

Tema 8

Teledetección. Sistemas ópticos de teledetección para recursos naturales terrestres. Sistemas Landsat y Spot. Órbita de los satélites, sensores, bandas, resoluciones, rangos de operabilidad. Estaciones terrestres de control y de recepción y grabación de datos. Productos fotográficos: características.

TELEDETECCION - SISTEMAS SATELITALES OPTICOS.

Recordemos que la percepción remota o teledetección se define como un sistema que nos permite obtener información acerca de distintos objetos distantes sin necesidad de estar en contacto directo. El contacto indirecto se establece por un campo de energía.

Un sistema de telepercepción requiere radiación de una fuente de energía, reflexión en el objeto y recepción de la energía reflejada en un sensor transportado en una plataforma, además de un medio de propagación.

Cuando la plataforma es un satélite que se encuentra orbitando la tierra hablamos de los sensores remotos satelitarios.

De acuerdo a la órbita que describen se denominan:

- geoestacionarios o sincrónicos a grandes alturas (36.000 km.)
- de órbita baja heliosincrónica cuasipolar
- de órbita ecuatorial

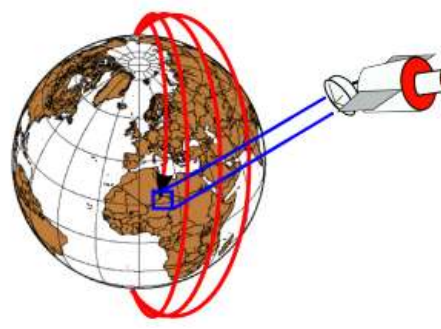
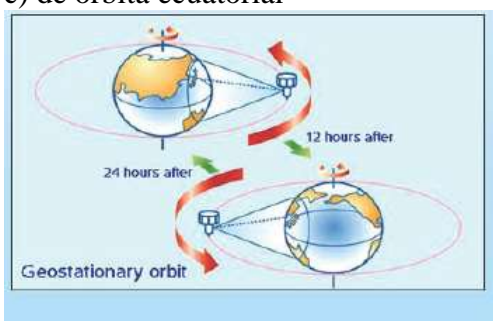


Fig. Ejemplo de órbita polar de un satélite heliosincrónico

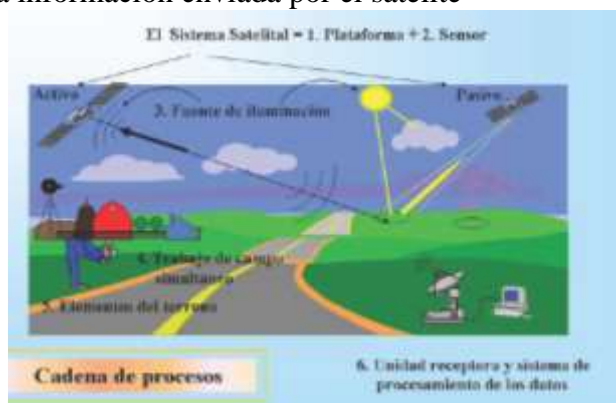
Sistemas de percepción remota

Un sistema satelital consiste en tres subsistemas básicos:

- el segmento espacial
- la estación de telemetría, telecomando y control (T.T.C.)
- el segmento terrenal

El primero está formado por el satélite con los sensores y el instrumental para el control del satélite. La T.T.C. es la base de comando del satélite.

El segmento terrenal está constituido por el conjunto de estaciones en donde es recibida y procesada la información enviada por el satélite

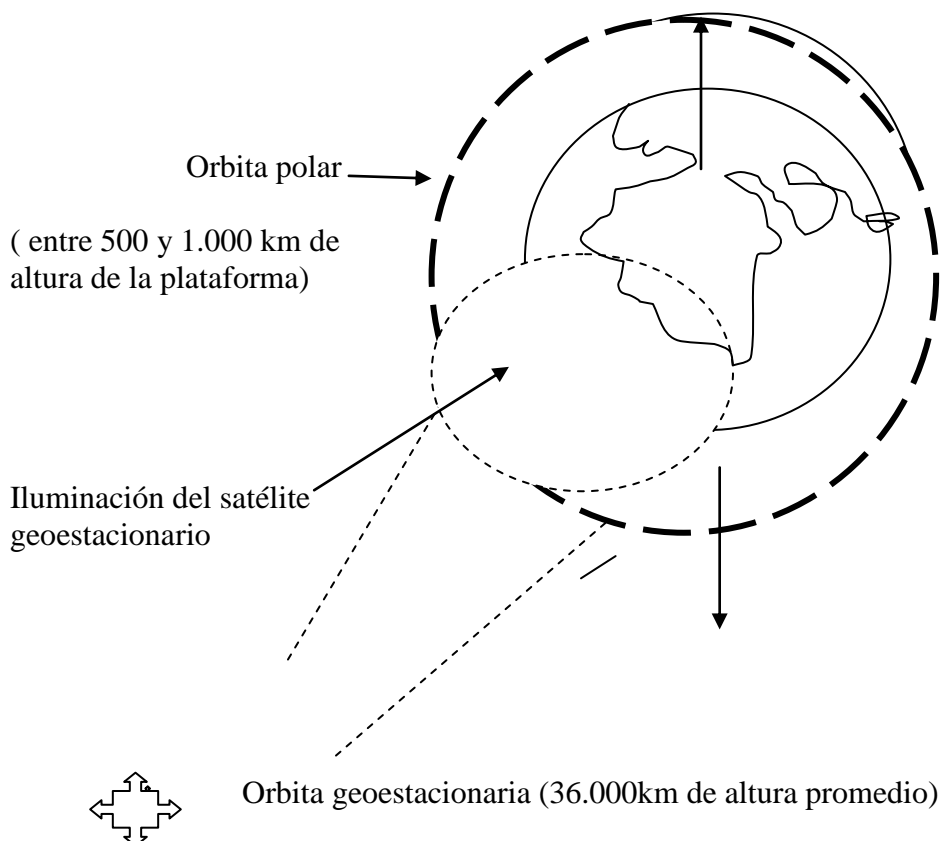


e.

Satélites de observación de la tierra

Programa Landsat

La serie de satélites conocidos como LANDSAT es parte de la evolución de un concepto que nació de las observaciones fotográficas de los vuelos orbitales Mercurio y Géminis. Los datos de las misiones mencionadas demostraron el uso práctico que poseía observar desde el espacio la superficie terrestre y sus diferentes recursos. Las observaciones y análisis que de allí se derivaron permitieron a la NASA a través de su programa de satélites desarrollar el EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE (ERTS- 1) que más tarde tomó el nombre de LANDSAT 1.



Satélites de órbita geoestacionaria y polar.

Antenas receptoras de imágenes Landsat a través de las estaciones receptoras.

Las imágenes tomadas por el ERTS-1 permitieron demostrar su utilidad en los estudios de los recursos naturales de la tierra.

En 1967 la NASA a través de un equipo de estudio recomendó como principal sensor del LANDSAT un sistema similar a la televisión, llamada cámara de vidicom de haz de retorno (RBV), el cual tomaría imágenes aparentemente similares a las fotografías aéreas bien conocidas en esa época, sólo que éstas serían enviadas a través de telemetría a una estación receptora en tierra, estudiándose las bandas del espectro que se debían emplear en cada cámara, así como la resolución.

Pero aprovechando la experiencia que se tenía con películas del infrarrojo, se pensó que si bien las cámaras brindarían una buena resolución espacial no pasaría lo mismo con la resolución espectral, por lo que se decidió agregar un barredor multispectral (MSS), el que resultó ser un éxito.

Las bandas seleccionadas inicialmente corresponden a las longitudes de onda 550, 650 y 750 nanómetros (rango visible) complementada con una cuarta banda para obtener la información en la región de más de 800 nanómetros (infrarrojo cercano). Esta determinación fue el resultado de una serie de experimentos realizados con barredores infrarrojos.

