

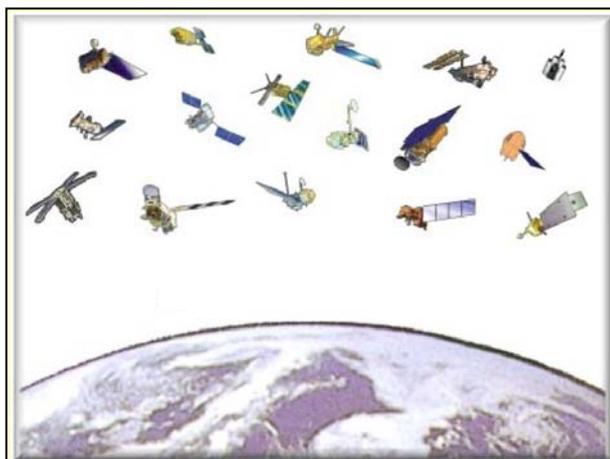
Serie Didáctica N° 34

Facultad de Ciencias Forestales
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SANTIAGO DEL ESTERO



CATEDRA DE
TELEDETECCIÓN Y CARTOGRAFÍA

PLATAFORMAS ORBITALES Y SENSORES



Ing. Fabian REUTER

Marzo de 2009

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PLATAFORMAS ORBITALES Y SENSORES	1
SATÉLITES METEOROLÓGICOS	1
SERIE GOES / METEOSAT	1
SERIE NOAA.....	4
<i>La primera generación: NOAA-2 a 5</i>	<i>4</i>
<i>La segunda generación: TIROS-N, NOAA-6 a 19.....</i>	<i>4</i>
Radiómetro Avanzado de Muy Alta Resolución (AVHRR).....	4
SATELITES DE OBSERVACION.....	8
SERIE LANDSAT: PRIMERA GENERACIÓN: LANDSAT 1, 2, 3.....	8
<i>Barredor Multiespectral (MSS)</i>	<i>9</i>
SEGUNDA GENERACIÓN: LANDSAT 4, 5 Y 6.....	10
<i>Mapeador Temático (TM).....</i>	<i>10</i>
TERCERA GENERACIÓN: LANDSAT 7.....	11
<i>La Órbita del Landsat 7.....</i>	<i>11</i>
<i>Principales diferencias entre el Landsat 7 y el Landsat 5.....</i>	<i>12</i>
<i>Niveles de corrección geométrica de las imágenes Landsat.....</i>	<i>12</i>
SATÉLITES CBERS.....	14
PROGRAMA IRS.....	17
<i>IRS 1C y 1D.....</i>	<i>17</i>
SATÉLITES SPOT.....	19
<i>Sensores de los satélites Spot 1 a Spot 5.....</i>	<i>20</i>
<i>Repetitividad de las observaciones.....</i>	<i>21</i>
<i>Adquisiciones con observación lateral.....</i>	<i>22</i>
<i>Sensores HRS, Vegetation, Doris.....</i>	<i>23</i>
SENSOR X-MODIS.....	25
SATÉLITE QUICKBIRD.....	27
<i>Cobertura.....</i>	<i>29</i>
<i>Niveles de Producto.....</i>	<i>30</i>
<i>Productos Basic.....</i>	<i>30</i>
Procesamiento.....	30
Precisiones.....	30
Estructura Física.....	31
<i>Productos “Standard”.....</i>	<i>31</i>
Procesamiento.....	31
Precisiones.....	32
Estructura Física.....	32
<i>Productos Ortorectificados.....</i>	<i>32</i>
Proceso.....	32
Precisión.....	32
<i>Opciones de Productos.....</i>	<i>32</i>
Productos Pancromáticos.....	32
Productos Multiespectrales.....	33
Productos Pancromático + Multiespectrales (Bundle).....	33
Productos Pan-Sharpned Color.....	33
IKONOS.....	34
<i>Principales características de satélite:.....</i>	<i>35</i>
<i>Productos IKONOS.....</i>	<i>35</i>
<i>Niveles de procesamiento.....</i>	<i>36</i>
Ikonos Geo.....	36
Ikonos Ortorectificadas.....	36
Precision Plus.....	37
Precision.....	37
Pro.....	37
Map.....	37
Reference.....	37
<i>Aplicaciones y ventajas de las imágenes IKONOS.....</i>	<i>37</i>
GEOEYE -1.....	39

<i>Capacidades Técnicas del Satélite</i>	39
<i>Productos GeoEye</i>	40
Geo.....	40
Geo Professional:	40
Geo Stereo:.....	40
KOMPSAT-2.....	41
<i>Características de las imágenes KOMPSAT-2</i>	41
SATÉLITE ARGENTINO SAC-C	43
<i>Descripción de la Misión SAC-C</i>	43
<i>Características del SAC-C:</i>	44
<i>Carga útil del SAC-C:</i>	45
<i>Las capacidades del SAC-C:</i>	45
Cámara MMRS	46
Cámara HRTC.....	47
Cámara HSC	48
Instrumentos Científicos del SAC-C:	48
SATÉLITES RADAR	49
RADARSAT	49
<i>Productos</i>	51
PROGRAMA ERS / ENVISAT	52
ENVISAT	54
<i>Características</i>	54
<i>Productos</i>	54
Radar de apertura sintética avanzado: ASAR.....	54
TRANSBORDADOR ESPACIAL Y ESTACIONES ESPACIALES.....	56
SRTM (SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION).....	56
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	59

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 : Posiciones de cinco satélites meteorológicos geosincrónicos que proporcionan capacidad de observación de las condiciones globales del tiempo.</i>	2
<i>Figura 2: Imagen GOES 12. Fuente Servicio Meteorológico Nacional.</i>	2
<i>Figura 3: Satélites geoestacionarios Meteosat de primera y segunda generación</i>	3
<i>Figura 4: Satélite de órbita polar NOAA-17</i>	5
<i>Figura 5: NDVI calculado a partir de imágenes NOAA 17. Fuente Servicio Meteorológico nacional</i>	7
<i>Figura 6: Configuración del LANDSAT 1,2 y 3.</i>	8
<i>Figura 7: Rutas orbitales LANDSAT típicas para un sólo día.</i>	9
<i>Figura 8: Bandas espectrales en Landsat</i>	13
<i>Figura 9: Imagen conceptual del satélite CBERS</i>	14
<i>Figura 10: A) Diversos campos de visión. B) Visión estereoscópica</i>	14
<i>Figura 11: Imagen conceptual del satélite IRS 1C</i>	17
<i>Figura 12: Satélite Spot</i>	20
<i>Figura 13: Mejora de resolución temporal en SPOT</i>	22
<i>Figura 14: Atributos del sistema SPOT</i>	23
<i>Figura 15: Pares estereoscópicos en Spot</i>	24
<i>Figura 16: Satélite y Sensor MODIS</i>	25
<i>Figura 17: Imagen Modis del Río de la plata</i>	26
<i>Figura 18: Imagen conceptual del satélite QuickBird</i>	27
<i>Figura 19: Montaje del QuickBird</i>	28
<i>Figura 20: Cobertura de imágenes QuickBird</i>	29
<i>Figura 21: Productos entregados según tipo de pedidos en QuickBird</i>	31
<i>Figura 22: satélite IKONOS</i>	34
<i>Figura 23: Fusión de imágenes en Ikonos</i>	36
<i>Figura 24: Satélite GeoEye -1</i>	39
<i>Figura 25: Geometría de obtención de datos Geo Stereo en GeoEye -1</i>	40
<i>Figura 26: Satélite Kompsat-2</i>	41
<i>Figura 27: Satélite SAC-C</i>	44
<i>Figura 28: Satélite RadarSat</i>	49
<i>Figura 29: Comparación de imágenes Radarsat con Landsat</i>	50
<i>Figura 30: Reflexión en imágenes Radar</i>	51
<i>Figura 31 imagen del satélite ERS</i>	53
<i>Figura 32: Imagen DEM sombreada, proveniente de datos SRTM. Se representa el centro y norte de argentina.</i>	57

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 : Características del radiómetro barredor del METEOSAT</i>	3
<i>Tabla 2: NOAA-7 – Características del AVHRR</i>	5
<i>Tabla 3: Características del LANDSAT-2 MSS</i>	9
<i>Tabla 4: Comparación entre las características de un sistema fotográfico y uno multiespectral</i>	10
<i>Tabla 5: Características del satélite CBERS</i>	15
<i>Tabla 6 : Características de la Cámara HRC- del satélite CBERS. Fuente INPE</i>	16
<i>Tabla 7: Características de los satélites IRS 1A y 1B</i>	17
<i>Tabla 8 : Características de los satélites IRS 1C y 1D</i>	18
<i>Tabla 9: Características de los satélites serie SPOT</i>	20
<i>Tabla 10: Características del satélite QuickBird</i>	29
<i>Tabla 11: Características de los satélites KOMPSAT</i>	42
<i>Tabla 12: Bandas espectrales y su utilización en KOMPSAT</i>	42
<i>Tabla 13: Ficha técnica de la Cámara MMRS</i>	46
<i>Tabla 14: Ficha técnica de la Cámara HRTC:</i>	47
<i>Tabla 15: Ficha técnica de la Cámara HSC:</i>	48
<i>Tabla 16: Modos del sensor ERS</i>	53
<i>Tabla 17 : Modos de adquisición y niveles de procesamiento en Envisat.</i>	55

PLATAFORMAS ORBITALES Y SENSORES

Esta sección describe las diversas plataformas, los satélites y sus respectivos sensores actualmente en el espacio y su uso potencial.

Los sensores para algunos de estos satélites, están actualmente fuera de funcionamiento. Sin embargo, debido al potencial de interés histórico o por los datos que han adquirido durante su período de actividad, son incluidos en esta serie didáctica.

Se pondrá especial interés en imágenes provenientes de sensores que puedan adquirirse en argentina.

