

# **SATÉLITES PARA VIGILANCIA DE LOS OCÉANOS**

Por MANUEL BAUTISTA ARANDA

## **Consideraciones generales**

En un trabajo anterior hemos examinado la forma de actuar, las posibilidades y las limitaciones de los satélites de reconocimiento fotográfico. Son los más adecuados para obtener información de objetivos fijos, cuya situación es conocida. Por ejemplo, son los que permiten obtener la información más detallada sobre una determinada base naval, sobre las instalaciones de que dispone, sobre los buques en ella fondeados, sobre los que están en reparación, etc.

Pero la vigilancia de los océanos plantea problemas especiales. Los buques a detectar son objetivos relativamente pequeños, perdidos en la inmensidad de los océanos. Y, sobre todo, son objetivos móviles, cuya velocidad y rumbo pueden variar en cualquier momento. Por ello, los satélites destinados a este fin deben reunir unas características especiales, que iremos examinando en las páginas siguientes.

Para los altos mandos militares, la meta ideal sería disponer de un sistema de observación y vigilancia que les permitiese conocer en todo momento la situación, rumbo y velocidad de cada uno de los barcos del enemigo (declarado o en potencia), cualquiera que sea el punto del globo en que se encuentren, y tanto si son barcos que navegan en superficie, como submarinos en inmersión.

Antes de seguir adelante debemos aclarar que en la práctica y con los medios actuales disponibles estamos lejos de poder alcanzar este objetivo ideal, si bien poco a poco nos vamos acercando a él. Y una herramienta que está ayudando eficazmente en este proceso es el empleo de satélites especialmente concebidos y equipados para la vigilancia de los océanos.

Los satélites no son el único medio disponible. Los aviones, por ejemplo, se han utilizado y se siguen utilizando ampliamente para estos fines. Y lo normal es que cualquier sistema que se organice para la vigilancia de los océanos utilice la combinación más eficaz de todos los medios disponibles, sean satélites, aviones, sonoboyas, o cualquier otro.

En las líneas que siguen nos vamos a referir exclusivamente a los satélites, examinando sus posibilidades y limitaciones para la vigilancia de los océanos y haciendo después un resumen de las actividades norteamericanas y soviéticas en este campo.

### **Satélites fotográficos**

Es evidente que los satélites que obtienen fotografías a base de impresionar película, que se recupera después al cabo de unos días, son totalmente inadecuados para la vigilancia de los océanos. Dado el carácter móvil de los objetivos, la información obtenida sobre ellos sólo es útil si se recibe en directo, o, como se suele decir, en tiempo real. Esta información pierde rápidamente valor a medida que transcurre el tiempo, aunque sólo se trate de unas cuantas horas.

La transmisión de imágenes en directo es perfectamente posible utilizando medios radioléctricos. De hecho, los satélites norteamericanos del tipo *KH-11* lo están haciendo ahora. Cada imagen se descompone en puntos, que se transmiten secuencialmente a tierra en forma digital, y una vez recibidos se recompone punto a punto la imagen original.

Pero los satélites fotográficos, que operan normalmente en las bandas visibles e infrarroja del espectro, tienen siempre la grave limitación de que necesitan una atmósfera limpia y transparente para poder obtener imágenes útiles. La presencia de niebla, bruma, calima, polvo en suspensión, humos, turbulencia, etc., degrada la calidad y resolución de las imágenes. Y no pueden obtener ninguna información en zonas cubiertas de nubes.

Esto significa que hay áreas de alto interés militar, como por ejemplo la del Atlántico Norte, que en ciertas épocas del año pueden permanecer muchos días seguidos con cielos cubiertos y durante todo ese tiempo los satélites fotográficos no pueden obtener ninguna información sobre los barcos que naveguen por ellas.

Además, si el satélite utilizado opera sólo en las bandas visibles e infrarrojo próximo del espectro (de 0,4 a 1,0 micrómetros), tiene también la limitación de que sólo puede obtener imágenes si el objetivo está iluminado, es decir, durante las horas diurnas; pero no durante las nocturnas. En cambio, sí puede operar en el infrarrojo térmico (de 3 a 5 y de 9 a 14

micrómetros), es decir, si es capaz de recibir, no la energía reflejada por el objetivo dentro de la banda de los infrarrojos, sino la que emite ese mismo objetivo como consecuencia de su temperatura y de la diferencia que existe con la temperatura del medio circundante, entonces el satélite puede seguir captando información útil tanto de día como de noche. Permite señalar la presencia de barcos por su diferente temperatura con respecto a la de las aguas en que navegan. Y también permite, en ciertas condiciones, detectar la presencia de submarinos en inmersión, debido a que el agua utilizada en la refrigeración de sus motores sale más caliente, sube a la superficie y deja una estela térmica, una estela de agua a mayor temperatura que el resto.

Las imágenes obtenidas en el infrarrojo térmico tienen una resolución muy inferior a las que se obtienen dentro del espectro visible. Con ellas puede detectarse la presencia de barcos, pero no distinguir detalles de los mismos.

De todo lo anterior se deduce que los satélites fotográficos pueden aportar algunas informaciones útiles, pero que tienen tantas limitaciones que un sistema de vigilancia de los océanos no puede basarse en ellos. Necesita satélites con instrumentación especialmente concebida para esta misión, como son los que vamos a examinar a continuación

### **Escucha radioeléctrica**

Los satélites de este tipo, también denominados *EORSAT (Electronic Intelligence Ocean Reconnaissance Satellite)*, se limitan a recibir las múltiples señales radioeléctricas que emite cualquier buque de guerra por sus radares, equipos de comunicaciones con otros buques, con aviones, con sus bases en tierra, etc.