Para elegir la órbita de LANDSAT se estudió el tipo de cobertura deseada, las limitaciones del sistema, las leyes mecánicas de las órbitas y se llegó a la conclusión que para producir una resolución y escala constantes era necesario una órbita circular. Además debía ser repetitiva para obtener información periódica de los mismos sitios; finalmente la órbita debía ser sincrónica con el sol para lograr iluminación constante.

El resultado fue una órbita a 913 km. de altura y con un período de 18 días.

En el aspecto relacionado con la sincronización con el sol, se seleccionó el tiempo local en una latitud determinada teniendo en cuenta las recomendaciones de los geomorfólogos quienes sugirieron que el satélite debía pasar por el Ecuador, bien en las primeras horas de la mañana o en las últimas horas de la tarde. Por ello se determinó que el satélite pasara por el Ecuador a las 9.30 hs de la mañana.

Así, fueron ya lanzados 7 satélites Landsat desde el 23 de julio de 1972. De ellos se hallan en funcionamiento el 5 y 7.

Descripción general del programa.

El programa LANDSAT opera con sensores pasivos, esto es que captan solo la energía reflejada. La fuente básica de energía es el sol que emite un haz coherente de radiación electromagnética, la que sufre una serie de transformaciones en su interacción con la atmósfera y con la superficie terrestre, desde donde es reflejada y pasa nuevamente a través de la atmósfera.

La energía reflejada es captada por los sensores y registrada en forma digital; estos datos pueden ser enviados directamente a tierra (tiempo real) o ser grabados y posteriormente se transmiten a tierra por un sistema de telemetría.

Las estaciones de tierra reciben la información que luego es procesada para introducir correcciones geométricas, radiométricas, etc. Esta información es distribuida al público como cintas compatibles con computadora (C:C:T's) o como material fotográfico, desde estaciones receptoras que cubren determinada área de la órbita.

El Centro de Control de Operaciones tiene a su cargo todo el comando de operaciones orbitales. Allí se originan las órdenes para la nave espacial y los sistemas permiten la observación permanente de los subsistemas de operación de los sensores. Desde allí se corrige cuando se presenta algún problema en la operabilidad.

Las estaciones receptoras son los lazos radiotelemétricos entre los satélites y la tierra. Se pueden ubicar en dos categorías:

- a) las estaciones que tienen la única función de recibir información del satélite.
- b) aquellas que además de recibir información pueden recibir comandos de funcionamiento y mantenimiento del satélite y transmiten instrucciones o comandos.

Las primeras se hallan ubicadas también fuera de los Estados Unidos y tienen un radio de recepción de los datos de 2789 km.



Órbita y recubrimiento.

La órbita seleccionada para los satélites de la serie Landsat corresponde a una órbita circular, casi polar, repetitiva que pasaba por el mismo sitio cada 18 días para las series 1, 2, y 3 y cada 16 días para 4, 5, 6 y 7. Es sincrónica con el sol para tener iluminación constante.

La altura de órbita sobre el Ecuador es de 913 km. para los tres primeros y 705 km. para los tres últimos, pasando por el Ecuador a las 9,30 hs de tiempo local.

Cada órbita se cumple en 103 minutos con un promedio de 13,9 órbitas por día para los tres primeros y de 99 minutos a un promedio de 14,5 órbitas diarias. Las órbitas logradas en un mismo día están separadas entre sí 2869 km. en los primeros y 2752 km. en los segundos, que corresponden al espacio recorrido por la tierra en dirección oeste-este durante el tiempo que dura cada órbita. Este espacio es cubierto en pasos sucesivos en diferentes días.

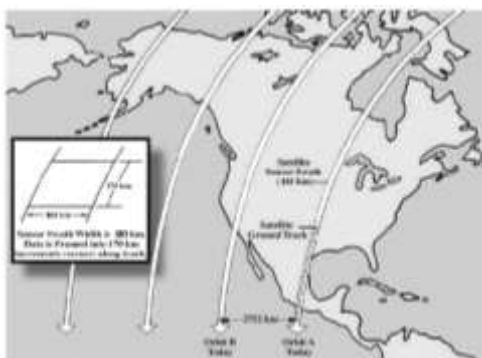
La distancia aproximada entre órbitas adyacentes en días sucesivos a nivel del ecuador es de 159 km. con un recubrimiento entre escenas del 14% y para Landsat 4,5, 6 y 7 es de 171 km. con recubrimiento del 7,5 %. Estos recubrimientos aumentan hacia los polos teniendo en cuenta que la faja de 185 km. cubierta por el satélite permanece constante. La captación de la información se efectúa en sentido Norte-Sur.

Cuando se desplaza de sur a norte recorre el lado oscuro de la Tierra, por lo tanto es imposible obtener información ya que los sensores captan energía reflejada, siendo en consecuencia utilizada esta parte del recorrido para las bandas termales.

El proceso de barrido continuo del MSS produce imágenes cada 28 segundos aproximadamente que corresponden a una distancia en el terreno de 185 km.

Durante el procesamiento se separan los puntos centrales de cada imagen a una distancia que corresponde a intervalos de 25 segundos, lográndose así un recubrimiento de un 10 % en las imágenes sucesivas durante una órbita.

La repetitividad de las órbitas Landsat ha permitido desarrollar un sistema de referencia mundial (WRS) ubicándose en cada órbita los centros de las imágenes, llamándose las líneas (row) y siendo su punto de origen el ecuador.



Sistemas sensores a bordo de los Landsat.

Los sistemas de observación de los Landsat están constituidos por la carga útil y el sistema de apoyo a la misión del satélite.

El sistema de apoyo es:

- * antena de recepción.
- * sistema de control de altitud y estabilización.
- * antena de transmisión
- * paneles solares

La carga útil son los sensores.

Los Landsat 1 y 2 fueron equipados con dos sistemas sensores.

1.- Sensor R.B.V.

Es un sistema de televisión con tres canales denominado R.B.V. (Return Beam Vidicom). Consiste en tres cámaras de televisión montadas de modo de cubrir simultáneamente la misma área de 185 km. x 185 km. del terreno.

La resolución espacial de estas cámaras de televisión es de 80 m y cada una de ellas junta información en determinadas franjas de longitud de onda, llamadas bandas o canales:

- * Banda 1: $\lambda = 0,475$ a $0,755 \mu\text{m}$ (banda del verde)
- * Banda 2: $\lambda = 0,580$ a $0,680 \mu\text{m}$ (banda del rojo)
- * Banda 3: $\lambda = 0,690$ a $0,830 \mu\text{m}$ (banda del infrarrojo)

El sistema R.B.V. es un sensor pasivo, no fotográfico, que depende de la energía reflejada por el objeto para la formación de la imagen, motivo por el cual solo puede operar con luz solar. Funciona igual que las cámaras de televisión convencionales.

Esta superficie fotosensible es barrida por un haz de electrones generando una señal eléctrica que producirá una señal de video. Esta es digitalizada y enviada a las estaciones terrestres.

El sistema R.B.V. de Landsat 1 funcionó durante unos días y luego tuvo que ser desconectado por problemas técnicos. En el Landsat 2 funcionó únicamente para algunos test de evaluación de su desempeño y se obtuvieron pocas imágenes.

Este sensor ha pasado a ser de poca utilidad por lo que se lo eliminó en las series siguientes, aunque todavía hoy se pueden conseguir imágenes para determinadas aplicaciones.

2.- Sensor M.S.S.