SATÉLITES METEOROLÓGICOS

Los satélites meteorológicos proporcionan datos actualizados permanentemente, de las condiciones meteorológicas que afectan a grandes áreas geográficas. Los servicios de predicción meteorológica dependen del flujo constante de imágenes tomadas por estos satélites.

Los satélites meteorológicos se sitúan en dos tipos de órbitas: geoestacionarias y polares.

SERIE GOES / METEOSAT

GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite), es un sistema de satélites meteorológicos estadounidenses geoestacionarios.

Los datos de imágenes y de sonda del GOES son continuos y proveen un flujo constante de información ambiental para soportar el pronóstico del tiempo, el seguimiento de tormentas severas, y para investigación de meteorología. Desde 1974 se evoluciona mejorando el sistema de satélites

Está diseñado para operar en órbita geoestacionaria, a 35.790 Km. sobre la tierra, permaneciendo estacionario (respecto a un punto sobre el suelo),

Sus sensores vigilan la tierra monitoreando nubes, temperatura superficial y vapor de agua, y sondeando los perfiles verticales de estructuras térmicas y de vapor. Así sigue la evolución de fenómenos de la atmósfera, asegurando la cobertura en tiempo real para seguir eventos de corta duración

Estos satélites geoestacionarios de gran altitud son utilizados para observaciones meteorológicas globales y para comunicaciones. Los aspectos de la meteorología que son el foco de estos satélites, incluyen el mapeo de nubes e imágenes infrarrojas y visibles de la superficie de la tierra, para detectar cambios de gran escala en parámetros oceánicos.

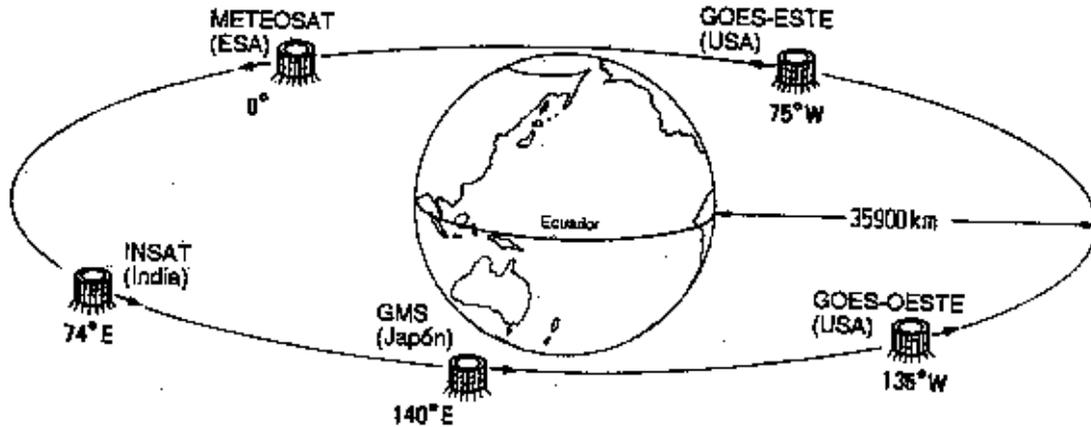


Figura 1 : Posiciones de cinco satélites meteorológicos geosincrónicos que proporcionan capacidad de observación de las condiciones globales del tiempo.

Los países y agencias que están participando en el programa del WMO (Organización Meteorológica Mundial) son la Agencia Espacial Europea (ESA), los EE.UU., Japón y la URSS. Cinco satélites, el GOES Occidente (EE.UU.), el GOES Oriente (EE.UU.), METEOSAT (ESA), INSAT (India) y GMS (Japón), colectivamente permiten que la tierra sea totalmente fotografiada cada 30 minutos.

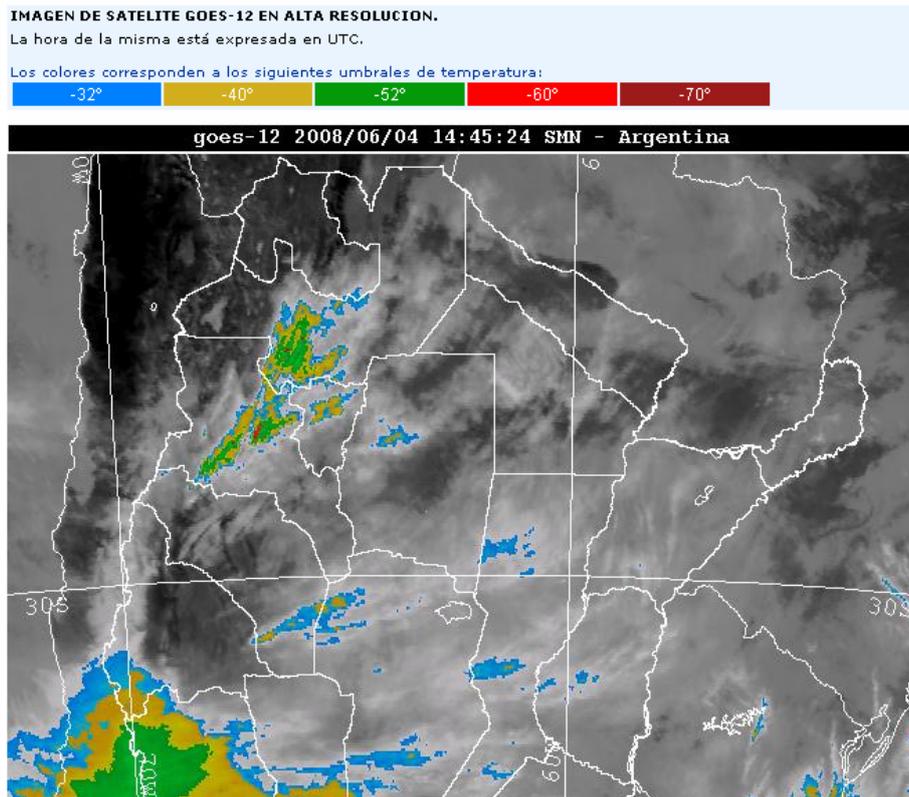


Figura 2: Imagen GOES 12. Fuente Servicio Meteorológico Nacional.

El primer satélite de la serie GOES (Satélite Ambiental Geostacionario Operacional) fue lanzado en 1974. Los últimos en la serie GOES-4 (Occidente) y 5 (Oriente), fueron lanzados en 1980 y 1981 respectivamente. GOES-4 y 5 transportaron un barredor especial, un radiómetro barredor giratorio el cual tiene seis detectores infrarrojos.

Los satélites de la serie GOES-METEOSAT son un grupo de satélites que producen cada media hora imágenes actualizadas de toda la superficie terrestre, exceptuando las regiones polares. Sus características comunes son:

- Alta resolución temporal: 30 minutos.
- Baja resolución espacial: 2.5 a 5 Km. /píxel
- Captan las bandas: visible, Infrarrojo térmico y vapor de agua.

Gira a 100 rpm sobre su eje principal. En cada giro, escanea una franja de 5 Km. de ancho del este al oeste. La franja está dividida en 2.500 áreas de escaneo. A cada vuelta, el espejo del escáner se ajusta para poder escanear una nueva franja.

Las características del radiómetro barredor a bordo del METEOSAT son descritas en la Tabla a continuación, nótese que el tamaño de la celda de resolución del terreno corresponde a la vista nadir del sensor.

Tabla 1 : Características del radiómetro barredor del METEOSAT

Longitud de Onda:	BANDA 1:	0.4 – 1.1 μm (azul-IR cercano)
	BANDA 2:	5.7 – 7.1 μm (IR mediano)
	BANDA 3:	10.5 – 12.5 μm (lejano o IR termal)
Ancho de barrido:	12,500 Km.	
Resolución espacial	BANDA 1:	2.5 Km. \times 2.5 Km.
	BANDA 2,3 :	5.0 Km. \times 5.0 Km.

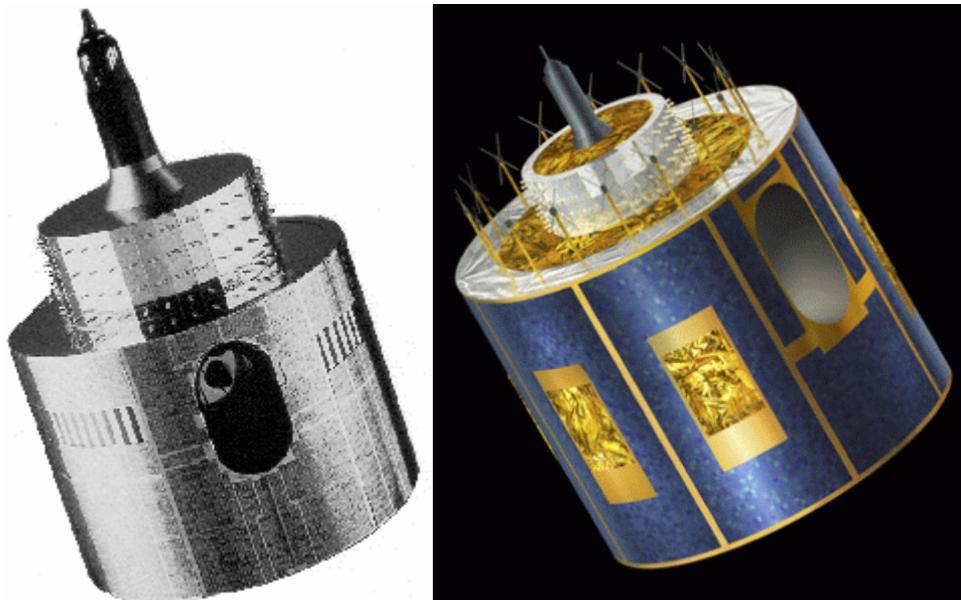


Figura 3: Satélites geostacionarios Meteosat de primera y segunda generación

SERIE NOAA

Existen varios satélites de órbita polar con misiones meteorológicas. Los más conocidos son los de la serie NOAA.