La simple recepción de una señal radioeléctrica de frecuencia superior a unos 30 Mhz ya puede revelar la presencia de un buque dentro del horizonte visible desde el satélite. Pero esta información es demasiado pobre, porque la extensión de océano que queda dentro del horizonte visible desde un satélite es normalmente superior al millón de kilómetros cuadrados.

Utilizando a bordo antenas directivas se puede determinar la dirección de llegada de las ondas y con ello la dirección en que se encuentra el buque con respecto al satélite en ese momento.

Durante la última guerra mundial llegó a ser muy corriente la utilización en tierra de estaciones receptoras provistas de antenas directivas (radiogoniómetros) para conocer la dirección de llegada de las señales transmitidas por los barcos enemigos en alta mar. Con ayuda de dos o más estaciones

receptoras, situadas en puntos geográficamente separados, se podía, por triangulación, obtener rápidamente la posición del buque emisor.

En el caso de los satélites, pueden emplearse varios procedimientos para determinar la posición del buque, utilizando únicamente las señales transmitidas por el mismo y recibidas en el satélite.

Uno de ellos es aprovechar el rápido movimiento del satélite a lo largo de su órbita (unos 7,5 kilómetros por segundo) e ir obteniendo la dirección de llegada de las ondas para distintas posiciones de este satélite. Esto equivale a lo que antes decíamos de recibir las señales en dos o más estaciones en tierra geográficamente separadas. Por triangulación se fija la posición del buque. El procedimiento es válido porque las medidas pueden completarse en pocos segundos y el desplazamiento del buque en este tiempo es despreciable. Los cálculos se hacen, por supuesto, de forma automática.

Otro procedimiento es hacer uso del llamado efecto Doppler. Cuando el satélite aparece por el horizonte del buque y se va acercando a él, la frecuencia de las señales que capta el satélite es superior a la frecuencia con que realmente son emitidas. Cuando la distancia entre ambos es mínima, la frecuencia recibida coincide con la transmitida. Y cuando se aleja, la frecuencia recibida es menor. En este mismo principio de la medida del efecto Doppler se basan los satélites de navegación tipo *TRANSIT*. La diferencia estriba en que el transmisor, que sirve de base para la medida del desplazamiento Doppler de la frecuencia, está en el satélite en este caso y en el barco en el caso anterior. Los cálculos a realizar para obtener la posición del buque a partir de estas medidas son complejos, pero en la práctica, con el uso de ordenadores a bordo o en tierra, no ofrecen dificultad.

Un tercer procedimiento es utilizar métodos interferométricos. En este caso se emplean tres o más satélites volando en formación, es decir, manteniendo entre sí unas determinadas posiciones bien conocidas y controladas. Las señales emitidas por un buque se reciben simultáneamente en todos los satélites de la formación; pero como la distancia del buque a cada satélite es distinta, también es distinta la fase de las señales que recibe cada uno. Tomando los satélites de dos en dos y comparando las fases de las señales que reciben, es posible determinar con bastante precisión la posición del buque emisor. Aunque la idea así expuesta parece sencilla, su realización práctica presenta numerosas dificultades. Como veremos más adelante, los satélites norteamericanos del tipo *White Cloud* utilizan este procedimiento.

En los tres procedimientos antes citados se ha dado por supuesto algo que es imprescindible y es que se conoce con gran precisión la posición del

satélite receptor en todo momento. En la práctica así ocurre y esta exigencia no suele crear problemas.

La recepción y análisis de las señales transmitidas por un buque, además de permitir fijar su posición, permiten obtener en muchos casos información sobre el tipo de buque de que se trata, pues los equipos emisores no son los mismos en un portaaviones que en una fragata, o en un buque auxiliar de aprovisionamiento.

### **Utilización de radares**

La información que se consigue con los métodos basados en la simple recepción de las señales radioeléctricas emitidas por un buque es sin duda valiosa; pero es manifiestamente menos completa que la que puede obtenerse con un radar montado a bordo de un satélite. Con un radar de adecuadas características puede detectarse la presencia del buque, conocer su posición de forma muy precisa y, además, determinar su rumbo, su velocidad y el tipo de buque de que se trata. Los satélites equipados con radar se denominan también *RORSAT (Radar Ocean Reconnaissance Satellite)*.

La pregunta que surge inmediatamente es: ¿si con un radar a bordo puede obtenerse una información más completa que con otros medios, por qué usar estos otros medios? La contestación viene por sí sola cuando se profundiza un poco en el tipo de radar que se necesita y en los problemas que plantea su instalación en un satélite.

La utilización de la información obtenida con un radar depende básicamente de la resolución que pueda lograrse con él. Si la resolución es baja, por ejemplo inferior a 100 metros, la imagen de un buque será poco más que un simple punto y apenas dará información sobre sus características. Cuanto mayor sea la resolución, más detalles se apreciarán y más valiosa será la información obtenida.

La máxima resolución que puede obtenerse con un radar instalado a bordo de un satélite está limitada fundamentalmente por tres factores: altura de la órbita, tipo de antena y potencia del transmisor. Analicemos brevemente cada uno de ellos.

La altura del satélite interesa que sea la menor posible, pero la presencia de la atmósfera impone limitaciones. Si se quiere que el satélite pueda permanecer algunos meses en órbita, hay que situarlo a una altura no inferior a unos 250 ó 300 kms. En caso contrario, el continuo frenado producido en las altas capas de la atmósfera le irá absorbiendo energía y el satélite irá perdiendo altura poco a poco, hasta que penetre en las capas

más densas y acabe desintegrándose. Algunos fragmentos llegarán a la superficie terrestre y el resto se volatizará en la atmósfera.

