

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

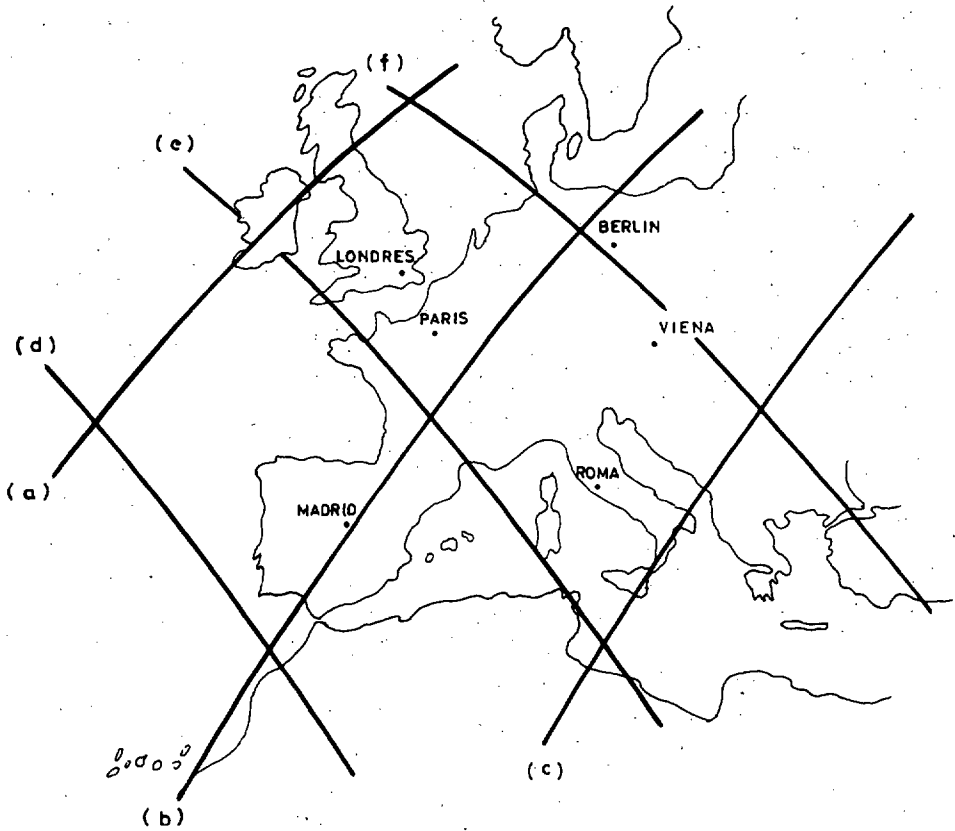


Figura 1

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:

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

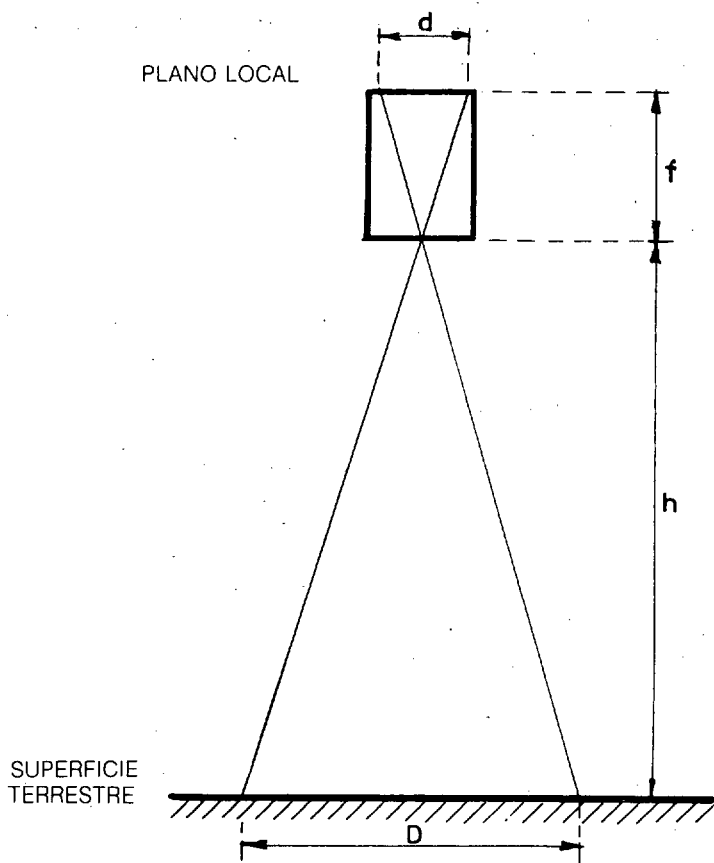


Figura 2

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:

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

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.

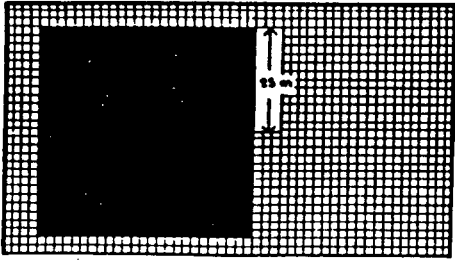
3.6.5. *Objetos que pueden detectarse.*

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.

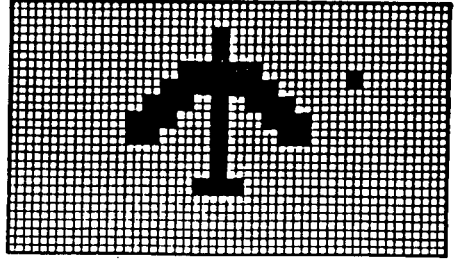
Lo que sí está claro es que la lectura de los titulares de un periódico o la de la matrícula de un coche es algo que queda fuera de las posibilidades actuales. Una resolución máxima de unos 15 cm. en forma alguna permite semejantes cosas.

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:

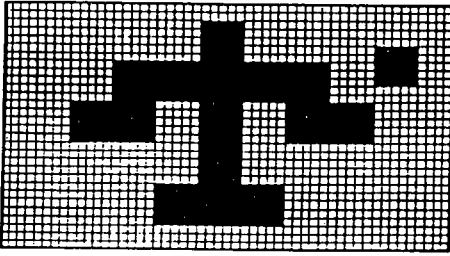
- 25 m. — imagen a
- 10 m. — imagen b
- 5 m. — imagen c
- 2,5 m. — imagen d
- 0,6 m. — imagen e



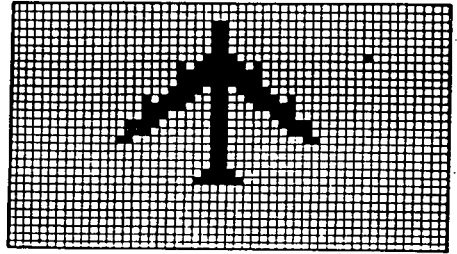
a



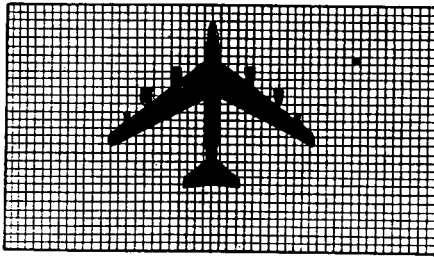
c



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.