La National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA) puso en órbita el primero de una serie de satélites NOAA en 1970, como continuación del programa TIROS iniciado en 1960. Estos satélites siguen órbitas polares a una altitud sobre la Tierra de entre 833 y 870 Km. Escanean todo el planeta en veinticuatro horas.

Los satélites de la serie NOAA están dedicados a observaciones meteorológicas y a estudios de la temperatura superficial del mar. Esta serie puede ser dividida en dos generaciones.

La primera generación: NOAA-2 a 5

NOAA-2 al 5 fueron lanzados respectivamente en 1972, 1973, 1974 y 1976. Los satélites NOAA fueron lanzados en órbitas heliosincrónica circular, y polar cercano (ángulo de inclinación de 102°), diseñados para pasar por cualquier estación receptora local dos veces al día. Estos satélites tienen un período de 115 minutos realizando de 12 a 13 revoluciones por día con distancias entre rutas de 3,200 Km.

Estos satélites transportan el VHRR (Radiómetro de Muy Alta Resolución), que ha sido utilizado extensivamente para estudios oceanográficos. Se hizo inactivo en 1979 y fue subsecuentemente reemplazado en satélites NOAA posteriores por el radiómetro avanzado de muy alta resolución (AVHRR), una versión mejorada del VHRR.

La segunda generación: TIROS-N, NOAA-6 a 19

Estos satélites fueron lanzados desde 1978 a la actualidad. Tienen un ángulo de inclinación de 102° al igual que la primera generación de satélites NOAA. En contraste, estos satélites tienen un periodo de 99 minutos y realizan de 14 a 15 revoluciones por día con distancias entre rutas de 2,760 Km.

A partir del NOAA-8 se transporta otro sensor de interés para pesquerías, SARSAT (Satélite-Ayuda para Búsqueda y Rescate) el cual detecta la señal de peligro emitida por embarcaciones en dificultad.

El sensor utilizado en la segunda generación de los satélites NOAA para estudios oceanográficos, principalmente determinación de la temperatura superficial del mar, es el AVHRR (Radiómetro Avanzado de Muy Alta Resolución).

Este instrumento fue diseñado especialmente para proveer información destinada a estudios de Oceanografía, Hidrología y Meteorología. Luego resultó útil también para estudios de Agronomía. La primera versión del instrumento recibía información en cuatro bandas. En la actualidad los satélites en órbita disponen de 5 bandas.

Radiómetro Avanzado de Muy Alta Resolución (AVHRR)

El AVHRR es un radiómetro barredor de cuatro o cinco canales (dependiendo de la versión), que opera en la banda visible y en la banda infrarroja cercana y térmica. Las características del sensor están dadas en la Tabla a continuación

Tabla 2: NOAA-7 – Características del AVHRR

Longitudes de Onda:	BANDA 1 :	0.58 – 0.68 μm (verde-rojo)
	BANDA 2 :	0.72 – 1.10 μm (IR cercano)
	BANDA 3 :	3.55 – 3.93 μm (IR mediano)
	BANDA 4 :	10.50 – 11.50 μm (IR lejano o térmico)
	BANDA 5 :	11.50 – 12.50 μm (IR lejano o térmico)
I FOV :		1.3 mrad
Ancho de barrido :		2700 Km.
resolución espacial		1 Km. \times 1 Km.

**Figura 4: Satélite de órbita polar NOAA-17**

Los satélites NOAA más modernos, gracias al escáner AVHRR se pueden confeccionar mapas de la vegetación y de la formación de las nubes, así como medir la temperatura y la humedad de la atmósfera y de la Tierra. NOAA tiene una resolución espacial de 1 Km., la cual resulta muy útil como sistema de cartografía de recursos naturales a gran escala, para confeccionar mapas de la vegetación y de la temperatura superficial global y regional.

Los satélites NOAA operan por parejas para garantizar que los datos que captan de cualquier región de la Tierra no tienen más de seis horas de desfase horario. Además del escáner AVHRR, disponen de los sensores TOMS, SBUV/2 y ERBE. El sensor TOMS mide la concentración de Ozono.

Todos estos instrumentos emiten más de 16,000 mediciones diarias, que se utilizan para los modelos de predicción meteorológica.

Los satélites NOAA forman parte del conjunto de satélites que iniciaron operaciones en 1960 y han continuado activos desde entonces. Recientemente fue lanzado el NOAA-19 uniéndose así a los satélites NOAA-17 y NOAA-18 que aún se encuentran operativos.

Las imágenes NOAA tienen una resolución radiométrica de 10 bits (1024 niveles de grises distintos) y abarcan una área de 2700 Km. aproximadamente. Cada satélite del sistema NOAA visita un mismo lugar 2 veces durante un día.

Las imágenes HRPT (formato de las imágenes NOAA) proporcionan detalles de la nubosidad y temperatura por lo que son idóneas para el seguimiento de fenómenos meteorológicos como huracanes y tormentas, así como para estudios de la capa de ozono.

Una de las aplicaciones en las que las imágenes NOAA son usadas ampliamente es el estudio de los incendios forestales a gran escala, bien sea en la Evaluación del peligro mediante análisis multitemporal de las imágenes (estrés hídrico), en la evaluación y cartografía de las áreas afectadas o en la detección temprana de incendios.

Otra Aplicación es el cálculo de la Temperatura Superficial del Mar (TSM), la cual nos sirve para:

- 1) Estudiar los movimientos de las corrientes.
- 2) Analizar límites de temperatura o frentes térmicos y su relación con los fenómenos biológicos.
- 3) Identificar áreas de gran potencial pesquero.
- 4) Si se disponen de series de tiempo, se pueden estudiar variaciones estacionales, anuales e interanuales de las masas de agua y estructuras oceanográficas. Inferir influencia de fenómenos globales como por ejemplo El Niño, a partir de anomalías en la TSM.

Adicionalmente, utilizando imágenes NOAA se puede hacer análisis de sedimentos en suspensión, estimaciones de tendencias de crecimiento y rendimiento (con información adicional) de cultivos agrícolas así como el efecto de fenómenos atmosféricos sobre los mismos.

Los datos del AVHRR han sido muy utilizados en monitoreo de vegetación.

Las bandas típicas utilizadas a este fin son la banda visible (0,58 a 0,68 μ m) y la banda 2 del cercano infrarrojo (0,73 a 1,10 μ m).

Varias combinaciones de las bandas 1 y 2 han demostrado ser indicadores sensibles de la presencia y del estado de la vegetación verde. Estos se denominan índices verdes o índices de vegetación.

En forma rutinaria se calculan, a partir de los datos del AVHRR, dos índices, el (IV) ó índice verde simple y el (NDVI) índice verde normalizado.

Estos índices se calculan haciendo la diferencia de la banda 2 menos la banda 1, $IV = B2 - B1$

Y el índice verde normalizado:

$$NDVI = \frac{B2 - B1}{B2 + B1}$$

Las áreas con vegetación tienen, generalmente, altos valores de estos índices porque tienen alta reflectancia en el cercano infrarrojo (B2) y baja en el visible (B1).

En cambio, las nubes, el agua y la nieve tienen mayor reflectancia en el visible que en el cercano infrarrojo.

Por lo tanto, estos elementos tienen valores negativos de ambos índices.

Las rocas y el suelo sin vegetación tienen valores de reflectancia muy similares en ambas bandas y esto resulta en un índice próximo a cero.

Se prefiere usar el índice verde normalizado para monitoreo global de vegetación porque ayuda a compensar las diferentes condiciones de iluminación, pendiente de la superficie, aspecto general y otros factores externos.

SATELITES DE OBSERVACION

Los programas espaciales dedicados a la observación de la tierra tienen su inicio en el año de 1972 con el lanzamiento del satélite ERTS 1 Earth Resource Technology Satellite (Satélites de Tecnología de Recursos terrestres). Estos primeros satélites llevaban dos sistemas de sensores y un sistema de transmisión de datos. El primer satélite fue lanzado mediante un cohete Thor Delta desde la estación de la NASA en California. El peso total del satélite fue de 815 Kg. Inicialmente este satélite estuvo programado para operar por 1 año, sin embargo dejó de funcionar el 10 de enero de 1978, después de 5 años de operación continua. Un segundo satélite llamado ERTS-B fue desarrollado en base al anterior.

Cuando el ERTS-B entró en órbita el 22 de enero de 1975, fue llamado LANDSAT - 2 oficialmente por la NASA, y el ERTS-1 fue nombrado LANDSAT 1. El programa satelitario fue llamado LANDSAT para distinguirlo del programa oceanográfico SEASAT y de otros satélites considerados en el programa global satelitario de Recursos Terrestres. El Landsat - 3 fue el tercer satélite de esta serie y fue casi idéntico a sus dos hermanos predecesores.

SERIE LANDSAT: PRIMERA GENERACIÓN: LANDSAT 1, 2, 3

Los LANDSAT-1, 2, y 3 fueron lanzados respectivamente en 1972, 1975 y 1978. LANDSAT-1 fue puesto fuera de comisión en 1978 después del mal funcionamiento de un sensor y los LANDSAT-2 y 3 fueron puestos fuera de comunicación en 1983. Estos satélites tienen básicamente los mismos parámetros orbitales y transportan los mismos sensores. Ambos vehículos espaciales están en órbitas heliosincrónicas en polar cercano (ángulo de inclinación de cerca de 99°) con períodos de 103 minutos. Los satélites realizan 14 revoluciones por día con distancias de 2875 Km. entre las rutas. Cada satélite proporciona cobertura de casi toda la tierra cada 18 días, esto es, sobrepone las mismas rutas cada 18 días.

El satélite siempre pasa a la misma hora local (entre 9:30 y las 10:30 según latitudes).