En cuanto a la antena, hay que tener presente que su misión fundamental es conseguir que la energía del transmisor del radar se radie concentrada en un fino pincel, que barre y explora el área a vigilar. Cuando más fino sea este pincel, mayor es la resolución que puede conseguirse, pero paralelamente la antena necesaria tiene que ser cada vez de mayores dimensiones. Y justamente el máximo tamaño y peso de la antena que puede instalarse a bordo de un satélite es lo que limita la finura del pincel citado.

Los primeros estudios realizados en los EE. UU. a principios de la década de los sesenta sobre la instalación de equipos de radar a bordo de satélites fueron poco estimulantes. Resultaban satélites desproporcionadamente pesados y costosos para la información que podían proporcionar.

Sin embargo, el panorama cambió bastante con la aparición de los llamados radares de «apertura sintética». En ellos se aprovecha el efecto Doppler producido por el rápido desplazamiento del satélite a lo largo de su órbita (unos 27.000 km/h) para conseguir una resolución en la dirección del movimiento del satélite equivalente a la que se obtendría con una antena de dimensiones iguales a la distancia recorrida por el satélite durante cada barrido, es decir, que equivale a utilizar una antena de dimensiones muy superiores a las que físicamente tiene la instalada en el satélite.

Debido al secreto militar que envuelve estos temas, no se dispone de datos fidedignos sobre la máxima resolución que se está consiguiendo actualmente. Con el satélite oceanográfico *SEASAT*, puesto en órbita por la NASA en 1978 y equipado con radar de apertura sintética, se consiguieron resoluciones del orden de 25 m. desde una altura relativamente alta, 800 kms. Y en cierto modo sorprendió la gran cantidad de información que contenían las imágenes obtenidas. En un reciente informe presentado en la UEO (Unión Europea Occidental), documento 1.160, de fecha 7 de noviembre de 1988, se supone que los satélites con radares de apertura sintética pueden alcanzar resoluciones de 2,5 m. en la dirección paralela al movimiento del satélite y de 1,5 m. en la dirección perpendicular a este movimiento. Y que es previsible que esta resolución llegue a ser de 1 m. hacia el año 2000.

El tercer factor a que nos referíamos al principio es la potencia del transmisor, que influye no sólo en la resolución, sino también en el alcance máximo del radar. Debe ser superior a un kilowatio y, a ser posible, bastante superior. Ello significa un gran consumo de energía eléctrica, de varios kilowatios, muy difícil de conseguir en un satélite con los métodos habituales.

a base de células solares. Habría que recurrir a paneles de células solares de enormes dimensiones, con los problemas de peso y volumen que ello supone, aunque en la fase de lanzamiento estos paneles vayan plegados para reducir su volumen.

Una solución, que como veremos más adelante ha sido adoptada por la URSS a pesar de los riesgos que conlleva, es la de recurrir a reactores nucleares como fuentes generadoras de energía eléctrica. Con ellos es perfectamente posible generar potencias útiles del orden de los 10 kw. El riesgo que se corre es la posibilidad de que el reactor caiga a tierra, bien por un fallo del cohete lanzador durante la fase de puesta en órbita, o bien por una reentrada fuera de control, si fallan los sistemas de seguridad instalados a bordo. En cualquiera de estos casos podría causar una grave contaminación con productos radiactivos en la zona de caída.

Para terminar con las consideraciones que estamos haciendo sobre el empleo de radares para la vigilancia de los océanos, diremos que, si bien, la calidad de las imágenes obtenidas es sensiblemente inferior a la que puede conseguirse con cámaras fotográficas, tienen la gran ventaja de que la observación puede hacerse exactamente igual de día que de noche, y lo mismo con tiempo despejado, que con cielos cubiertos de nubes. Además, parece que en las imágenes de radar es posible en ciertos casos detectar submarinos en inmersión, por las ondas que produce el casco del barco al desplazarse, que afloran a la superficie y crean una estela capaz de ser detectada por el radar, si la superficie del mar está tranquila.

### **Aspectos operativos**

Teniendo en cuenta que los buques son objetivos esencialmente móviles, dos características fundamentales en cualquier sistema operativo para la vigilancia de los océanos son la frecuencia con que cada buque puede ser localizado y el tiempo que transcurre desde que el satélite capta la información hasta que ésta llega a sus usuarios.

El ideal, como indicábamos al principio, es que cada buque pueda ser observado de forma ininterrumpida, cualquiera que sea su posición. Pero en la práctica y con los medios actuales esto no es posible. La observación ininterrumpida podría lograrse por dos procedimientos. El primero sería utilizando tres satélites en órbita geoestacionaria, espaciados entre sí 120 grados. Con este sistema únicamente quedarían sin cubrir las zonas próximas a los polos, que a efectos de navegación marina carecen de interés. Pero la gran altura de la órbita geoestacionaria (35.800 kms.) la hace muy poco adecuada para la observación detallada de la superficie terrestre.



El segundo procedimiento sería a base de montar un sistema muy numeroso de satélites en órbitas bajas, posiblemente más de cincuenta, que, adecuadamente distribuidos en el espacio, mantuviesen una cobertura completa de toda la superficie terrestre.

Vamos a ver brevemente qué puede conseguirse con un solo satélite. Para poder dar algunas cifras, vamos a considerar el caso concreto de uno situado en órbita circular, a 440 kms. de altura y 65 grados de inclinación, que es justamente la órbita que utilizan los satélites soviéticos del tipo *EORSAT*.

Para que un satélite pueda recibir las señales de los radares de un buque y de la mayor parte de sus equipos transmisores, es necesario que haya «visión» directa satélite-buque, es decir, que el satélite tiene que estar por encima del horizonte visible desde el buque.

