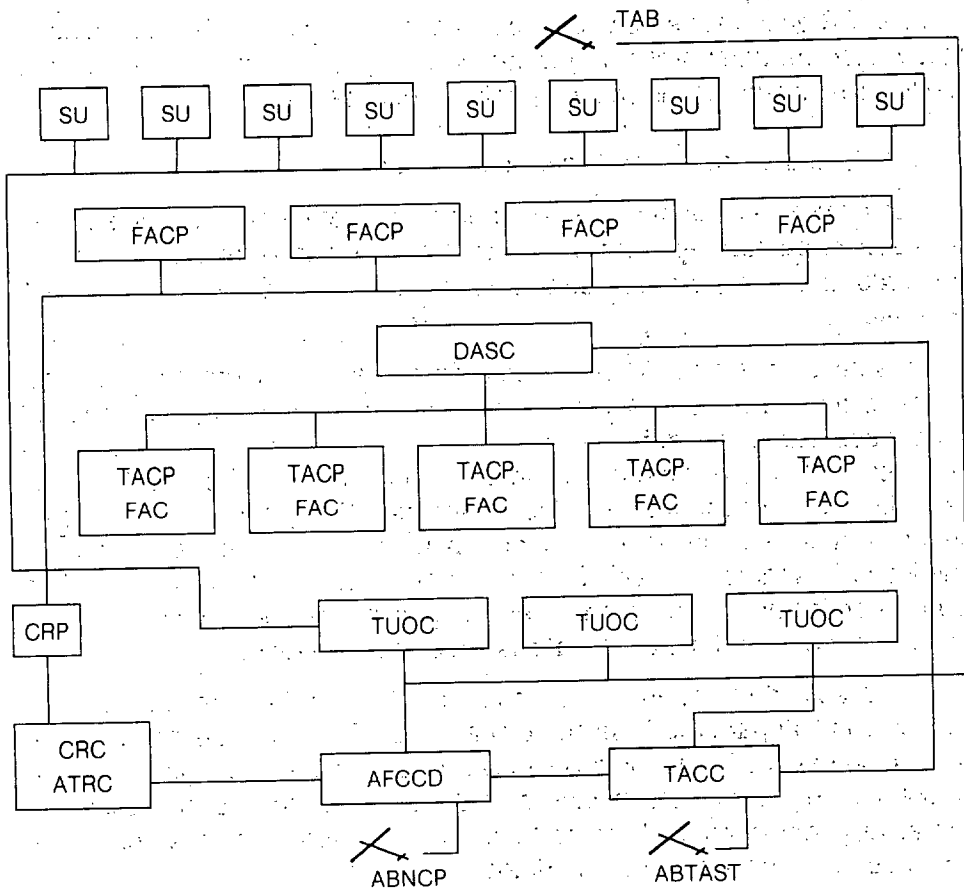
Es muy frecuente que al considerar datos procedentes de diversos sensores como los citados del NTDS, sin proceso completo de análisis y fusión, aparezcan en la presentación al mando como varios enemigos lo que en realidad es uno solo.

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 C<sup>3</sup>I 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 C<sup>3</sup>I tácticos, mucho más dependientes de condiciones locales y puntuales y mucho menos estable que los C<sup>3</sup>I estratégicos. Aunque el esquema operativo de cualquier C<sup>3</sup>I 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 C<sup>3</sup>I 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
Interceptación 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 C<sup>3</sup>I



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 THROUGLINK 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.