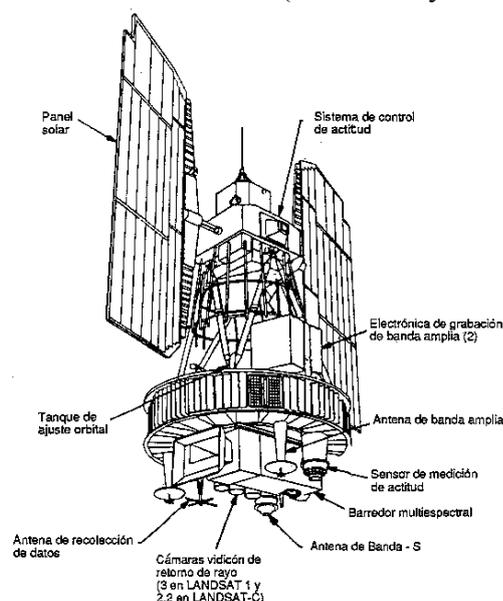


Figura 6: Configuración del LANDSAT 1, 2 y 3.

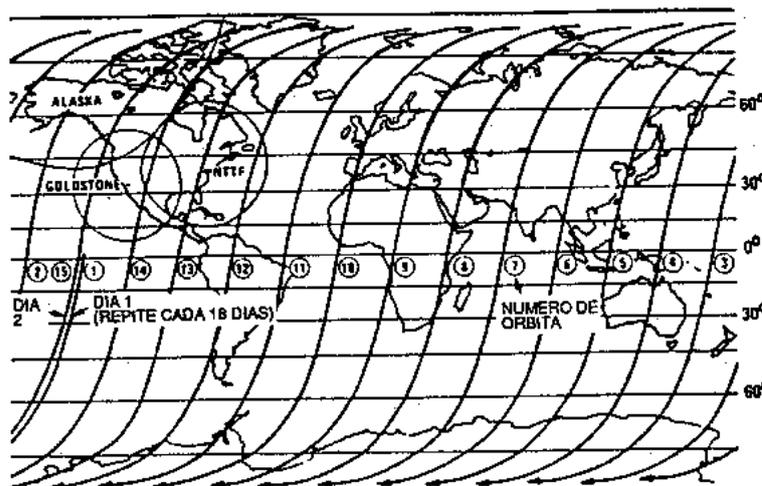


Figura 7: Rutas orbitales LANDSAT típicas para un sólo día.

Cada día las rutas cambian hacia el oeste 160 Km. (Ver figura superior), a la altura del ecuador de tal manera que cada 18 días las rutas son repetidas. Las imágenes son adquiridas entre las 9:30 y 10:00 de la mañana hora local solar, excepto para altas latitudes

LANDSAT 2 y 3 transportaban dos tipos de sensores de imágenes:

1. El Barredor Multiespectral (MSS);
2. La Cámara de Retorno de Rayos Vidicón (RBV).

La RBV ha sido utilizada raramente para estudios ambientales. Una descripción sobre sus características esta en la serie didáctica N° 33.

Barredor Multiespectral (MSS)

El MSS es un dispositivo barredor de líneas tanto de aviones como de naves espaciales, el cual produce un número específico de imágenes sincrónicas cada una con una banda de onda diferente. La escena individual de una imagen de un MSS cubre aproximadamente 185 × 185 Km. y se sobrepone a su vecino aproximadamente un 10% a lo largo de la ruta terrestre del vehículo espacial. En la estación terrestre las imágenes son usualmente convertidas de señales electrónicas a imágenes positivas en blanco y negro en películas de 7 mm, por un grabador de rayos de electrones. Las imágenes originales tienen una escala de aproximadamente de 1:3,369,000.

El MSS del LANDSAT-2 opera en cuatro diferentes bandas de onda. Las características del sensor son dadas en la Tabla a continuación

Tabla 3: Características del LANDSAT-2 MSS

Longitudes de onda:	BANDA 4: 0.5 – 0.6 μm (verde)
	BANDA 5: 0.6 – 0.7 μm (rojo)
	BANDA 6: 0.7 – 0.8 μm (IR cercano)
	BANDA 7: 0.8 – 1.1 μm (IR Cercano)
IFOV:	0.086 mrad
Ancho de barrido	185 Km.
Resolución Espacial	80 m × 80 m

La carga del LANDSAT-3 incluye un MSS de cinco bandas y dos cámaras RBV. EL MSS tiene cuatro bandas idénticas a las del LANDSAT-2 y una quinta banda (IR térmico) la cual fue diseñada para operar a cualquier hora durante la órbita, incluyendo operaciones nocturnas, y para todos los ángulos de elevación solar, pero no se hizo operacional.

Existen seis detectores para cada una de las cuatro bandas espectrales del MSS.

Una escena de MSS comprende 2340 líneas de barrido y 3240 columnas, cada píxel corresponde a una superficie real de 79 metros de lado. La radiancia recibida (resolución radiométrica), por esa parcela del terreno, en los primeros MSS estaba comprendida entre 0 y 127 para las bandas del visible y de 0 a 63 para la del infrarrojo.

Tabla 4: Comparación entre las características de un sistema fotográfico y uno multispectral

Sistema fotográfico	Barredor multispectral
Resolución espectral limitado a 0,3-0,9 μm y un reducido número de bandas.	Resolución de sensores multispectrales es muy amplia: 0.3-14 μm y con un mayor número de bandas.
Las cámaras multispectrales utilizan lentes independientes para cada una de las bandas. Esto genera problemas en el registro radiométrico y geométrico.	Los sensores multispectrales utilizan un solo sistema óptico para captar la energía y lo hacen en forma simultánea. Esto elimina problemas de registro radiométrico y geométrico.
Los datos son difíciles de calibrar desde el punto de vista radiométrico como consecuencia del proceso de revelado.	Los datos son generados en forma electrónica y por lo tanto son más fáciles de calibrar. El registro de los datos en forma electrónica permite una mayor amplitud radiométrica en las imágenes digitales.
La información es registrada en película que debe cambiarse y revelarse para ser utilizada. No es posible la transmisión de datos por medios electrónicos.	Los datos son registrados electrónicamente por lo tanto puede enviarse desde satélites a estaciones Terrestres. En caso de sensores a bordo de aviones la imagen puede visualizarse en tiempo real.

SEGUNDA GENERACIÓN: LANDSAT 4, 5 Y 6

En los EE.UU., le ha sido asignada a la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) la tarea de establecer un sistema de percepción remota operacional. LANDSAT-4 y 5 son el resultado del mandato de NOAA. El desarrollo de los sistemas en sí mismos ha sido la responsabilidad de la NASA.

LANDSAT-4 y 5 fueron lanzados respectivamente en 1982 y 1984. Tienen un ángulo de inclinación de 98.3° y un período de 98.5 minutos. Los satélites realizan de 14 a 15 revoluciones por día con distancias entre rutas de 2,752 Km. Se superponen la misma ruta cada 16 días.

La principal diferencia entre LANDSAT-4 y 5 respecto a los LANDSAT previos, es que los RBV han sido removidos y reemplazados con una nueva generación de MSS llamados Mapeadores Temáticos (TM). Este sensor proporciona más bandas espectrales y ofrece una resolución terrestre mejorada.

Mapeador Temático (TM)

El TM tiene tres bandas visibles, una infrarroja cercana y dos medianas con una resolución terrestre de 30 metros de tamaño de celda y una banda IR térmica con un tamaño de celda de 120 metros de resolución terrestre.

El TM proporciona una resolución global de 30 metros. Esta alta resolución es lograda por detectores sensitivos y por una cuantización de 8 bits en el proceso de

conversión analógico a digital (256 niveles de gris). En contraste, la MSS tiene únicamente 6 bits de cuantización (64 niveles de gris). Esto significa que las escenas del TM contienen mayor número de píxeles con mayor rango radiométrico. Esto resulta también en una alta tasa de datos de bits de 84.9 megabits por segundo.

El Landsat 6 se lanzó en 1993 pero por fallos de comunicación con la plataforma no se ubicó en la órbita precisa y se perdió.

TERCERA GENERACIÓN: LANDSAT 7

El Landsat7 es el satélite operacional más reciente del programa Landsat, financiado por el gobierno de los Estados Unidos.

El último satélite fue lanzado en abril de 1999 con un nuevo sensor denominado ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus). Su operación es administrada por la NASA (National Space and Space Administration) y la producción y comercialización de imágenes depende de la USGS (United States Geological Survey).

Una imagen LANDSAT 7 ETM+ está compuesta por 8 bandas espectrales que pueden ser combinadas de distintas formas para obtener variadas composiciones de color u opciones de procesamiento. Entre las principales mejoras técnicas respecto de su antecesor, el satélite Landsat 5, se destaca la adición de una banda espectral (Banda Pancromática) con resolución de 15 metros. También, cuenta con mejoras en las características geométricas y radiométricas y una mayor resolución espacial de la banda térmica para 60 m. Estos avances tecnológicos permiten calificar al LANDSAT 7 como el satélite más interesante para la generación de imágenes con aplicaciones directas hasta una escala de 1:25.000, principalmente, en áreas rurales o territorios de grandes extensiones.

Las imágenes generadas por el Landsat7 adquiridas mediante el sensor ETM+ presentan una mejor relación costo-beneficio que los datos generados por satélites de resolución media (15 a 30 metros) actualmente ofrecidos en el mercado.

La Órbita del Landsat 7

El Landsat7 puede adquirir imágenes en un área que se extiende desde los 81° de latitud norte hasta los 81° de latitud sur y, obviamente, en todas las longitudes del globo terrestre. Una órbita del Landsat7 es realizada en aproximadamente 99 minutos, permitiendo al satélite dar 14 vueltas a la Tierra por día, y cubrir la totalidad del planeta en 16 días. La órbita es descendente, o sea de norte a sur, el satélite cruza la línea del Ecuador entre las 10:00 y 10:15 (hora local) en cada pasaje. El Landsat7 está "heliosincronizado", o sea que siempre pasa a la misma hora por un determinado lugar.