En el ejemplo que estamos considerando, el satélite da quince vueltas diarias a la Tierra, pero, si el buque está en el ecuador o próximo a él (posición *A* en la figura 1) que es la situación más desfavorable, el satélite sólo pasará sobre su horizonte una o dos veces consecutivas en órbitas ascendentes (de S. a N.) y, doce horas después, otra vez una o dos veces en órbitas descendentes (de N. a S.). Y en total, de las veinticuatro horas del día, sólo habrá podido recibir las señales del buque en cuatro órbitas como máximo, con un tiempo total inferior a treinta minutos.

A medida que el buque se encuentre en latitudes mayores, sean Sur o Norte, las posibilidades del satélite van mejorando. Así, por ejemplo, si se encuentra a 60 grados N (posición *B* en la figura 1), el satélite pasará unas siete u ocho veces diarias por encima de su horizonte, con una duración media de unos ocho minutos en cada paso. En la citada figura 1 se han representando los puntos que sobrevuela diariamente el satélite que estamos considerando, las posiciones *A* y *B* de los dos buques y los círculos que abarcan las áreas de visión directa satélite-buque.

En cualquier caso, vemos que con un solo satélite situado en una órbita como la del ejemplo (440 km de altura y 65 grados de inclinación), es posible situar un buque entre 2 y 8 veces al día, según la altitud en que se encuentre. Si la altura del satélite es mayor, esta capacidad mejora y, recíprocamente, si es menor, empeora.

Evidentemente, si en vez de un solo satélite se tiene un sistema formado por 2 ó 3 o más satélites, con sus órbitas adecuadamente espaciadas, es posible vigilar la posición de cada buque con mayor frecuencia.

La otra característica fundamental que citábamos de un sistema operativo es el tiempo que transcurre desde que un satélite capta



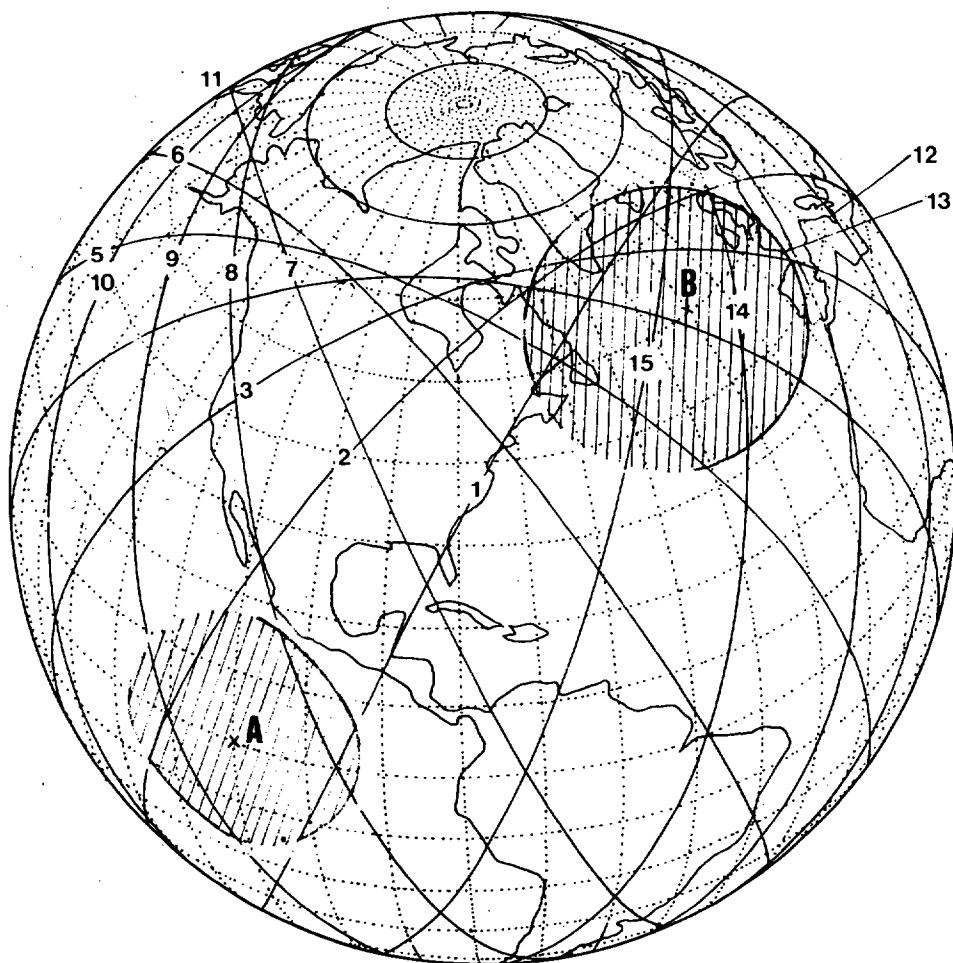


Figura 1

Puntos sobrevolados en el transcurso de un día por un satélite situado en una órbita circular de 440 km de altura 65 grados de inclinación

información sobre un buque hasta que ésta llega a manos de quienes tienen autoridad para tomar decisiones al respecto. No es necesario repetir una vez más que, dada la movilidad de los buques, este tiempo debe ser lo más corto posible.

Si el satélite puede «ver» simultáneamente al buque objetivo y a una estación receptora propia, no hay ningún problema para que vaya transmitiendo la información conforme la va captando. Esta situación puede

darse cuando el buque objetivo no está muy lejos de las costas propias, por ejemplo, menos de 2.000 km, aunque esta cifra dependió mucho de la altura del satélite.