El equipo de barrido multiespectral de cuatro bandas M.S.S. (Multispectral Scanner) cubre franjas del terreno de 185 km. de lado en cuatro bandas de longitud de onda, dos en el espectro visible y dos en el infrarrojo reflejado que se configuran de la siguiente manera:

Banda 7: $\lambda = 0,8$ a $1,1 \mu\text{m}$ (banda del infrarrojo reflejado)

Banda 6: $\lambda = 0,7$ a $0,8 \mu\text{m}$ (banda del rojo)

Banda 5: $\lambda = 0,6$ a $0,7 \mu\text{m}$ (banda del verde)

Banda 4: $\lambda = 0,5$ a $0,6 \mu\text{m}$ (banda del azul)

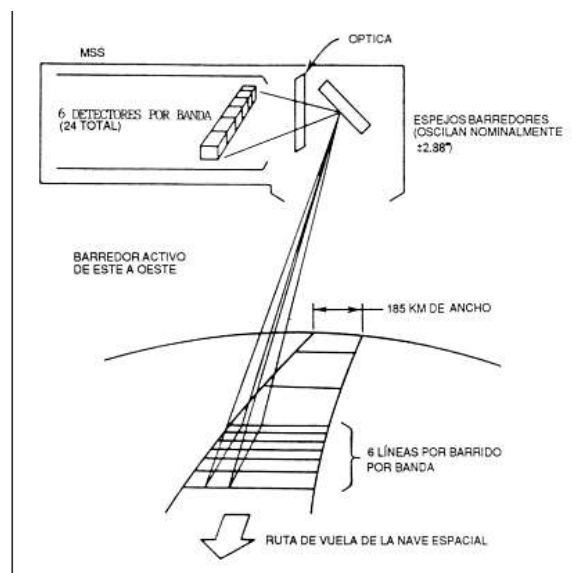
La banda 4 (azul) se seleccionó con la finalidad de detección de contaminantes. Es la que menores aplicaciones posee debido a la dispersión de la energía por las partículas atmosféricas. No obstante dio buenos resultados para la composición cromática en falso color.

La banda 5 proporciona buena información para el reconocimiento y distribución de los distintos tipos de vegetación.

La banda 6 define un buen contraste entre la vegetación y las construcciones civiles del hombre.

La banda 7 presenta la mayor reflectancia del agua y de la vegetación con una mínima dispersión atmosférica, permitiendo ver el agua, pero no penetrarla debido a la fuerte absorción de energía.

El principio de funcionamiento del M.S.S. es el mismo de cualquier scanner: un espejo oscilante que recibe la energía electromagnética reflejada por los objetos y la dirige hacia los detectores en cantidad de seis, a medida que realiza el barrido del terreno.



Esplorador de barrido (MSS del LANDSAT)

El campo de visión instantánea del M.S.S. resulta un cuadrado de 79 m x 79 m del terreno, lo que se denomina “elemento de resolución del terreno”, que es la resolución espacial del sistema. El campo de visión del scanner representado por el ángulo de barrido del espejo a cada oscilación es 11°,6 y permite el barrido de una faja de 185 km. de lado del terreno en cada órbita recorrida por el satélite. El espejo oscila una vez cada 33 milisegundos y barre seis líneas contiguas con cada oscilación que se corresponden con cada detector.

La energía electromagnética reflejada por el terreno sufre la reflexión en el espejo oscilante, pasa por un sistema óptico que la divide en las cuatro bandas y es focalizada sobre una matriz de 24 detectores en un arreglo de cuatro columnas (una por cada banda) y de seis líneas (una por cada línea barrida por el terreno). Entonces la energía electromagnética es convertida en señal eléctrica de intensidad proporcional a la cantidad de energía reflejada por la superficie incluida en el elemento de resolución del terreno correspondiente. Esta señal es digitalizada (transformada en números), siendo enviada a tierra o grabada para su posterior transmisión. Se la denomina “pixel”.

El elemento de resolución del terreno toma un cuadrado de 79m x 79 m; en cambio el pixel presenta dimensiones diferentes. Esto se debe a la diferencia entre la velocidad del barrido del espejo oscilante y la velocidad de lectura del detector; esto es cuando la señal eléctrica del detector es leída, el espejo oscilante recorre apenas 56 m del terreno y es por ello que el pixel tiene 56 m x 79 m.

La imagen M.S.S. en el formato de un paralelogramo de 185 km. x 185 km. es construida por la yuxtaposición de las líneas de barrido sucesivas en el sentido de desplazamiento del satélite, y considerando que cada línea de barrido abarca 185 km. o sea 3240 pixeles (185.000 m / 56 m valor medio) y un total de 2340 pixeles de líneas barridas (185.000 m / 79 m). De este modo podemos encarar cada canal o banda del M.S.S. como una matriz de 2340 filas por 3240 columnas con 7.581.600 pixeles donde el valor de cada pixel es el resultado de la energía electromagnética reflejada por los objetos presentes en una porción de terreno de 79 m x 79 m, transformada en energía eléctrica por los detectores.

Las señales M.S.S. en imágenes fotográficas presentan recubrimientos o solapes en sus dos dimensiones. Este recubrimiento entre imágenes de una misma órbita es del 10% lateralmente con imágenes de órbitas vecinas y varía de acuerdo a la latitud entre valores que van desde el 14% en el ecuador al 85% en la latitud de 80%.

Latitud	Recubrimiento lateral de las imágenes en %
0°	14 %
10°	15,4 %
20°	19,1 %
30°	25,6 %
40°	34,1 %
50°	44,8 %
60°	57 %
70°	70,6 %
80°	85 %

Landsat 4.

El Landsat 4 está equipado con dos sistemas sensores:

1.- **Un sistema M.S.S.** con características semejantes a aquellas instaladas en los Landsat 1, 2 y 3; esto es con cuatro canales (tres en el espectro visible y uno en el infrarrojo reflejado) con una resolución espacial de 80 m.

2.- **Un nuevo sensor scanner multispectral denominado THEMATIC MAPPER** (mapeador temático), TM. Es un sensor de segunda generación derivado de los M.S.S. que equiparon a sus predecesores. Las modificaciones más importantes son:

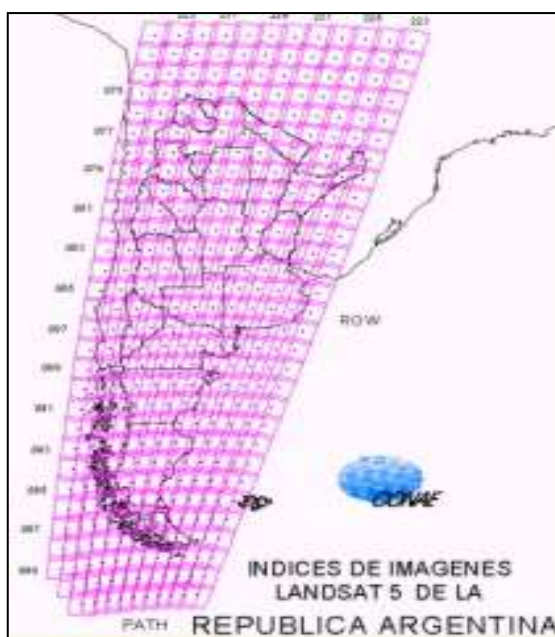
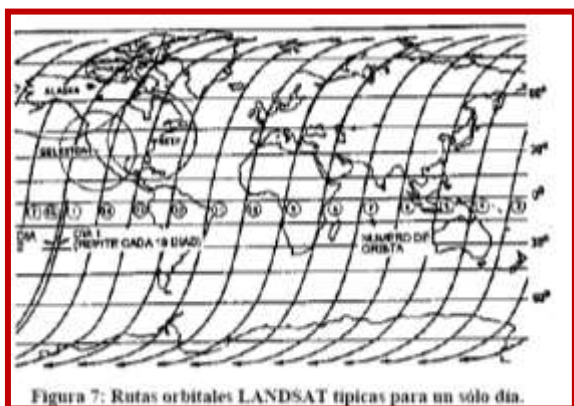
- Posee 7 canales, mientras que en los Landsat 1 y 2 existían cuatro y Landsat 3 se inició con cinco canales.
- La resolución espacial de los T.M. en la parte reflejada del espectro electromagnético (visible e infrarrojo reflejado) es de 30 m. En tanto la banda del infrarrojo termal presenta una resolución espacial de 120m.