Un factor importante es que el período de revolución del LANDSAT 7 es igual que el del Landsat5 (16 días), y una imagen cubre igual área (185 x 185 Km. por escena). La conservación de estos parámetros técnicos facilita que el proceso de captura de imágenes se pueda realizar con la misma grilla de referencia (WRS2) lo que permite una perfecta integración entre el procesamiento de las imágenes del LANDSAT 7 con datos históricos del LANDSAT 5 existentes desde 1984. Esto es especialmente útil cuando es necesario utilizar los dos tipos de datos de un mismo lugar en forma simultánea, por ejemplo, para un estudio multitemporal.

Principales diferencias entre el Landsat 7 y el Landsat 5

- La adición al Landsat7 de una banda Pancromática con resolución espacial de 15m. permite que las imágenes generadas a través de este sensor sean trabajadas para obtener ampliaciones hasta una escala de 1:25.000
- Perfeccionamiento del sistema de calibración radiométrica de los sensores, lo que garantiza una precisión radiométrica absoluta de 5%.
- Perfeccionamiento de la geometría de captura, lo que brinda una mayor precisión en imágenes corregidas sólo a partir de datos de efemérides de satélite generadas por el GPS de abordo, muy próxima a la precisión obtenida con imágenes georeferenciadas con puntos de control cartográficos.
- Las bandas del espectro visible, infrarrojo cercano y medio mantienen la misma resolución espacial de 30 metros, mientras que Las bandas del infrarrojo térmico (canales 6L e 6H) pasan a ser adquiridas con resolución de 60 metros, contra 120 metros del Landsat 5.

Niveles de corrección geométrica de las imágenes Landsat

En todas las imágenes, y esto es válido para todos los satélites comercialmente disponibles, las correcciones del sistema son algoritmos de rectificación de la imagen cruda aplicadas automáticamente en la estación de recepción, usando parámetros espaciales contenidos en los archivos descriptores de imagen (datos de posicionamiento y efemérides del satélite), que consiguen minimizar las variaciones espaciales internas presentes en la imagen en su estado bruto, correcciones del ángulo de curvatura terrestre, variaciones de velocidad, altura y actitud del satélite, desplazamientos orbitales, etc. Las imágenes Landsat7 están disponibles en 3 niveles de corrección geométrica:

Nivel 4: es un nivel de corrección básica donde la imagen es radiométrica y geoméricamente corregida de forma sistemática.

Nivel 5: también consiste en una imagen con correcciones sistemáticas, pero que se georreferencia utilizando las efemérides del satélite. Los algoritmos de corrección modelizan la posición del satélite y la geometría del sensor a través de datos que una computadora de abordo graba sobre la captura. Altitud, efemérides y parámetros de actitud del satélite, descritos en el archivo Payload Correction Data (PCD) y en el archivo Calibration Parameter File (CPF) son los componentes fundamentales usados para la generación de productos nivel 5 y garantizan la fidelidad geométrica general de la imagen.

Nivel 6: No es un proceso automático ni una corrección sistemática. Este nivel de procesamiento exige intervención adicional de un operador. La imagen nivel 5 antes descripta es ajustada con puntos de control cartográficos o con puntos de control medidos especialmente con tecnología GPS. Se obtiene una imagen rectificadas a una determinada proyección cartográfica.

Ortoimagen: Este nivel de procesamiento exige la intervención de un operador sobre una imagen corregida con puntos de control utilizando también un Modelo Digital de Elevaciones (DEM) para corregir todas las distorsiones. El producto final consiste en una ortoimagen georeferenciada a la proyección cartográfica deseada.

Imagen de Fusión (Merge): Es una combinación de buena resolución espacial de la banda Pancromática (15 metros) con la buena resolución espectral de Landsat 7. Una correcta interpretación de la información proveniente de imágenes satelitales depende principalmente de los atributos de textura y color presentes en dicha imagen, fundamentalmente para discriminar áreas que presentan variaciones relevantes, como tipos de vegetación y especies, patrones específicos de uso y ocupación del suelo e interpretaciones ligadas a la morfología.

Las imágenes generadas por el proceso de fusión espectral (merge) reúnen en una única imagen diferentes texturas (calidad geométrica) provenientes del canal de mejor resolución espacial (15 m de la banda PAN) y la información temática de color, resultante de la combinación de los diversos canales espectrales disponibles (en el caso del Landsat 7, 6 bandas espectrales con resolución espacial de 30 m). El resultado es una imagen con 15 metros de resolución, contra los 30 metros del producto original, con tonalidades muy similares a la composición de las bandas originales, o sea, sin alterar el contenido temático.

SISTEMA TM Y ETM		
BANDAS	LONGITUD DE ONDA μm	APLICACIONES
1	0,45-0,52(azul)	mapeo de aguas costeras diferenciación entre suelo y vegetación diferenciación entre vegetación conífera y decidua
2	0,52-0,60(verde)	mapeo de vegetación calidad de agua
3	0,63-0,90(rojo)	absorción de la clorofila diferenciación de especies vegetales áreas urbanas, uso del suelo agricultura calidad de agua
4	0,76-0,90 (infrarrojo cercano)	delineamiento de cuerpos de agua mapeo geomorfológico mapeo geológico áreas de incendios áreas húmedas agricultura vegetación
5	1,55-1,75 (infrarrojo medio)	uso del suelo medidas de humedad de la vegetación diferenciación entre nubes y nieve agricultura vegetación
6	10,40-12,50 (infrarrojo termal)	mapeo de stress térmico en plantas corrientes marinas propiedades termales del suelo otros mapeos térmicos o utros
7	2,08-2,35 (infrarrojo medio)	identificación de minerales mapeo hidrotermal
8	0,52 – 0,90 μm (Pancromatico)	Canal pancromático, resolución 15mts Catastro rural, infraestructuras Ubicación de centros poblados, hidrología, vías.

Figura 8: Bandas espectrales en Landsat

SATÉLITES CBERS

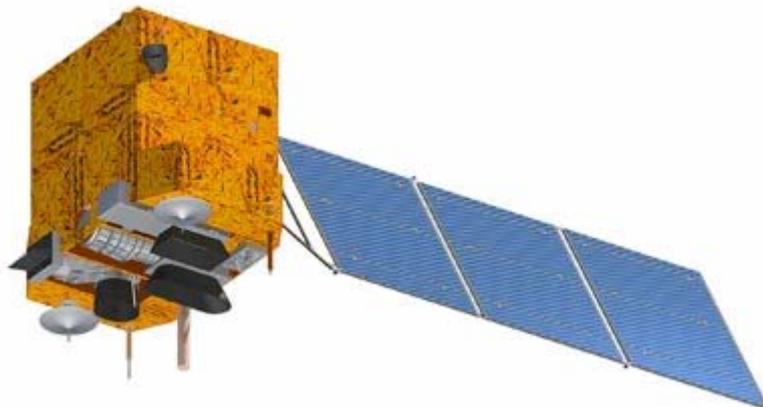


Figura 9: Imagen conceptual del satélite CBERS

El satélite Chino-Brasilero de Observación de la Tierra (CBERS) es un proyecto conjunto entre Brasil y China. El CBERS-1 fue lanzado en Octubre de 1999, con tres sensores: un generador de imágenes de visión amplia (WFI), una cámara CCD de alta resolución y un barredor multiespectral infrarrojo (IR-MSS). El WFI tiene un ancho de vista de 900 Km. en el suelo, lo que le permite una visión amplia sinóptica con una resolución espacial de 260 m y cubre al planeta Tierra en menos de 5 días. Los sensores CCD tienen un ancho de vista de 120 Km. y tienen una resolución espacial de 20 m en pancromático y de 80 m para el sensor infrarrojo IR-MSS. La cámara CCD de alta resolución tiene la capacidad adicional de apuntamiento lateral de hasta 32° al Este y al Oeste, en pequeños pasos, posibilita la obtención de pares estereoscópicos del terreno.

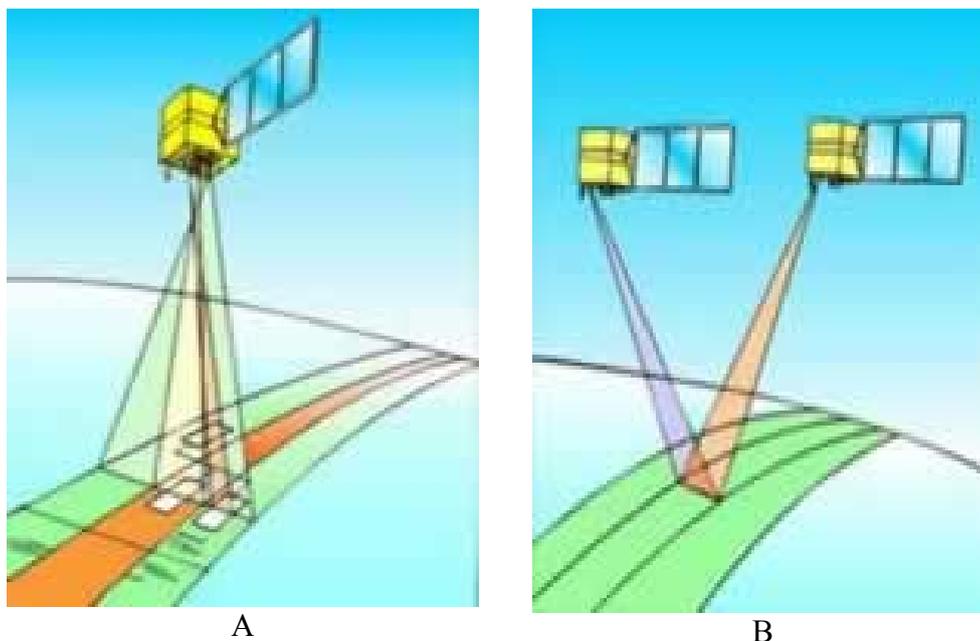


Figura 10: A) Diversos campos de visión. B) Visión estereoscópica

La diversidad de datos simultáneos de múltiples sensores es especialmente interesante para estudiar ecosistemas que requieren alta variedad de información. El satélite CBERS-1 está en órbita sincrónica con el Sol a una altitud de 778 Km., completando 14 revoluciones a la Tierra por día. Este tipo de órbita permite que el satélite cruce siempre el Ecuador a las 10:30h en la mañana, hora local, logrando las mismas condiciones de iluminación solar para comparación multitemporal de imágenes.