Si el satélite no puede estar en contacto con ninguna estación receptora propia cuando capta la información, existe la posibilidad de que esta información se transmita a tierra con ayuda de un satélite repetidor situado en una órbita más alta. Es casi seguro que tanto los EE.UU. como la URSS utilizan este procedimiento, pero dado el secreto militar, no se dispone de datos suficientes como para afirmarlo categóricamente.

Y por último, si por la razón que sea ninguno de estos dos procedimientos es aplicable, cabe el recurso de almacenar a bordo la información recogida, grabada en cinta magnética, y transmitirla más tarde a tierra, cuando sobrevuele una estación propia. El retraso que esto supone depende de cuántas estaciones receptoras haya en tierra y en dónde estén situadas. Puede oscilar entre unos pocos minutos y varias horas.

Una aplicación interesante de estos satélites es que el comandante en jefe de la flota en alta mar reciba directamente las transmisiones de los satélites y pueda conocer la presencia de cualquier otro buque de superficie, amigo o enemigo, que se encuentre en un radio de varios centenares de kilómetros.

Como problema sin resolver satisfactoriamente está la detección de submarinos en inmersión por medio de satélites. En ciertos casos particulares sí es posible, como ya hemos señalado, detectar la estela térmica que dejan, o las ondas que crea el casco del submarino al desplazarse. Pero con carácter general, el tema no está resuelto.

### **Programa norteamericano**

La idea de poner en órbita satélites especialmente equipados para la vigilancia de los océanos empezó a tomar cuerpo en los EE.UU hacia finales de la década de los sesenta. Entre los años 1971 y 1974 se llevaron a cabo algunos experimentos usando satélites fotográficos de las Fuerzas Aéreas, en los que se instalaron diferentes tipos de sensores para evaluar sus posibilidades. Pero no había una doctrina clara sobre el camino que se quería seguir, sobre si la vigilancia de los océanos debía realizarse con satélites, con aviones, o con un uso combinado de ambos. En cierto modo, la idea más general era la de utilizar satélites relativamente simples y no muy costosos para detectar únicamente la presencia de buques y, después, emplear aviones para obtener una información más detallada sobre ellos y

sobre sus movimientos. Para este fin se utilizó una versión modificada de los famosos aviones de reconocimiento U-2.

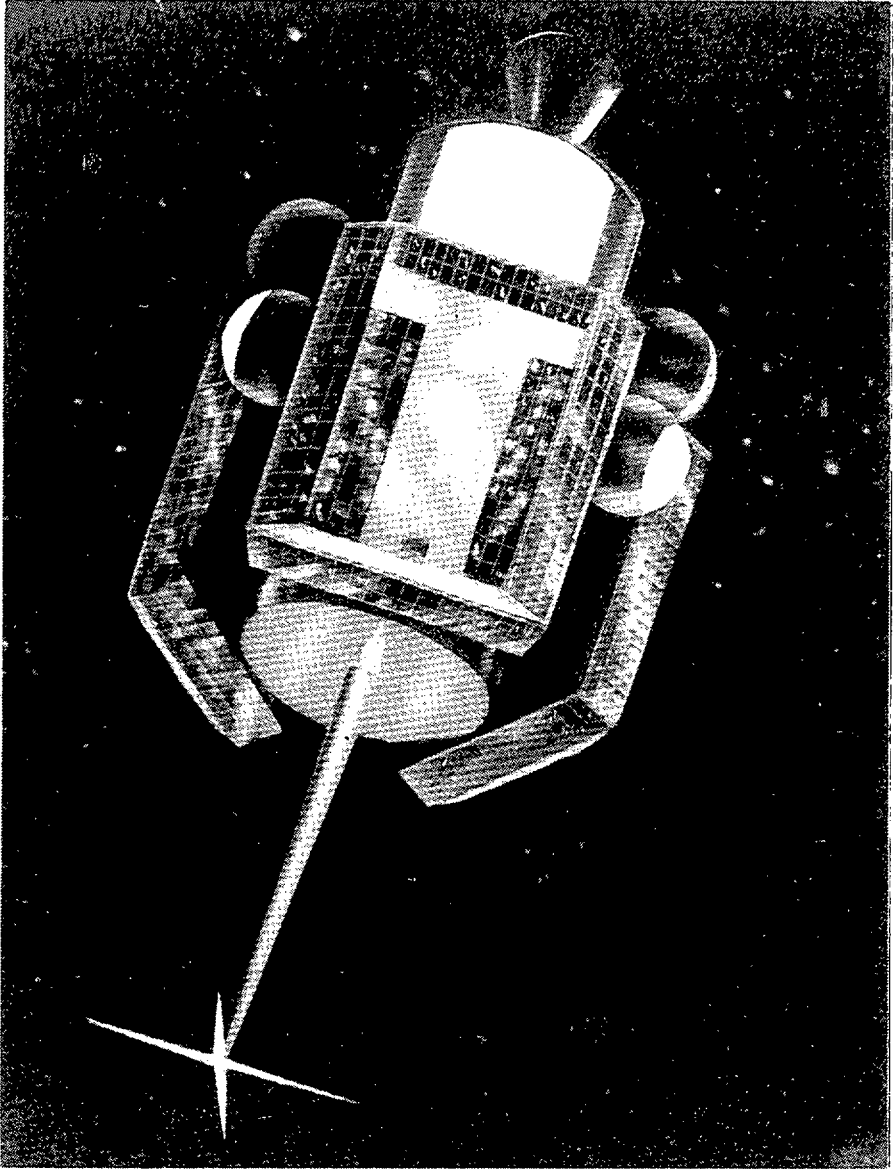
Para comprender estas dudas y la baja prioridad que se da inicialmente a este tipo de satélites, hay que situarse en esa época. La flota soviética, a pesar de su creciente desarrollo, todavía no representa una grave amenaza para los EE.UU. Debido a la situación geográfica de la URSS es relativamente fácil llevar un control del movimiento de sus buques. Para salir a alta mar, tienen que cruzar zonas bien controladas por los países occidentales. Tal es el caso de los estrechos daneses, para la flota del Mar Báltico, o los Dardanelos y el Bósforo, para la del Mar Negro, o pasos fácilmente vigilados desde el Japón y Corea del Sur, para la flota del Pacífico. Y por otro lado, los EE.UU. disponen de numerosas bases aéreas en torno a la URSS, que les permiten un eficaz uso de los aviones para estos fines.