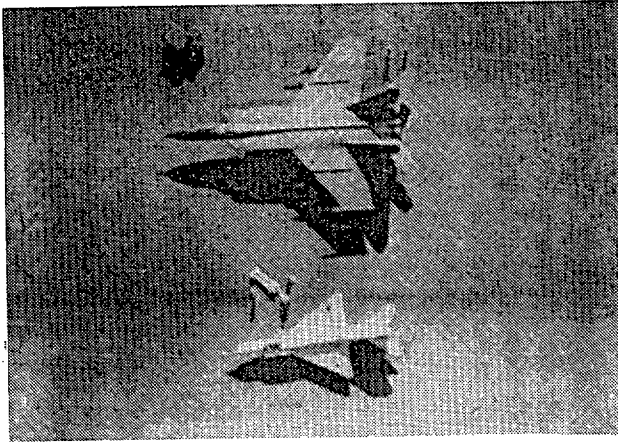


Figura 4

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*

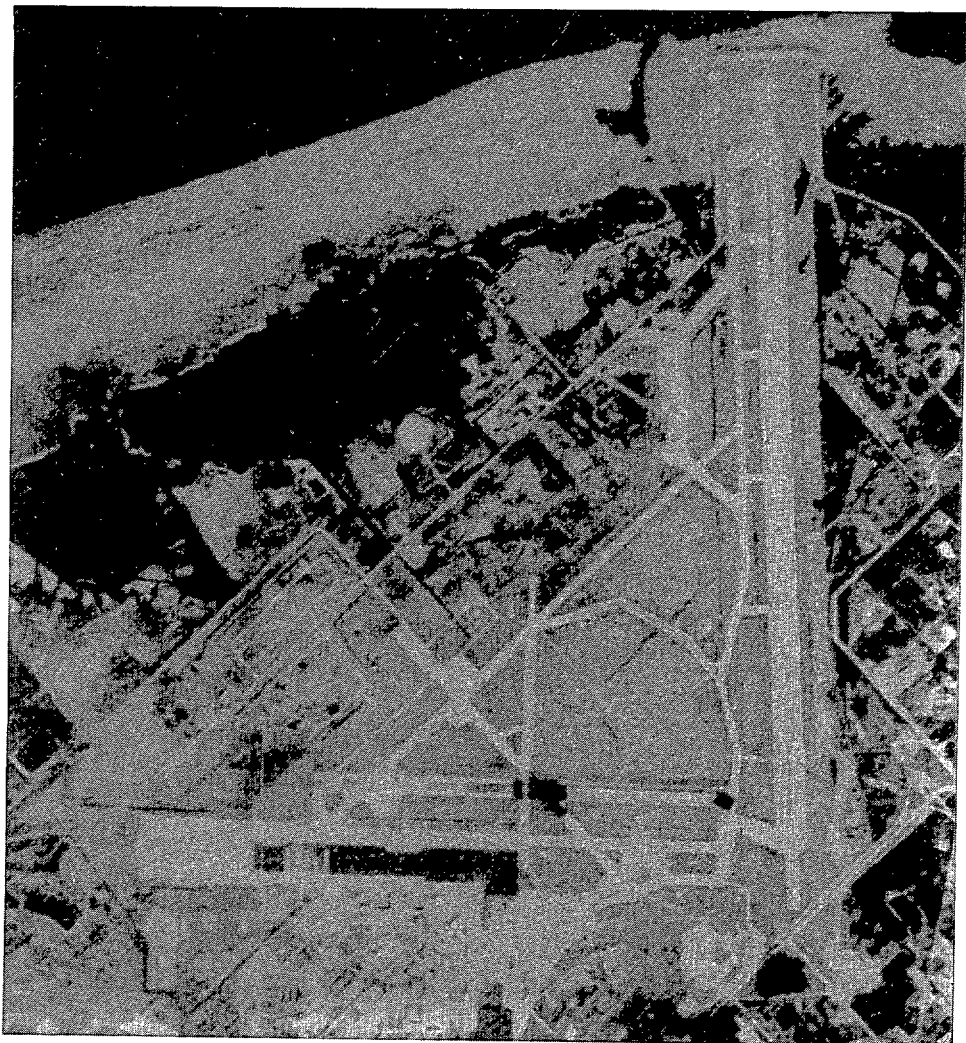


Figura 5

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.