El satélite CBERS-2 tiene los mismos sensores que el CBERS-1 y fue lanzado en Julio de 2003. Además de la carga útil de los equipos para generar imágenes, los satélites llevan un sistema de recolección de datos (DCS) para retransmitir datos meteorológicos ambientales observados en tierra; un monitor de ambiente espacial (SEM) para detección de radiación de alta energía en el espacio; y un grabador de cinta de alta densidad (HDTR) experimental para grabar imágenes a bordo. Los satélites CBERS son lanzados por cohetes chinos de la serie Larga Marcha desde la base de lanzamiento de Shanxi, República Popular China.

Tabla 5: Características del satélite CBERS

Banda	Intervalo de Freqüência(μm)		
	CCD	IRMSS	WFI
1	0,45-0,52	0,50-1,10	0,61-0,69
2	0,52-0,59	1,55-1,75	0,76-0,90
3	0,63-0,69	2,08-2,35	-
4	0,77-0,89	10,40-12,50	-
5	0,51-0,73	-	-
Resolução espacial (m)	20	80	260
Resolução temporal (días)	26	26	3-5
Largura da cena (Km)	113	120	890

La Cámara de Alta Resolución (CCD), posee una buena resolución espacial de 20 metros en cuatro bandas espectrales, más una banda pancromática, y es útil para observar fenómenos u objetos con detalles importantes. Su ancho de vista es de 120 Km., ideal para estudios municipales, provinciales o regionales. Dada su frecuencia temporal de 26 días, puede servir para análisis de fenómenos que tengan duración mensual. Esta resolución temporal puede ser reducida, por la capacidad de visión lateral. Sus bandas están situadas en la faja espectral del visible y del infrarrojo próximo, lo que permite detectar contrastes entre la vegetación y otros tipos de objetos.

Sus aplicaciones están dirigidas a los temas:

Forestales: Identificación de áreas de bosques, alteraciones forestales en parques, reservas, bosques nativos o plantados, mediciones de áreas, ubicación de incendios forestales.

Agrícolas: Identificación de campos agrícolas, medición de áreas, monitoreo del desarrollo y expansión de la frontera agrícola, ubicación de centros de gravedad, auxilio en previsión de cosechas, fiscalizaciones diversas.

Ambientales: Identificación de anomalías antrópicas a lo largo de cursos de agua, reservorios, bosques, zonas de crecimiento urbano, vías, análisis de eventos episódicos naturales compatibles con la resolución de la cámara, cartas de uso del suelo, expansión de áreas urbanas.

Hidrológicas: Identificación de límites costeros, islas, playas, estudios de administración costera, monitoreo de reservorios y represas.

Cartografía: Dado que posibilita la obtención de pares estereoscópicos permite el análisis cartográfico y la producción de cartas imágenes con mosaicos municipales y provinciales. Esta característica también permite la obtención de imágenes para efectos de monitoreo de fenómenos dinámicos.

Geología y Suelos: Apoyo a levantamientos de suelos y mapas geológicos.

Educación: Generación de material de apoyo para actividades educacionales en Geografía y Ambiente.

El CBERS-2B adicionalmente posee una cámara HRC (HRC - High Resolution Camera) Camera Pancromática de Alta resolución.

La camera HRC opera en una porción del espectro que abarca el visible y parte del infrarrojo cercano.

Produce imágenes en fajas de 27 Km. de largo con una resolución de 2,7 m, que permitirá la observación con gran detalle de objetos en la superficie. Como el ancho de barrido es de 27 Km., serán necesarios cinco ciclos de 26 días para que se cubran los 113 Km. de ancho del sensor CCD.

Tabla 6 : Características de la Cámara HRC- del satélite CBERS. Fuente INPE

Características da Câmera Pancromática de Alta Resolução - HRC	
Banda espectral	0,50 - 0,80 μm (pancromática)
Campo de Visada	2,1°
Resolução espacial	2,7 x 2,7 m
Largura da faixa imageada	27 km (nadir)
Resolução temporal	130 dias na operação proposta
Taxa de dados da imagem	432 Mbit/s (antes da compressão)
Quantização	8 bits

PROGRAMA IRS



Figura 11: Imagen conceptual del satélite IRS 1C

El primer satélite de la Agencia Espacial India el IRS - 1A (Indian Remote Sensing Satellite) fue lanzado el 17 de marzo de 1988 llevando a bordo dos sensores denominados LISS (Linear Imaging Self Scanning) con una resolución espacial de 72.5 metros (LISS I, una cámara) y 36.5 metros (LISS II, dos cámaras). La superficie de cada escena fue de 148 kilómetros para el LISS - I y de 74 kilómetros para el LISS - II, con un ciclo de repetición de 22 días. El sensor LISS obtiene información sobre cuatro bandas del espectro, comprendidas entre el azul y el infrarrojo cercano. El IRS - 1B de características similares al satélite anterior y con el mismo tipo de sensores LISS - I y LISS - II fue lanzado de Khazakistan el 29 de agosto de 1991. Un tercer satélite, el IRS -1E fue lanzado 20 de septiembre de 1993, pero esta misión fue un fracaso. Un cuarto satélite, el IRS - P2 llevando a bordo al sensor LISS - II fue lanzado el 15 de octubre de 1994.

Tabla 7: Características de los satélites IRS 1A y 1B

SATELITE	SENSOR	RESOLUCIÓN ESPECTRAL(um)	RESOLUCIÓN ESPACIAL(m)	RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA.(bits)	RESOLUCIÓN BARRIDO(Km.)
		0.45 - 0.52			
	LISS I	0.52 - 0.59	72.5	8	148
IRS - 1A		0.62 - 0.68			
		0.77 - 0.86			
		0.45 - 0.52			
IRS - 1B	LISS II	0.52 - 0.59	36.25	8	74
		0.62 - 0.68			
		0.77 - 0.86			

IRS 1C y 1D

EL 28 de diciembre de 1995 y el 19 de septiembre de 1997 fueron lanzados una nueva serie de satélites de ISRO (Indian Space Research Organization), el IRS - 1C y el IRS - 1D respectivamente.

El principal objetivo de los satélites IRS, es la de obtener una adquisición sistemática y repetitiva de la superficie de la tierra en condiciones de iluminación constantes. IRS-1C opera en una órbita circular sincronizada con el sol, cercana a la polar, con una inclinación de 98.69°, a una altitud de 817 Km. El satélite, necesita 101.35 minutos para completar una vuelta alrededor de la Tierra, completando unas 14 vueltas al día. La tierra completa, es cubierta en un periodo de 24 días. Cada órbita sucesiva, sufre un desplazamiento de 2820 Km. a la altura del ecuador. Cuando el satélite pasa por el ecuador, son las 10.30 hora local.

Ambos satélites fueron dotados de tres tipos sensores para la toma de información: una cámara pancromática, una cámara multiespectral, y una cámara de campo ancho WiFS.

El modo pancromático tiene una resolución espacial de 5.8 metros, resolución temporal de 24 días, una resolución radiométrica de 6 bits, un ancho de banda de 0.5 a 0.75 micrómetros y una superficie de cubrimiento de 70 kilómetros por 70 kilómetros.

La cámara multiespectral LISS - III proporciona imágenes multiespectrales, dos en el visible: verde, rojo, una en el infrarrojo cercano (NIR) y otra en el infrarrojo de onda corta (SWIF). La resolución espacial de las dos bandas del visible y la del infrarrojo cercano tienen una resolución espacial de 23.5 metros y una cobertura de 141 kilómetros, mientras que para la banda SWIF es de 70.5 metros y 148 kilómetros.

La cámara WiFS proporciona imágenes en las bandas espectrales del rojo e infrarrojo cercano con una resolución espacial de 188 metros y una cobertura de 810 kilómetros.

Tabla 8 : Características de los satélites IRS 1C y 1D

SATELITE	SENSOR	RESOLUCIÓN ESPECT(um)	RESOLUCIÓN ESPACIAL(m)	RESOLUCIÓN RADIOM.(bits)	ANCHO BARRIDO(Km.)
	PAN	0.5 - 0.75	5.8	6	70
	LISS III	0.52 - 0.59			
IRS - 1C		0.62 - 0.68	23.5	8	141
		0.77 - 0.86			
IRS - 1D	WIFS	0.62 - 0.68	188.0	8	810
		0.77 - 0.86			

SATÉLITES SPOT

Fue desarrollado por el CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) de Francia con la participación de Suecia y Bélgica

En 1986, la agencia francesa del espacio, lanzó el primer satélite SPOT (Système Probatoire d'Observation de la Terre), se llevó a cabo en la Guayana francesa y se utilizó para ello un cohete Ariane. En enero de 1990 se puso en órbita el Spot 2 seguido por Spot 3 en septiembre de 1993, Spot 4 en marzo de 1998 y Spot 5 en mayo de 2002. La continuidad del sistema estará asegurada por una nueva generación de minisatélites, llamada Pléiades.

La altitud orbital de Spot es de 832 Km. y la órbita es muy similar a la de los Landsat, cruza el paralelo 40° N en dirección Sur a las 10 horas solares y vuelve a pasar por la vertical del mismo lugar cada 26 días.

Otra novedad del satélite SPOT fue su capacidad de variar el ángulo de observación. Por lo que existe la posibilidad de registrar una misma zona, de una forma oblicua, al pasar por una órbita anterior a la de su vertical y al pasar por una órbita posterior. Esto permite obtener pares de imágenes que son aptas para visualización estereoscópica. A estos efectos, la relación base-altura se obtiene mediante el cociente entre la distancia existente entre las dos posiciones del satélite, la citada relación varía entre 0.75 en el ecuador y 0.50 a los 45° de latitud, lo cual proporciona modelos estereoscópicos con fuerte exageración vertical.