Pero a medida que crece la potencia de la flota soviética, en especial la flota submarina, y se equipan sus unidades con misiles de largo alcance, la amenaza que representa para los EE.UU. empieza a ser muy seria y al tema de la vigilancia de los océanos con ayuda de satélites se le va concediendo más importancia. Hacia 1973 se ponen en marcha dos programas, el WHITE CLOUD y el CLIPPER BOW.

### *Programa WHITE CLOUD*

El primer lanzamiento dentro del programa WHITE CLOUD, también denominado programa NOSS (*Navy Ocean Surveillance Satellites*) tiene lugar el 30 de abril de 1976. El satélite correspondiente queda situado en una órbita casi circular, a unos 1.100 km de altura y 63 grados de inclinación. Pero, poco después, el satélite suelta 3 subsatélites, que permanecen prácticamente en la misma órbita, conservando entre sí unas distancias fijas. En cierto modo podemos decir que van volando en formación. Según parece, los subsatélites están unidos al satélite principal por finos cables de varias decenas de kilómetros de longitud, que ayudan a mantener la formación y permiten a través de ellos la transmisión a este satélite principal de la información recibida por los subsatélites.

El sistema utilizado para detectar la presencia de buques es de carácter pasivo, es decir, se limitan a recibir la señales radioeléctricas que radian estos buques. Y para fijar su posición, emplean métodos interferométricos, como los citados en el apartado de «escucha radioeléctrica» anterior. Las señales recibidas por cada uno de los tres subsatélites se concentran en el satélite principal y allí se comparan, se mide su diferencia de fase y se transmite el resultado a tierra.



*Figura 2*

Satélite del programa WHITE CLOUD

El programa WHITE CLOUD prevé la existencia en órbita de tres grupos o formaciones de satélites de tipo anterior, con sus órbitas (sus nodos ascendentes) espaciadas entre sí 120 grados. De acuerdo con este plan, en diciembre de 1977 tuvo lugar el segundo lanzamiento y en marzo de 1980 el tercero. Las órbitas son siempre del mismo tipo: casi circulares, a unos 1.100 kilómetros de altura y 63 grados de inclinación. Dada la altura relativamente grande de estas órbitas, un buque puede ser detectado entre 12 y 24 veces al día con los tres grupos de satélites del sistema. Estos satélites, según ciertas informaciones, van provistos también de sensores de infrarrojos para poder detectar submarinos en inmersión.

El programa WHITE CLOUD parece que está funcionando correctamente. A medida que los satélites en órbita han ido fallando con el paso del tiempo, han tenido lugar nuevos lanzamientos para sustituirlos. Así ocurrió en febrero de 1983, en junio de ese mismo año y, más recientemente, en mayo de 1987 y en septiembre de 1988.

#### *Programas CLIPPER BOW e ITSS*

Se trata de programas de vigilancia de los océanos con satélites provistos de equipos de radar. El programa CLIPPER BOW ha sufrido muchas vicisitudes. Los primeros estudios pusieron de manifiesto que la instalación a bordo de un satélite de un radar capaz de proporcionar imágenes de buena resolución presentaba más problemas técnicos de los que inicialmente se habían imaginado. Iban a resultar satélites de grandes dimensiones, muy complejos, muy pesados y, en definitiva, muy costosos. Además, había serias discrepancias sobre cuál debía ser la misión de estos satélites, lo que a su vez afectaba a las características que debía reunir el radar de a bordo. La Navy quería que su misión se limitase a la vigilancia de los océanos. Pero la USAF deseaba que se considerase también la detección de aviones en vuelo y de misiles de crucero. Y la CIA presionaba para que el radar sirviera para el reconocimiento terrestre. Pues, debido a que ciertas regiones de la URSS estaban cubiertas de nubes la mayor parte del año, se temía que pudieran haber construido nuevas instalaciones de interés militar, como por ejemplo nuevos silos para misiles.

Todo ello ha tenido como consecuencia que el programa CLIPPER BOW sufriese retrasos, interrupciones, encarecimiento, etc., hasta que acabó por cancelarse en 1980. Pero la idea básica de utilizar satélites equipados con radar seguía considerándose de interés. Y en vista de ello se inició un nuevo programa, el ITSS (*Integrated Tactical Surveillance System*), del que apenas se ha publicado información.

## Programa soviético

En la URSS, a diferencia de lo ocurrido en los EE.UU, los satélites especialmente equipados para la vigilancia de los océanos han gozado desde el primer momento de una alta prioridad. Es un área en la que llevan trabajando intensamente desde hace unos 25 años, en la que han conseguido buenos resultados y en la que sistemáticamente han ido por delante de los EE.UU.