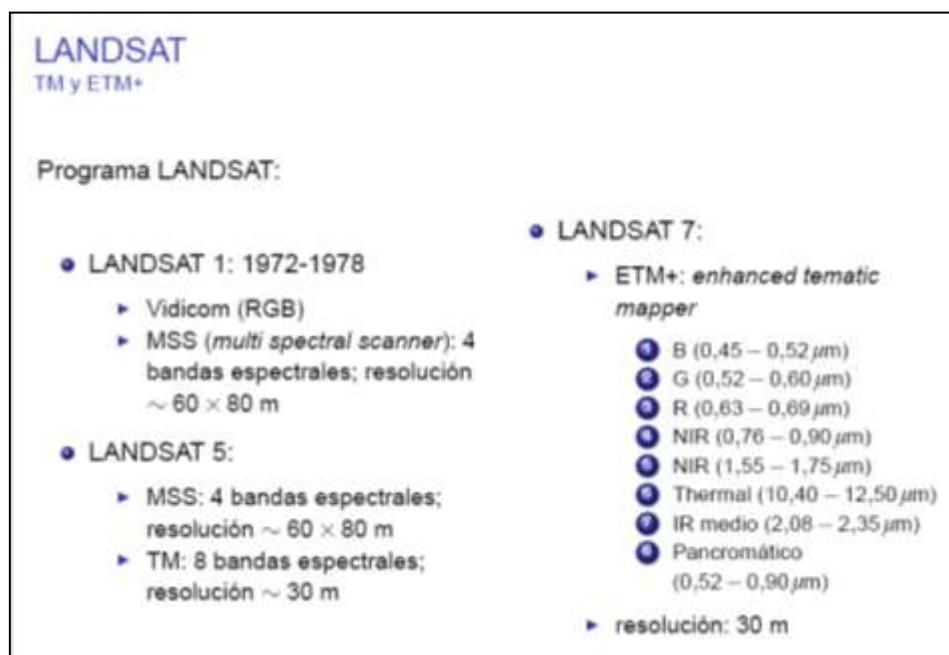
La Tierra se desplaza 2.752 km hacia el Este (sobre el Ecuador) con cada órbita debido al movimiento de rotación.

La distribución de los canales del T.M. y su aplicación es la siguiente:

- * Banda 1: $\lambda = 0,45$ a $0,52 \mu\text{m}$ (azul), proyectado para el mapeo de aguas costeras, diferenciación entre suelo y vegetación y entre tipos de vegetación.
- * Banda 2: $\lambda = 0,52$ a $0,60 \mu\text{m}$ (verde) proyectada para el estudio de la reflectancia de la vegetación sana.
- * Banda 3: $\lambda = 0,63$ a $0,69 \mu\text{m}$ (rojo); es el canal más importante para el estudio de la vegetación ya que es la franja de absorción de la clorofila. Este canal fue proyectado para separar zonas con y sin vegetación y para enfatizar el contraste entre tipos diferentes de vegetación.
- * Banda 4: $\lambda = 0,76$ a $0,90 \mu\text{m}$ (infrarrojo cercano), proyectado para auxiliar en los trabajos que involucran cálculos de biomasa y discriminación de cuerpos de agua.
- * Banda 5: $\lambda = 1,55$ a $1,75 \mu\text{m}$ (infrarrojo medio); brinda información con respecto a las unidades de vegetación, tipos de cultivos, unidades de suelo y permite la separación entre nubes y nieve.
- * Banda 6: $\lambda = 12,08$ a $12,35 \mu\text{m}$ (infrarrojo lejano o termal); proyectado para auxiliar en la clasificación vegetal, análisis del stress vegetal, observaciones sobre las unidades de suelo y otros mapeos de fenómenos termales. La resolución espacial de esta banda es de 120 metros.
- * Banda 7: $2,08$ a $2,35 \mu\text{m}$ (infrarrojo medio); proyectado para el mapeo de formaciones rocosas.

- *Los Landsat 5 y 6 poseen las mismas características del Landsat 4, en tanto el sensor TM de Landsat 7 presenta también iguales características, pero se le incorporó una banda pancromática con 15 metros de resolución.*

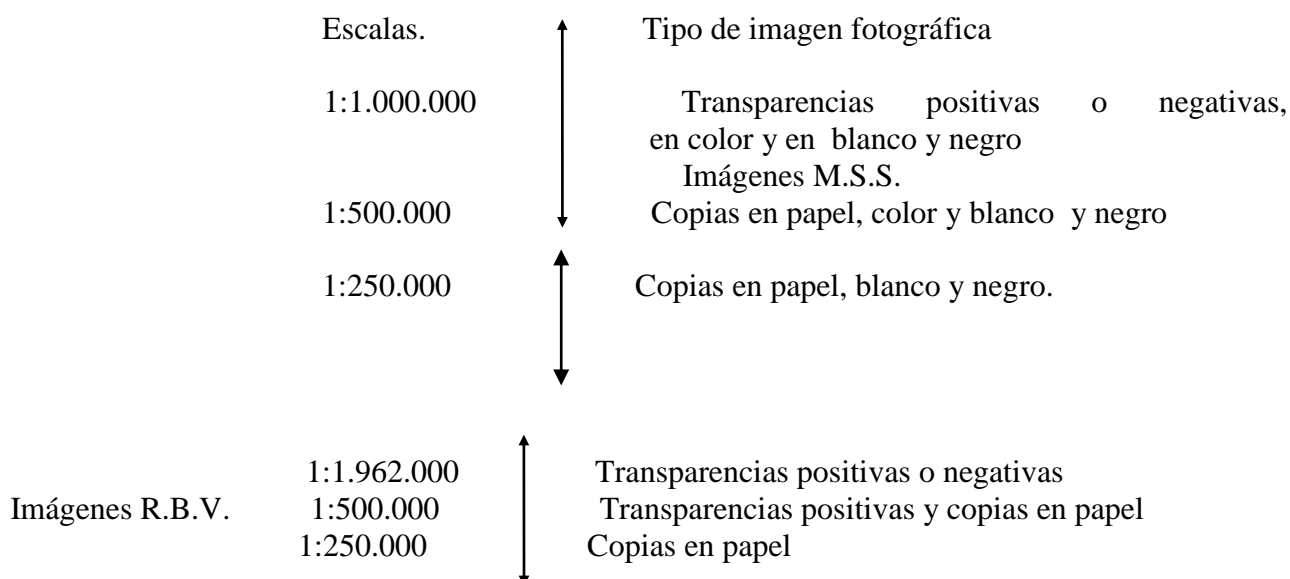




Productos de los satélites Landsat.

Los datos captados por los satélites Landsat están disponibles en dos formatos:

- 1.- Cintas C.C.T. (compatible computer tape), que son cintas magnéticas compatibles con computadoras.
- 2.- Productos fotográficos: son el resultado de la grabación de los datos de los diversos sensores en films fotográficos, los que para su interpretación están disponibles de la siguiente forma:



Las imágenes Landsat 4 y 5 se presentan también en escala 1:100.000 para las distintas bandas y en composiciones a color y en blanco y negro.

Información marginal en las imágenes.

Contienen los siguientes elementos:

- Marcas fiduciales en las esquinas.
- Coordenadas geográficas con intervalos de 30 minutos en sus cuatro lados.
- Notación alfanumérica en un borde correspondiente a la siguiente descripción:
 - * - fecha de toma.
 - * - coordenadas geográficas del punto principal
 - * - coordenadas geográficas del punto nadir
 - * - ángulo de elevación solar
 - * - acimut solar
 - * - nombre de la estación terrestre de recepción de datos.
- Características de la imagen:
 - * banda correspondiente del espectro
 - * día del programa desde su lanzamiento en que fue captada la imagen
 - * hora solar de toma de la información
 - * día y hora de procesamiento de la información
 - * escala de grises de la banda del espectro a la que corresponde.