La estación receptora principal de datos Spot se encuentra en Toulouse (Francia). Las imágenes que registra el satélite permanecen, en registradores de cinta magnética, a bordo del satélite hasta que son enviados a la correspondiente estación receptora.

Spot se coloca sobre una órbita polar, circular, heliosincrónica y en fases con relación a la Tierra.

Cada satélite Spot observa una zona dada cada 26 días. Durante estos 26 días, efectúa un número entero de revoluciones (369). El satélite efectúa $14 + 5/26$ revoluciones por día.

Si se desea que el satélite observe la totalidad de la Tierra durante el ciclo, el campo de observación de una parte y la otra de la traza en el suelo debe ser superior a la distancia entre dos trazas adyacentes. Los instrumentos de toma de imágenes HRV (Alta resolución visible) y HRG (Alta resolución geométrica) responden a estas características. La distancia entre las trazas es de 108 Km. como máximo (en el ecuador) y el campo total de los dos instrumentos en ángulo de visión casi vertical es de 117 Km.

De esta forma, queda asegurada la cobertura completa de la Tierra en un ciclo de 26 días.

El contar con un dispositivo móvil instalado en el equipo óptico, le permite al SPOT observar la misma zona en órbitas sucesivas, permitiendo de esta forma reducir la resolución temporal de la toma de imágenes de 26 a dos o tres días, según las latitudes. Esta cualidad hace que el satélite SPOT pueda adquirir imágenes estereoscópicas, lo que a su vez, le permite añadir la capacidad cartográfica a la característica temática. La mejor resolución espacial de las imágenes SPOT con relación al LANDSAT es que permite ver a los objetos que cubren la superficie terrestre con mayor claridad, incrementándose el uso de la información satelital en temas como urbanismo, cartografía, inventario de recursos naturales, planeamiento regional.

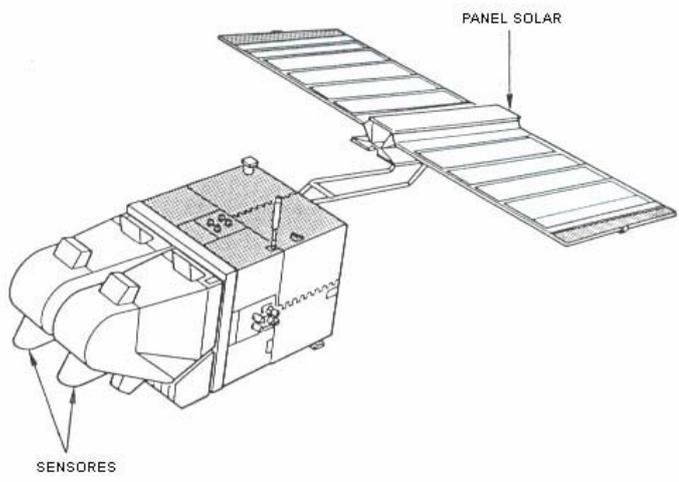


Figura 12: Satélite Spot

El satélite SPOT 5 cambia la resolución espacial en el modo pancromático, mejorando de 10 a 2.5 metros, el modo multiespectral de 20 a 10 y el infrarrojo medio sigue con los 20 metros. A continuación se presentan las características de cada uno de los satélites de la familia SPOT.

Tabla 9: Características de los satélites serie SPOT

SATELITE	SENSOR	RESOLUCIÓN ESPECTRAL. μm	RESOLUCIÓN ESPACIAL m	RESOLUCIÓN RADIOMETRICA bits	ANCHO DE BARRIDO Km.
SPOT 1,2,3	Pancromáticas.	0.51 - 0.73	10	6	60
		0.50 - 0.59	20	8	60
	Multiespectral.	0.61 - 0.68	20	8	60
		0.79 - 0.89	20	8	60
SPOT 4	Pancromática.	0.61 - 0.68	10	6	60
	Multiespectral.	0.50 - 0.59	20	8	60
		0.61 - 0.68	20	8	60
		0.78 - 0.89	20	8	60
		1.58 - 1.75	20	8	60
SPOT 5	Pancromática.	0.61 - 0.68	2.5	6	60
	Multiespectral.	0.50 - 0.59	10	8	60
		0.61 - 0.68	10	8	60
		0.78 - 0.89	10	8	60
		1.58 - 1.75	20	8	60

Sensores de los satélites Spot 1 a Spot 5

La carga útil de cada satélite Spot está constituida por dos instrumentos ópticos idénticos, registradores de datos y un sistema de transmisión de imágenes hacia las estaciones de recepción terrenas.

Los instrumentos ópticos de alta resolución de los satélites Spot

HRV – Alta resolución visible en Spot 1 y 2

HRVIR – Alta resolución visible infrarroja en Spot 3 y 4

HRG – Alta resolución geométrica en Spot 5

Estos sensores "pushbroom" denominados HRV (Haute Resolution Visible = Alta Resolución Visible), posibilitan la obtención de imágenes en 2 modalidades: pancromático (PA) y multibanda (XSn).

El HRV es un tipo de los denominados longitudinales, posee un espejo fijo sobre el que incide la radiación procedente de la superficie terrestre, éste espejo refleja la energía hacia el sistema óptico que la dirige hacia la batería de detectores (CCDs). El sistema HRV puede operar en dos modos, o bien en modo pancromático (alta resolución) o bien en modo multiespectral.

Para trabajar en modo Pancromático, utiliza una fila de 6000 CCDs, cada uno registrando la radiación de longitud de onda comprendida entre 0.51 y 0.73 micras, y que procede de un cuadrado sobre el terreno de 10 por 10 m. (unidad de resolución de campo). En modo multiespectral utiliza tres filas de CCDs, cada una de 3000 detectores, en este caso se registran tres bandas espectrales con intervalos en micras de 0.5-0.59(verde); 0.61-0.68(rojo) y 0.79-0.89(IR próximo), el tamaño de la unidad de resolución de campo es de 20 m. por 20 m. en el modo multiespectral.

En ambos modos, la longitud de la línea de registro es de 60 Km. Spot utiliza dos sistemas HRV que adquieren bandas paralelas de imágenes, el solape entre ambas es de 3 Km., por tanto la anchura total de las dos bandas es de 117 Km.

La resolución radiométrica por píxel es de 8 bits para el modo multiespectral y 6 bits para el pancromático.

Cada instrumento puede adquirir las imágenes indistintamente en modo pancromático o multiespectral. Las bandas espectrales de cada instrumento se adquieren con una resolución en el suelo variable según el satélite.

El sensor HRG del satélite SPOT 5 ofrece las siguientes mejoras:

- Mayor resolución espacial: 5 y 2.5 metros en su modo pancromático, comparado con los 10m anteriores.
- Mayor resolución en su modo multiespectral: 10m en lugar de los 20m del SPOT 1-4 en las dos bandas del espectro visible y en la infrarroja cercana. La banda del infrarroja medio (SWIR), diseñada especialmente para aplicaciones de uso-cobertura del suelo, tiene una resolución de 20m.
- Exactitud planimétrica: 10m (rms) y exactitud vertical (elevación) de 5m (rms)
- Mayor detalle en las imágenes, lo que facilita su interpretación visual.
- El ancho de cada imagen es de 60km, la misma utilizada en SPOT 1 a 4.
- Se mantiene la capacidad de visión oblicua de los sensores.

Repetitividad de las observaciones

Como novedad importante con relación a los anteriores satélites de observación de la tierra, está la posibilidad de variar el ángulo de visión de los detectores hasta los 27 ° con respecto la vertical (nadir). Este hecho, facilita la observación de la misma zona en órbitas sucesivas (los sensores pueden enfocar a cualquier punto situado dentro de un rango de 475 Km. en ambos lados del trazado de la órbita), la orientación del espejo de entrada de cada instrumento puede telecontrolarse desde las estaciones terrenas, permitiendo así observar las regiones particulares que no están necesariamente en la vertical del satélite.

Esta técnica permite aumentar la frecuencia de observación de un mismo punto en el curso de un mismo ciclo. Esta frecuencia varía en función de la latitud: en el ecuador, la

misma región puede ser observada 7 veces durante los 26 días del ciclo orbital. A una latitud de 45°, una región puede ser observada 11 veces durante un ciclo orbital, es decir 157 veces por año, lo que corresponde a un promedio de 2,4 días con un intervalo que se ubica en un máximo de 4 días y un mínimo de 1 día.

La constelación de los satélites Spot aumenta considerablemente esta repetitividad.

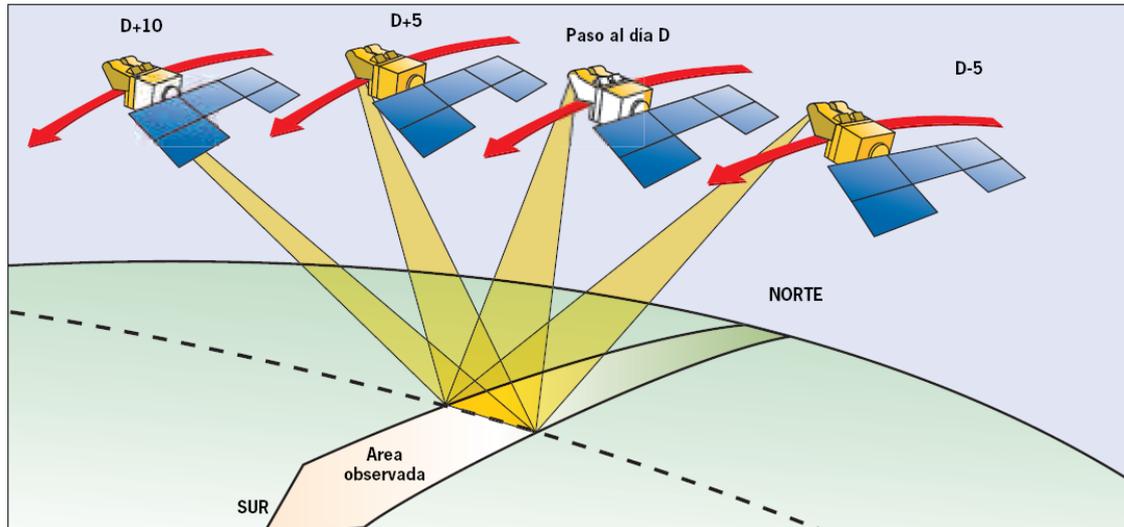


Figura 13: Mejora de resolución temporal en SPOT

Adquisiciones con observación lateral

La adquisición de pares estereoscópicos laterales sigue siendo posible programando dos imágenes de la misma zona del suelo, desde dos órbitas diferentes.