Las razones de esta prioridad son claras. Por un lado, la URSS no dispone de una red de bases aéreas fuera de su territorio, como es el caso de los EE.UU. Y esto limita en gran medida el uso de aviones para misiones de observación y vigilancia lejos de sus fronteras. Por otro lado, entre este país y su principal enemigo potencial están los dos grandes océanos, Atlántico y Pacífico, a través de los cuales tendrían que transportar los EE.UU. el grueso de sus ejércitos y un continuo flujo de suministros para mantener su capacidad operativa. Por eso, la flota norteamericana, y por extensión las de sus países aliados, son objetivos estratégicos de primer orden. Para la URSS es muy importante conocer el despliegue de estas flotas y en un momento dado conocer la posición de los distintos buques con precisión suficiente como para poder atacarles con misiles balísticos con cabezas nucleares. La marina norteamericana es plenamente consciente de esta amenaza y, de hecho, los satélites soviéticos utilizados para la vigilancia de los océanos han sido un objetivo prioritario en los programas de armas antisatélites (ASAT).

Los satélites soviéticos de vigilancia naval podemos agruparlos en dos grandes familias: los que utilizan energía nuclear como fuente de generación de energía eléctrica y los que utilizan energía solar. O lo que es equivalente, los que van equipados con radar (RORSAT) y los que se limitan a recibir las señales radioeléctricas emitidas por los buques (EORSAT). Veamos cada una de ellas.

### *Satélites Rorsat*

A diferencia también de lo ocurrido en los EE.UU., los satélites equipados con radar son los que han recibido la mayor prioridad. El primer lanzamiento de un satélite de este tipo, el *Cosmos 198*, tiene lugar el 27 de diciembre de 1967. Durante los ocho años siguientes se ponen en órbita un total de 6 satélites con carácter experimental. El programa alcanza su estado operativo en 1974 con los *Cosmos 651* y *654*, lanzados respectivamente el 15 y el 17 de mayo de ese año. A partir de esa fecha el programa continúa sin interrupción, lanzándose normalmente entre 2 y 3 satélites de este tipo cada año.

Todos ellos se lanzan desde Tyuratam, con un cohete impulsor tipo *F-1-m*, y se sitúa en una órbita casi circular, con un perigeo de unos 250 km, un apogeo de unos 265 km y una inclinación de 65 grados. La altura, como vemos, es bastante baja para poder conseguir imágenes con la mayor resolución posible.

La alimentación de energía eléctrica se realiza con un reactor nuclear tipo «Topaz», que es capaz de producir de 5 a 10 kw de potencia útil. Como combustible emplea uranio-235 enriquecido al 93 por 100. El calor producido en la fusión del uranio se convierte directamente en electricidad por método termoiónico (1). En total lleva 50 kg de uranio. En cuanto al radar, utiliza una gran antena plana de 1,4 por 8,5 metros, que radia una potencia de 3 a 5 kw. La masa total del satélite es de unos 5.000 kg. Se estima que en cada órbita puede barrer una franja de terreno de unos 1.200 km a cada lado. Esto significa que en latitudes altas, como por ejemplo en el Atlántico Norte, hay solape en las áreas cubiertas en órbitas consecutivas.

Operativamente, la forma de actuar de estos satélites es bastante repetitiva. Una vez situados en la órbita antes indicada, que es su órbita de trabajo, permanecen en ella entre 2 y 4 meses, salvo que algún fallo a bordo, cosa no infrecuente, obligue a reducir este tiempo. Transcurrido este período, el satélite se fragmenta en tres partes. Una es la antena del radar, que con sus grandes dimensiones y relativamente poca masa pierde rápidamente altura y en pocos días se destruye durante la reentrada. Otra es el último cuerpo del cohete lanzador, que aloja a la mayor parte de los sistemas auxiliares de a bordo y que también acaba reentrando al cabo de algunas semanas. Y, por último, la tercera pieza, que contiene el reactor nuclear, que se impulsa con un motor auxiliar hasta una órbita de unos 1.000 km de altura, para evitar que el reactor caiga a tierra y contamine gravemente con productos radiactivos el lugar de caída. A la altura de 1.000 km se estima una permanencia en órbita de unos 600 años antes de su reentrada por causas naturales y este tiempo es suficiente para que no sea peligrosa la radiactividad remanente.

Este plan de actuación y de cambio de órbita del reactor al final de su vida útil, funcionó aceptablemente bien con los primeros 15 satélites de este

---

(1) Varillas de U-235 están introducidas en cilindros huecos de molibdeno, que calientan hasta unos 1.500 grados centígrados y actúan como emisores de electrones. Otros cilindros de niobio, huecos, también concéntricos con los anteriores, muy próximos a ellos y más fríos (unos 500 grados centígrados) actúan de colectores de estos electrones. El reactor «Topaz» lleva un total de 79 varillas de uranio, con sus correspondientes cilindros emisor y colector de electrones. El conjunto constituye el núcleo del reactor.

tipo. Pero con el *Cosmos 954* ocurrió un fallo a bordo, desde tierra se perdió el control del satélite, el reactor no se pudo situar en la órbita alta, fue perdiendo altura poco a poco a consecuencia del frenado atmosférico y acabó cayendo el 24 de enero de 1978, sobre la parte occidental de Canadá, contaminando gravemente una extensión de terreno de 800 km de longitud. Hubo que movilizar grandes recursos para examinar y descontaminar una superficie equivalente a toda Extremadura. El hecho produjo un fuerte impacto en la opinión pública, hubo multitud de protestas sobre el empleo de reactores nucleares en satélites y la URSS suspendió temporalmente su utilización.

Pero la importancia de estos satélites era demasiado grande como para que la URSS renunciase definitivamente a ellos. La decisión adoptada fue la de seguir utilizándolos, después de introducir en ellos elementos de seguridad adicionales, para que no se repitiese la penosa experiencia del *Cosmos 954*.