La escala de grises citada se configura para cada una de las imágenes cuando se las procesa, encontrándose sujeta al mismo proceso fotográfico que la imagen a la que se encuentra unida, dando la relación entre el nivel de grises y la densidad del haz de electrones utilizada en la exposición original. La densidad del haz de electrones está relacionada con el voltaje del sensor y éste a su vez con la energía que incide sobre él. Por lo tanto la escala de grises representa el rango dinámico de la energía reflejada por el terreno por cada pixel en cada banda.

Recepción y grabación de datos.

Una estación de recepción de imágenes puede recibir las tele medidas del satélite cuando éste está en un círculo de visibilidad de aproximadamente 2600 km. de radio, lo que corresponde a una elevación del satélite de 5 grados por encima del horizonte. La información directa del satélite cuando está puesto en funcionamiento transmite las observaciones a medida que son obtenidas; esto permite que las estaciones reciban los datos de las regiones de su zona de visibilidad. Una estación puede entonces recibir datos durante dos o algunos pasajes, según su latitud. Es por ello que se han establecido estaciones de recepción en todo el mundo.

Las estaciones terrenas de recepción y grabación de datos están constituidas por dos unidades fundamentales:

- **La unidad de recepción de datos** que posee una antena en forma de paraboloide sólido que realiza el seguimiento de la nave, recibiendo las señales telemétricas a una determinada frecuencia y recibiendo los dos canales de video de banda 5 (R.B.V. y M.S.S.). Una vez recibidos sufren un proceso de demodulación, antes de ser grabados en las cintas magnéticas.

- **En la unidad de grabación** la señal de video del M.S.S. se convierte en una serie digital de bitios, 15 millones por segundo. Esta serie consta de cuatro bandas espectrales de datos de video, en la que cada banda se representa por seis líneas paralelas de barrido.

Se separan las series de bitios de los 24 canales imprimiéndose cada canal en una banda magnética diferente. Simultáneamente se van poniendo en formato para proceder a la grabación sobre película fotográfica mediante la utilización de un tubo de rayos catódicos de alta resolución (esto es con 0,7 mm de tamaño de punto de iluminación).

Los datos se procesan en formato de 70 mm y en emulsión blanco y negro, cubriéndose escenas de 185 km. de lado y con un recubrimiento del 10% en dirección a la trayectoria del satélite.

En el proceso de la formación de la imagen se corrigen los errores de orientación (balanceo, cabeceo y derrape), los errores de altitud (escala), y los efectos de la rotación de la tierra (desviación), así como la puesta en escala de las imágenes mediante puntos de control terrestre.

De esta forma se origina la conversión de los datos telemétricos, grabados en la estación receptora, en productos utilizables, tales como imágenes fotográficas y las cintas compatibles con computador. El proceso de imágenes en color se realiza mediante la superposición de tres imágenes de la misma escena en un proceso aditivo de composición de colores.

El tratamiento por ordenador de este elevado número de datos tiene un valor muy importante ya que permite 254 niveles distintos de discriminación, con la ventaja de que estos pueden ser tratados estadísticamente. Ello quiere decir que en la imagen digital existen 254 niveles de intensidad que corresponden a los valores de pixeles, capacidad muy superior a la del ojo humano, que solo es capaz de separar 16 de estos niveles.

[El satélite Landsat 5 ha dejado de adquirir imágenes](#)

Diciembre 5, de 2011

El Servicio Geológico de EUA (en inglés USGS) ha dejado de adquirir imágenes del satélite de observación de la Tierra Landsat 5, de 27 años de edad, debido a que un componente electrónico se ha degradado rápidamente. Landsat 5 fue lanzado en 1984 y diseñado para durar tres años. El USGS asumió la operación del satélite Landsat 5 en 2001 y logró sobrellevar el viejo satélite al borde del fracaso total en varias ocasiones tras el mal funcionamiento de algunos subsistemas clave.

El USGS está comprometido en mantener esta única base de datos de imágenes de largo plazo que el programa Landsat ofrece”.

El Landsat 7 operado por USGS permanece en órbita recolectando imágenes globales. Sin embargo, desde su lanzamiento en 1999, con una vida útil de 5 años, Landsat 7 ha experimentado una anomalía en los instrumentos que reduce la cantidad de datos recolectados por imagen.

Landsat 8, actualmente denominado Misión de Continuidad de Datos de Landsat, está programado para ser lanzado en enero de 2013.

Fuente: IDE-LAC

Programa SPOT

Descripción general

El programa Spot (Système polyvalent d'observation de la terre) es actualmente uno de los más importantes programas espaciales para el estudio de los recursos naturales. Los diseñadores concibieron un sistema que ofreciese los rangos espectrales más adecuados para dichos estudios, así co-

mo la posibilidad de observación estereoscópica y rangos de resolución espacial y temporal, considerablemente mejores que los obtenidos en los demás programas con objetivos semejantes.

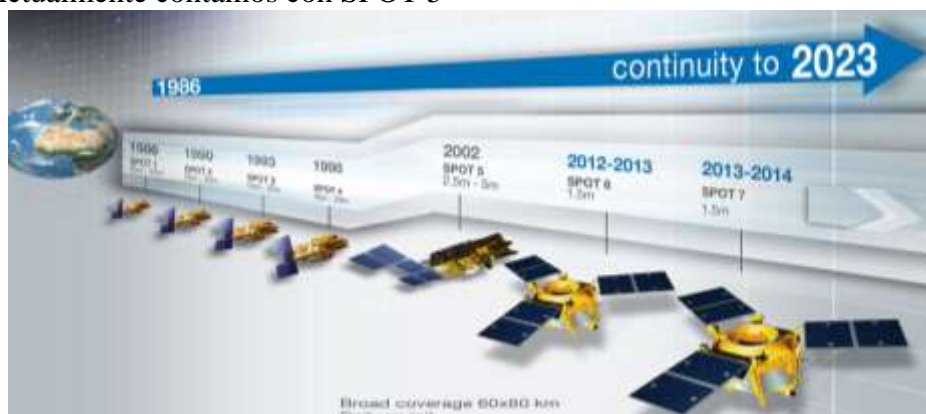
Algunas de sus particularidades son:

- Cobertura sistemática de la tierra con alta resolución espacial.
- Incremento de la frecuencia de observación local gracias a la mira lateral.
- Posibilidad de cobertura estereoscópica.
- Carácter operacional del sistema diseñado para satisfacer las demandas de los usuarios.

El objetivo primordial del Spot es el de proporcionar información para el estudio de:

- Utilización de los suelos y evolución del medio ambiente.
- Evaluación de los recursos naturales (vegetación, bosques, etc.)
- Exploración de los recursos minerales y energéticos.
- Realización de trabajos cartográficos a escalas medias (1:100.000 hasta 1:50.000); revisión y actualización de cartografía existente a escalas del orden de 1:50.000.

En febrero de 1986 se colocó en órbita el primero de los satélites y en febrero de 1990 el segundo. Actualmente contamos con SPOT 5



Estructura del programa.

El programa constituye un gran complejo de centros de control, operación, recepción. El centro de control y programación de misiones está a cargo del Centro Nacional de Estudios Espaciales (CNES) en Toulouse, al igual que la estación receptora principal.

Este conjunto se encarga de las operaciones esenciales como programación de las tomas, recepción, comandos de corrección de órbitas y altitud, etc. La evaluación de los datos se realiza en el Centro de Rectificación de Imágenes CRIS, antes de su entrega para distribución a los usuarios.

Existen en los cinco continentes estaciones receptoras de datos que están adaptados también para recibir los datos del programa Landsat.

El proceso de distribución y servicios a los usuarios está a cargo de SPOT IMAGE, la cual atiende todas las consultas sobre disponibilidad de datos, recibe solicitudes sobre áreas de interés para los usuarios y atiende sus pedidos. Existen además en diversos países agencias locales que establecen la conexión con SPOT IMAGE.

La Nave Espacial.