Los lanzamientos se reanudaron dos años después, el 29 de abril de 1980, con el *Cosmos 1.176*. El reactor se había modificado de forma que el combustible se separase del propio reactor al final de la vida útil del satélite. Con ello se conseguía un doble objetivo. Si todo funcionaba correctamente y el reactor completo se subía a la órbita de 1.000 km, las varillas de combustible separadas allí del resto, por su poco volumen y gran densidad, podían permanecer en órbita bastante más de los 600 años estimados para el resto del reactor. Y si por alguna circunstancia imprevista se perdía el control del satélite, como había ocurrido con el *Cosmos 954*, y se producía una reentrada incontrolada, las varillas de combustible se separaban automáticamente del resto del satélite y, sin el apantallamiento de este resto del satélite, se volatilizaban durante la reentrada, quedando las partículas radioactivas lo suficientemente dispersas en la atmósfera como para no constituir un peligro apreciable.

La eficacia del sistema tuvo ocasión de comprobarse un par de años más tarde con el *Cosmos 1.402*, puesto en órbita el 30 de agosto de 1982. Al final de su vida útil se fragmentó en tres partes de acuerdo con la práctica habitual, pero no pudo cambiarse de órbita al reactor, que poco después, el 23 de enero de 1983, cayó en el Océano Indico, mientras que el combustible, que se había separado según lo previsto, se volatilizó durante su reentrada en el Atlántico Sur, 16 días después.

De nuevo, surgen protestas sobre el peligro que representan estos satélites y de nuevo la URSS suspende temporalmente los lanzamientos. Los reanuda con el *Cosmos 1.579* (29 de junio de 1984).



Hasta finales de 1988, se han puesto en órbita un total de 31 satélites equipados con radar y alimentados con reactores nucleares como generadores de electricidad. Estos satélites suelen funcionar por parejas. Los dos componentes de cada pareja se ponen en órbita con pocos días de diferencia y los parámetros de estas órbitas se coordinan de forma que cada objetivo sea observado sucesivamente por cada uno de ellos con un pequeño intervalo de tiempo de unos 20 ó 30 minutos.

### *Satélites Eorsat*

La URSS también utiliza para la vigilancia de los océanos satélites con alimentación de energía eléctrica por métodos convencionales, es decir, usando células solares y no reactores nucleares. Para detectar la presencia de barcos y fijar su posición se sirven de las señales radiadas por los propios barcos.

El desarrollo de este tipo de satélites en la URSS ha ido retrasado con respecto a los antes descritos. El primer lanzamiento tiene lugar el 24 de diciembre de 1974 con el *Cosmos 699*, que unos cuatro meses después, el 17 de abril de 1975, queda destruido por una explosión. Como este mismo hecho se repite en los dos satélites siguientes: *Cosmos 777* (octubre, 1975) y *Cosmos 838* (julio, 1976), que también explotan pocos meses después de su puesta en órbita, se ha llegado a la conclusión de que se trataba de explosiones voluntariamente provocadas, para evitar que en esta fase experimental del programa pudieran caer en manos «enemigas» componentes del satélite considerados como secretos, que hubieran sobrevivido a la reentrada.

Esta práctica ha sido duramente criticada, pues la explosión accidental o voluntaria de un satélite crea multitud de fragmentos, posiblemente varios centenares, de tamaños muy diversos, que constituyen un peligro para otros satélites tanto si éstos están tripulados, como si no lo están.

A partir de 1979, parece que el sistema alcanza su estado operativo. Según informaciones publicadas en revistas especializadas, estos satélites pueden determinar la posición de un barco con error inferior a 2 km. Todos ellos se lanzan desde la base de Tyuratam, con lanzadores tipo *F-1-m* y se sitúan en órbitas casi circulares, a unos 440 km de altura y 65 grados de inclinación. Es decir, son órbitas parecidas a las de los satélites radar, pero más altas. Su masa es de unos 5.000 kg. Se vienen lanzando unos tres satélites de este tipo al año.

También funcionan por parejas. Por ejemplo, los *Cosmos 1.167* (mayo, 1980) y el *Cosmo 1.220* (noviembre, 1980). El primero, cruzaba el ecuador

en cada vuelta alrededor de la Tierra, 36 minutos después de que lo hiciese el segundo, por un punto situado 12 grados al Oeste del primer cruce. Pero dos días después, el *Cosmos 1.167* repetía la misma órbita que había seguido el *Cosmos 1.220*, dos días antes.

Y esta situación, aparentemente un tanto complicada, se repite casi exactamente en otras parejas, como por ejemplo, los *Cosmos 1.220* y *1.260*, *Cosmos 1.286* y *1.306*, *Cosmos 1.355* y *1.405*, etc. Para mantener esta relación entre sus órbitas a lo largo de toda su vida útil, a pesar de las perturbaciones que sufre cada una de ellas por causas naturales, estos satélites llevan a bordo motores de bajo empuje, con los que va corrigiendo cualquier desviación que se produzca.

El *Cosmos 1.867*, puesto en órbita el 10 de julio de 1987, puede ser el principio de un cambio importante en el esquema de funcionamiento de este tipo de satélite. Sus órbitas, sistemáticamente y sin excepción, tenían una altura de unos 440 km. En cambio, el *Cosmos 1.867* se ha situado a 788 X 801 km. La razón pudiera ser doble. Por un lado, quedar fuera del alcance de los ASAT lanzados desde aviones F-15. Por otro, aumentar la cobertura y la frecuencia con que puede observarse cada objetivo. La primera razón tiene ahora poco peso, tras la decisión norteamericana de cancelar el programa F-15 ASAT.