Consta de varios módulos básicos. Ellos son:

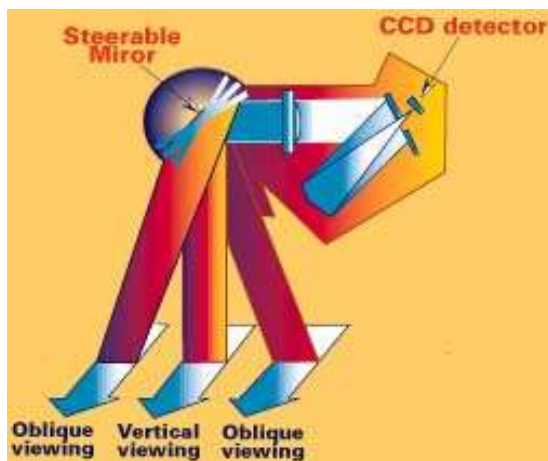
1. Generador solar.
2. Compartimiento de energía (baterías)
3. Control de altitud.
4. Potencia.
5. Servicio.

6. Propulsión.
7. Conector de carga útil.
8. Telemetría de carga útil
9. Sensores.

El peso total del sistema es de 1750 Kg. de los cuales 750 kg. corresponde a la carga útil. Sus dimensiones son 2 x 2 x 3,5 m. La parte más voluminosa y notoria es el panel solar, el cual tiene 15,6 m de largo una vez desplegado.

Carga útil.

Está constituida por dos sensores idénticos denominados “dispositivos a transferencia de carga” (CCD) y de “alta resolución visible” (HRV). Cada uno cubre una franja del terreno de 60 Km. de lado con una ligera superposición de 4 km. entre la franja observada por cada uno. Con esta característica la cobertura total es una franja de 116 Km. x 60 Km. o de 60 Km. x 60 Km. según los requerimientos. Ello permite operar simultáneamente ambos sensores obteniendo dos escenas de la misma área u operar un solo sensor obteniendo una sola escena.



La radiación reflejada por los objetos es captada por un espejo que, a diferencia de los barredores óptico- mecánicos, no oscila, sino que es transmitida a través del sistema óptico hasta coincidir sobre unas barras monobloques, en las cuales están ubicados los elementos sensibles. Cada sensor posee 6.000 de estos elementos sensibles (una línea = 6.000 pixeles de 10 o 20 m cada uno). Toda la radiación conducida a través de los sistemas ópticos incide sobre el separador espectral donde es fraccionada en cuatro rangos espectrales, que son las bandas del sistema:

- P: Modo pancromático con λ entre 0,51 a 0,73 μm con resolución espacial de 10 m.
- XS: Modo Multiespectral compuesto por tres bandas y con una resolución de 20 m., a saber:
 1. B1: con λ entre 0,50 a 0,59 μm (verde)
 2. B2: con λ entre 0,61 a 0,68 μm (rojo)
 3. B3: con λ entre 0,79 a 0,89 μm (infrarrojo cercano)

Por lo tanto, cada uno de los sensores puede producir información pancromática y multiespectral. El espejo captador de la radiación puede orientarse para la observación vertical (nadiral) de la tierra o para visión oblicua haciendo variar un ángulo de inclinación que se halla en el rango de +/- 27 grados.

Con esta importante propiedad se amplía la resolución temporal del sistema y se cumple el principio de la estereoscopia para sus imágenes.

Ambos sensores presentan una resolución espacial de 10 m en modo pancromático y de 20 m en modo XS.

Sensores disponibles en el satélite SPOT

HRV ¹		HRVIR ²		Vegetation ²	
1	0,50-0,59	1	0,50-0,59	1	0,43-0,47
2	0,61-0,68	2	0,61-0,68	2	0,61-0,68
3	0,79-0,89	3	0,79-0,89	3	0,78-0,89
P	0,51-0,73	4	1,58-1,75	4	1,58-1,75
		P	0,51-0,73		
Resolución espacial					
1-3	20m	1-4	20m / 10 m ⁽³⁾	1-4	1000m
P	10m	P	10 - 5m - 2,5 m ⁽³⁾		

(1) Solo en los SPOT-1 a 3

(2) Solo en el SPOT-4 y 5

(3) Solo en el SPOT-5

Órbitas y coberturas.

La altura orbital nominal es de 850 km. Las órbitas son heliosincrónicas, casi polares con inclinación de 98°,7. El satélite capta información en el modo descendente (trayectoria norte-sur) y su paso tiene lugar a las 10,30 hs, hora solar local del Ecuador.

Para observación vertical la nave pasa cada 26 días sobre el mismo punto de la superficie de la tierra. Con observación lateral esta frecuencia puede aumentarse. Esto significa que una región que se encuentra, por ejemplo sobre el Ecuador, puede ser observada 7 veces, los días 5, 10, 15 y 21, 16 y 11; para latitud 45° las observaciones serían los días 5,10, 20, 25 y 21, 16, 11, 6, 1.

Además la observación lateral permite un mejor aprovechamiento de la infraestructura, ya que es posible programar la obtención de datos hacia la izquierda y hacia la derecha de la trayectoria, según el interés de los usuarios.

Esta posibilidad de observación lateral es también utilizada para la obtención de imágenes para la observación estereoscópica.

La estereoscopía se obtiene por observación de la misma franja del terreno desde dos órbitas diferentes, con lo cual se obtiene suficiente diferencia de paralaje para la observación tridimensional.

La red comprende dos tipos de estaciones receptoras:

- Las estaciones principales de Toulouse (Francia) y Kiruna (Suecia) que tienen acceso a imágenes de cualquier parte del globo.
- 22 estaciones de recepción directa (DRS) que puede recibir sólo imágenes dentro de su círculo de visibilidad. Cada DRS puede programar la adquisición de determinado producto directamente a través de un diálogo con la computadora del satélite o permitir que el Centro de Programación automáticamente programe los instrumentos teniendo en cuenta las demandas previamente especificadas por la estación.

Servicio a los usuarios y productos.

Se pueden solicitar imágenes ya tomadas de un área o si las mismas no satisfacen las demandas de los usuarios, se puede solicitar la toma de nuevas imágenes.

Según el grado de corrección dado a los datos originales, las imágenes se ofrecen en cuatro niveles de procesamiento:

- Nivel 1-A: En este nivel no se realiza ninguna corrección geométrica; las correcciones radiométricas se reducen a la normalización de las respuestas de los diferentes detectores sin ninguna calibración interbanda. En este nivel se producen únicamente C.C.T.'s.
- Nivel 1-B: Son productos corregidos geoméricamente en cuanto a deformaciones introducidas por la rotación de la Tierra y el efecto panorámico de las vistas oblicuas. También se corrigen las variaciones de velocidad del satélite. Se ofrecen en forma de C.C.T. o imágenes fotográficas. La escala de estas últimas será 1:400.000 con lo cual una escena completa (60 km x 60 km) cabe dentro del formato 24 cm x 24 cm. Imágenes en escalas mayores de hasta 1:50.000 se obtienen por ampliación fotográfica.
- Nivel 2: En este nivel las correcciones están basadas en puntos de control terrestres (6 a 8 por escena). Estas imágenes pueden superponerse sobre mapas con una precisión esperada de 50 m y en el proceso pueden utilizarse proyecciones cartográficas. Las correcciones radiométricas son las mismas del nivel 1-A. Los productos fotográficos se ofrecen en película positiva o negativa con formato 24cm x 24 cm a escala 1:400.000, pudiendo obtenerse formatos al doble o más. Los productos del modo multispectral pueden obtenerse en bandas individuales en blanco y negro o en composiciones en falso color. Las imágenes del modo pancromático solo vienen en blanco y negro. Las C.C.T. se producen en densidades de 1600 y 6250 bpi.
- Niveles S1 y S2: Cuando no sea posible tener un mapa como base de corrección, las imágenes Spot podrán corregirse en base a otras imágenes. Si la imagen de referencia es de Nivel 1-b se obtendrá una imagen corregida de nivel S1. Si la imagen de referencia es de nivel 2, se obtendrá una imagen de nivel S2 corregida. La precisión de superposición será de ½ pixel (5 o 10 m según el modo utilizado).

Ventajas del programa Spot.

- Posibilidad de estereoscopía.
- Imágenes con aplicaciones similares a las de la fotografía aérea, a escala 1:100.000 y 1:50.000.
- Resolución sobre el terreno de 10 y 20 metros.
- Frecuencia de observación de hasta 5 días (esto es la resolución temporal).
- Productos corregidos geoméricamente y con posibilidad de ser superpuestos sobre mapas topográficos. Distribución operacional a nivel mundial.

Los siguientes esquemas explican la estereoscopía de SPOT.

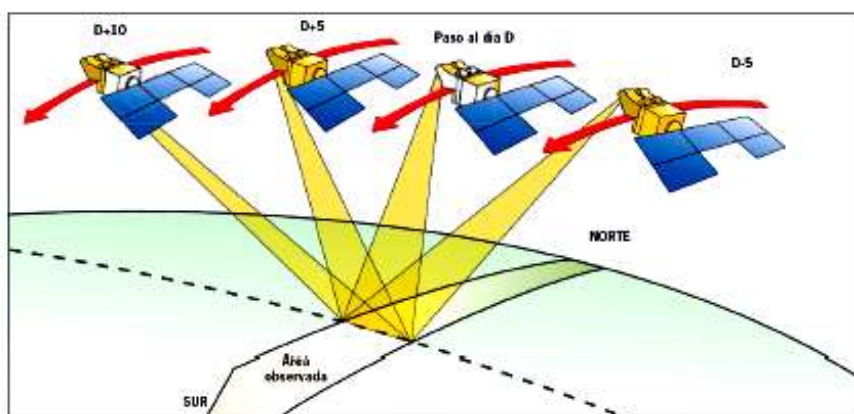


Figura 13: Mejora de resolución temporal en SPOT

Adquisiciones con observación lateral

Serie de satélites argentino SAC

La Argentina está desarrollando un programa espacial desde los años 90 a través de la COMISIÓN NACIONAL DE ACTIVIDADES ESPACIALES (CONAE).(www.conae.gov.ar)

Ha puesto en órbita hasta la fecha tres satélites para estudios de los recursos terrestres: SAC-A, SAC-B y SAC-C.

El primero fue lanzado el 4 de noviembre de 1996 y puesto en órbita por un cohete Pegasus de la NASA.

El SAC-B fue puesto en órbita por el transbordador espacial Endeavour de la NASA el 3 de diciembre de 1998. Ambos satélites fueron experimentales.

El SAC-C es el primer sistema argentino para la observación de la tierra y diversos estudios científicos, luego de las pruebas de los anteriores. Fue lanzado desde California el 21 de diciembre de 2000. Forma parte de la constelación matutina junto con los Landsat, EOS y Terra de la NASA, por convenio con esta.

Los sensores e instrumental que lleva a bordo la plataforma son:

- Barredor multiespectral de resolución media.
- Barredor pancromático de alta resolución.
- Cámara de alta sensibilidad.
- Receptor GPS de posicionamiento global.
- Sistema de recolección de datos.
- Instrumento de medición del campo geomagnético.
- Instrumento para determinar el efecto de las partículas de alta energía en componentes electrónicos.
- Instrumento experimental en navegación y actitud de la plataforma.
- Instrumento experimental de navegación.

Algunos de los instrumentos mencionados son de diseño y construcción totalmente argentinos, mientras que otros son de diseño italiano y norteamericano.

Sistemas Actuales.

No obstante que día a día aparecen sistemas satelitarios novedosos y con mejoras en sus características, en la actualidad podemos decir que están disponibles para uso civil los siguientes sistemas satelitales:

Satélites :CBERS-1, CBERS-2 y CBERS-2B

Los gobiernos de China y Brasil firmaron el 6 de julio de 1988 un acuerdo entre la CAST (Academia China de Tecnología Espacial) y el INPE (Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales) para el desarrollo de dos satélites avanzados de percepción remota, denominado Programa CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite), Satélite Chino-Brasilero de Recursos Terrestres.

El primer satélite desarrollado, el CBERS-1, fue lanzado el 14 de octubre de 1999 desde el Centro de Lanzamiento de Taiyuan en China. El segundo satélite de la serie, el CBERS-2, fue lanzado con éxito el día 21 de octubre de 2003 también desde el mismo centro.

Los satélites CBERS-1 y CBERS-2 están compuestos por dos módulos: “carga útil” y “servicio”. En el módulo de “carga útil” se encuentran los sistemas ópticos compuesto por una Cámara de Alta Resolución - CCD, un Barredor Multiespectral Infrarrojo - IRMSS y un Imageador de Campo de Visión Amplio - WFI utilizados para observación de la Tierra y el Repetidor para el Sistema Brasilero de Colecta de Datos Ambientales; el módulo “servicio” contiene los equipos que aseguran la

provisión de energía, los controles, las telecomunicaciones y las demás funciones necesarias para la operación del satélite.

Los dos satélites son técnicamente idénticos, con órbita heliosíncronas a una altitud de 778 km, realizando cerca de 14 órbitas por día. De estas 14 revoluciones diariamente registradas, 4 de ellas se dan dentro del campo de alcance de la estación receptora de Cuiabá, siendo 2 diurnas y 2 nocturnas. En condiciones normales de funcionamiento de todos los equipos a bordo del satélite, por lo menos una órbita diaria proveerá imágenes sobre el territorio brasileiro. Con las cámaras CCD e IRMSS, que tienen campos de visión de 113 y 120 km respectivamente, una cobertura completa del globo terrestre ocurre a cada 26 días; para la cámara WFI, capaz de explorar una franja de terreno de 890 km de ancho, el tiempo necesario para cubrir totalmente el globo es de 5 días.

La cámara CCD opera en cinco bandas espectrales con resolución espacial (pixel) de 20 metros.

Características de la Cámara CCD de Alta Resolución - CCD	
Bandas espectrales	0,51 – 0,73 μm (pancromática) 0,45 – 0,52 μm (azul) 0,52 – 0,59 μm (verde) 0,63 – 0,69 μm (rojo) 0,77 – 0,89 μm (infrarrojo próximo)
Campo de visión	8,3°
Resolución espacial	20 x 20 m
Ancho de la franja de terreno explorada	113 km
Capacidad de oscilación del espejo	$\pm 32^\circ$
Resolución temporal	26 días con vista vertical (3 días con vista lateral)
Frecuencia de la portadora de RF	8103 MHz y 8321 MHz
Tasa de transmisión de datos	2 x 53 Mbit/s
Potencia Efectiva Isotrópica Irradiada	43 dBm

La cámara de barrido IRMSS opera en 4 bandas espectrales extendiendo el espectro de observación hasta el infrarrojo termal con resolución espacial (pixel) de 80 m y 160 en la banda termal.

Características del Barredor Multiespectral Infrarrojo - IRMSS	
Bandas espectrales	0,50 – 1,10 μm (pancromática) 1,55 – 1,75 μm (infrarrojo medio) 2,08 – 2,35 μm (infrarrojo medio) 10,40 – 12,50 μm (infrarrojo termal)
Campo de visión	8,8°
Resolución espacial	80 x 80 m, 160 x 160 termal
Ancho de la franja de terreno explorada	120 km
Resolución temporal	26 días
Frecuencia de la portadora de RF	8216,84 MHz
Tasa de transmisión de datos	6,13 Mbit/s
Potencia Efectiva Isotrópica Irradiada	39,2 dBm

La cámara WFI opera en dos bandas espectrales con resolución (pixel) de 260 m.

Imageador de Campo de Visión Amplio - WFI	
Bandas espectrales	0,63 – 0,69 μm (rojo) 0,77 – 0,89 μm (infrarrojo)
Campo de visión	60°
Resolución espacial	260 x 260 m
Ancho de la franja de terreno explorada	890 km
Resolución temporal	5 días
Frecuencia de la portadora de RF	8203,35 MHz
Tasa de transmisión de datos	1,1 Mbit/s
Potencia Efectiva Isotrópica Irradiada	31,8 dBm

Los satélites CBERS-1 y CBERS-2 forman parte del Sistema Brasileiro de Colecta de Datos Ambientales que, basado en la utilización de satélites y plataformas de colecta de datos (PCDs) distribuidas por el territorio nacional, tiene como objetivo proveer al país datos ambientales diarios colectados en diferentes regiones.

Programa IKONOS.

El satélite IKONOS fue lanzado en 1999 por Space Imaging Corporation, que fue la primera empresa comercial para la adquisición y distribución de imágenes satelitales de alta resolución. El Ikonos completa su órbita alrededor de la tierra en 98 minutos a una altura de 680 Km, pasando sobre una longitud dada a la misma hora cada día.

Las bandas en que opera son:

- Banda pancromática (λ entre 0,45 y 0,9 micrones) con 1 metro de resolución.
- Bandas multiespectrales:
 - Azul: con $\lambda = 0,45$ a $0,52 \mu$
 - Verde con $\lambda = 0,51$ a $0,60 \mu$
 - Rojo: con $\lambda = 0,63$ a $0,70 \mu$
 - Infrarrojo cercano con $\lambda = 0,76$ a $0,85 \mu$

Todas ellas con una resolución espacial de cuatro metros.

El área que abarcan las imágenes sobre el terreno es de $10,5 \text{ Km}^2$.

Programa QUICKBIRD.

El satélite QUICKBIRD fue lanzado en 2001 por Digital Globe. Ofrece imágenes con resolución mayor que el IKONOS para uso civil.

Posee una banda pancromática con resolución espacial de 61 cm con λ entre 0,45 y $0,90 \mu$.

Las cuatro bandas multiespectrales son:

- Azul con λ entre 0,45 a $0,52 \mu$
- Verde con λ entre 0,52 a $0,60 \mu$
- Rojo con λ entre 0,63 a $0,69 \mu$
- Infrarrojo cercano con λ entre 0,76 a $0,90 \mu$.

La resolución espacial es 2,44 metros. Las imágenes cubren un área de $16,5 \text{ km}$ cuadrados.

Programa IRS.

La INDIAN SPACE RESEARCH ORGANIZATION posee actualmente doce satélites en el sistema IRS.

Las capacidades más sofisticadas de los satélites son provistas por los modelos IRS-1C e IRS-1D, los cuales suministran juntos una cobertura global continua con los siguientes sensores:

- IRS-PAN: con 5,8 metros de resolución espacial y banda pancromática.
- IRS-LISS3: 23,5 metros de resolución multispectral en las bandas verde, rojo, infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta (λ entre 1,55 y 1,7 μ)
- IRS-WiFS: con resolución de 180 metros, multispectral con bandas rojo, infrarrojo cercano.

Programa NOAA-AVHRR.

El Advanced Very High Resolution Radiometer es transportado por una serie de satélites operados por la U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Este sistema adquiere datos diarios sobre un área de 2400 km de ancho.

Opera en cinco bandas: rojo, infrarrojo cercano y tres bandas del infrarrojo termal. La resolución espacial del sensor es de 1,1 km y este dato se denomina “cobertura del área local”. Para el estudio de áreas muy amplias está disponible una versión con resolución de 4 km que se denomina “cobertura del área global”.

Los AVHRR pueden ser de resolución espacial alta para aplicaciones meteorológicas, pero las imágenes ilustran patrones amplios y detalles pequeños para estudios terrestres. En cambio poseen una alta resolución temporal, lo que permite mostrar amplias zonas para el monitoreo diario. Sus productos son muy utilizados por organizaciones involucradas en la predicción del hambre mundial y su morigeración.

Programa RADARSAT.

Radarsat es un sistema de observación terrestre que es operado desde 1995 por la Agencia Espacial Canadiense.

Como su nombre lo indica el sistema posee sensores activos (radares) con antena SAR (de abertura sintética) llamado SAR C, que opera en la banda de las microondas, con una resolución espacial que oscila entre 8 y 100 metros por pixel, con un intervalo de repetición de órbita (resolución temporal) de 24 días. Los sensores pueden apuntar al sitio de interés, lo que permite obtener imágenes radar estereoscópicas.

Las señales radar también penetran las nubes, por lo que accede a áreas no disponibles por los otros sensores ópticos. Dado que la característica de la captación de la señal por parte del radar atiende principalmente a las propiedades físicas y eléctricas (la textura) de la superficie terrestre, su interpretación y técnicas de geo-registro requieren de un entrenamiento especial. No obstante ello se ha demostrado que sus imágenes poseen un alto potencial.

Programa ERS.

El sistema ERS, del cual se encuentran operando ERS 1 Y ERS 2, fue planificado, construido y es gerenciado por la Agencia Espacial Europea. Estos sistemas idénticos constituyen un complemento interesante para los productos de los sistemas ópticos, ya que brindan una variedad de formatos en banda C radar para la producción de imágenes. Su principal ventaja es permitir obtener imágenes para distintas aplicaciones de regiones permanentemente cubiertas por nubes.

Programa JERS.

El “SATELITE JAPONES PARA RECURSOS TERRESTRES” ofrece una imagen lateral en banda L radar y una resolución de 18 metros. Esta es capaz de penetrar la vegetación y la arena blanda y es usada principalmente en aplicaciones cartográficas de tipo geológico, topográfico y costeras.

Programa AVIRIS.

Es un sistema experimental desarrollado por el LABORATORIO DE PROPULSIÓN A CHORRO que produce datos hiperespectrales en 224 bandas sobre el rango de longitud de onda del LANDSAT.

Programa TERRA.

Un grupo constituido por Canadá, Japón y E.E.U.U. lanzó en 1999 el primero de una serie de satélites de la NASA, llamado EOS. El primero EOS AM-1 posee cinco instrumentos (CERES, MISR, MODIS, ASTER Y MOPITT) que recogen datos terrestres y atmosféricos de riqueza sin precedentes. Los datos se hallan disponibles en sitios web.

El EOS AM-1 vuela en órbita casi polar sincronizada con el sol y desciende por el Ecuador alrededor de las 10,30 hs. Para los usuarios de SIG y de análisis de imagen los instrumentos útiles son Aster y Modis.

El primero obtiene una imagen de alta resolución en 14 bandas de 15 a 90 m de pixel. Tres bandas son captadas con 15 m de pixel en longitudes de onda de visible e infrarrojo cercano en áreas de 60 km. Una banda adicional es recogida para producir imágenes estereoscópicas de la misma órbita. Seis bandas infrarrojo medio son captadas con 30 m de resolución en la misma área de 60 km. Posee otras cinco bandas en el infrarrojo termal con 90 m de pixel para la misma área. Los productos ASTER incluyen radiaciones y reflejos espectrales de la superficie terrestre, temperatura superficial y emisividad, mapas digitales de elevación obtenidos de imágenes estereoscópicas, mapas de composición de la superficie y de la vegetación, productos de información sobre las nubes, mares, polos y hielos.

El sensor MODIS es una extensión del AVHRR al proveer 36 bandas de imágenes de resolución media a ancha con un ciclo de repetición temporal alto (1-2 días). Las bandas 1 y 2 brindan imágenes con pixel de 250 metros en el rojo e infrarrojo cercano. Las bandas 3 a 7 son imágenes multiespectrales con 500 m de pixel en el visible e infrarrojo. Las bandas 8 a 36 brindan una cobertura hiperespectral en las regiones del visible, infrarrojo reflejado y en el termal con un pixel de 1 kilómetro.

Bibliografía:

- * Fundamentos de análisis digital - Emilio Chuvieco.
- * Apuntes del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- * Catálogo de usos y servicios Spot.

Redactado y compilado por Agrim. Cristina B. Monferrer- Prof. Titular