Con tres satélites es teóricamente posible adquirir pares estereoscópicos en el mismo día, utilizando dos de los tres satélites.

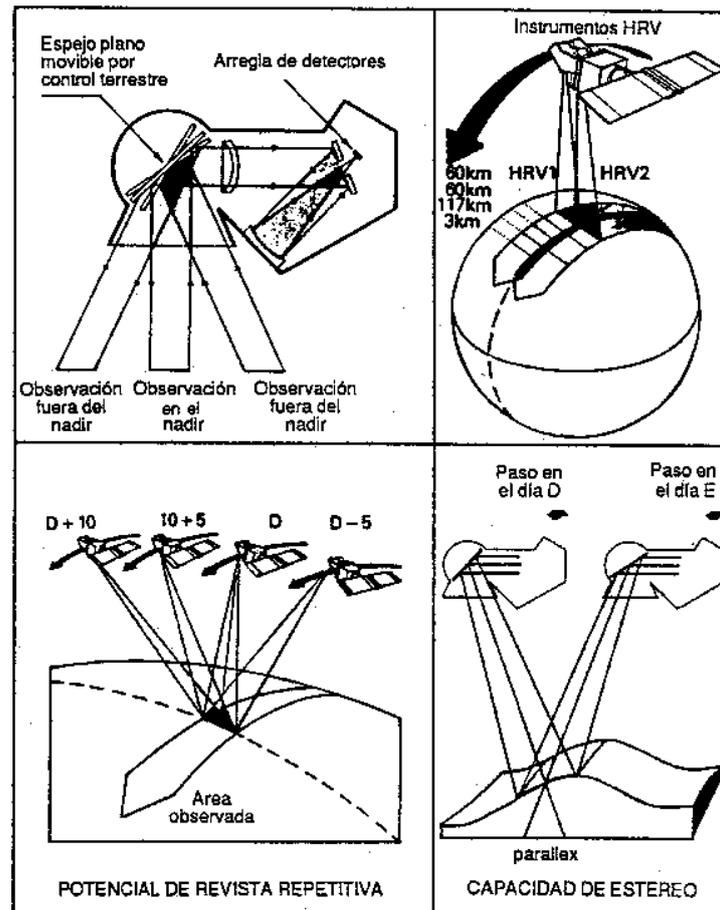


Figura 14: Atributos del sistema SPOT.

Sensores HRS, Vegetation, Doris.

El satélite Spot 5 transporta además un instrumento HRS (Alta resolución estereoscópica) para la adquisición simultánea de pares de imágenes estereoscópicas.

El instrumento HRS (Alta resolución estereoscópica) es un instrumento dedicado a la adquisición de pares estereoscópicos de un corredor de 120 Km. de ancho (ancho de la escena observada centrada en la traza del satélite) por 600 Km. (longitud máxima de una escena), con una banda espectral pancromática de una resolución de 10 m (muestreo a lo largo de la traza: 5 m).

El instrumento HRS (Alta resolución estereoscópica) embarcado en el Spot 5, apunta a la vez hacia adelante y hacia atrás del satélite, permitiendo la adquisición simultánea de dos imágenes de un par estereoscópico.

Dentro del mismo pasaje del satélite, el telescopio delantero (ángulo de observación con inclinación de 20° con relación a la vertical) captura las imágenes del suelo, seguido, un minuto y treinta segundos más tarde por el telescopio trasero (también con ángulo de observación con inclinación de 20°) que cubre el mismo corredor de terreno.

La adquisición simultánea de las dos imágenes constituye una ventaja importante para la calidad y la precisión de los MDE HRS, facilitando en gran medida el proceso automático de correlación por la perfecta similitud radiométrica de las dos imágenes.

La extensión cubierta es particularmente importante: a razón de 72.000 km² por segmento (600 Km. x 120 Km.), es posible archivar al menos 30 millones de km² de datos HRS por año.



Figura 15: Pares estereoscópicos en Spot

El instrumento VEGETATION embarcado en Spot 4 (VEGETATION 1) y en Spot 5 (VEGETATION 2) es un instrumento de observación terrestre de campo amplio (2.250 Km. de corredor con una resolución espacial de 1 Km.) y una alta resolución radiométrica. Utiliza las mismas bandas espectrales que el instrumento de alta resolución HRVIR / HRG (B2, B3 y MIR), a las que se les agrega una banda experimental B0 (0,43-0,47 μm) para las aplicaciones oceanográficas y las correcciones de la atmósfera.

Doris (Determinación de Órbita y Radioposicionamiento Integrados por Satélite): idéntico al embarcado en Spot 2 y 3, este sistema probado a partir de Spot 2, permite determinar, después de un cálculo en tierra, la posición del satélite con una precisión superior a 10 cm. Permite asimismo la determinación de balizas en tierra con la misma precisión. En Spot 4, un software complementario embarcado (experiencia Diode) determina en tiempo real, con exactitud de unas pocas decenas de metros, la posición del satélite con ayuda de la información suministrada por Doris. Esta posición se incluye entre los datos auxiliares que acompañan a la telemedición de la imagen. En Spot 5, el instrumento DORIS acoplado con el sensor estelar da una precisión absoluta de localización mejor que 15 m, sin necesidad de puntos de apoyo.

SENSOR X-MODIS

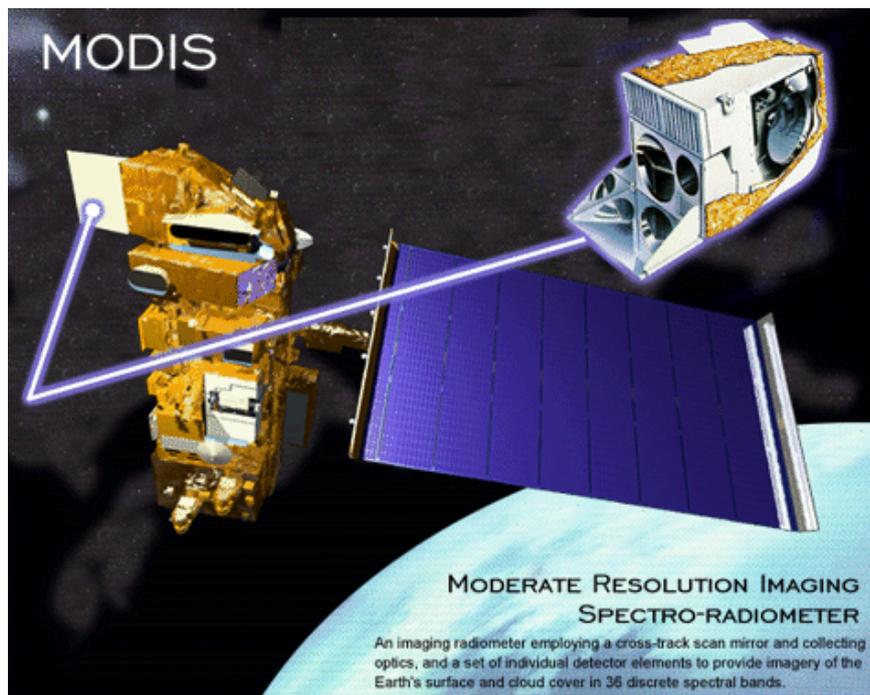


Figura 16: Satellite y Sensor MODIS

El MODIS (MODERate-resolution Imaging Spectroradiometer) es un sensor diseñado para registrar información de grandes regiones (2330 Km.), en 36 bandas espectrales que cubren el rango del visible y se extienden hasta el infrarrojo termal.

21 bandas están en la porción del espectro entre 0.4-3.0 μm y 15 bandas entre los 3-14.5 μm .

Esta información, junto con la de los sensores MISR y CERES permitirá determinar el impacto de las nubes y los aerosoles en el comportamiento del equilibrio de la energía de la tierra. La información captada por el MODIS es ideal para ayudar a comprender la dinámica global de los procesos que ocurren en la tierra, los océanos y en la atmósfera.

El sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) es un instrumento que viaja a bordo de los satélites Terra (EOS a.m.). Lanzado en diciembre de 1999 y del Aqua (EOS p.m.), lanzado en mayo de 2002. La órbita de "Terra" alrededor de la tierra viaja del norte al sur cruzando el Ecuador por la mañana, mientras que el "Aqua" viaja del sur al norte cruzando el Ecuador por la tarde.

Terra-MODIS y Aqua-MODIS cubren la superficie de la tierra cada 1 a 2 días, MODIS está desempeñando un papel vital en el desarrollo de modelos validados y globales capaces de predecir el cambio global que está sufriendo el planeta Tierra y así tomar decisiones sanas referentes a la protección de nuestro ambiente.

Estas imágenes contienen información de alta sensibilidad radiométrica y a tres diferentes resoluciones: 250m, 500m y 1000m. El área de cobertura es de $10^\circ \times 10^\circ$ divididos en "tiles" o cuadros con una cobertura global.



Figura 17: Imagen Modis del Río de la plata

Las especificaciones del sensor MODIS son las siguientes:

- Número de bandas espectrales: 36
- Rango espectral de las 36 bandas: 0.41 - 14.385 μm .
- Resolución espacial:
 - 250 m (bandas 1 - 2)
 - 500 m (bandas 3 - 7)
 - 1000 m (bandas 8 - 36).
- Ancho de barrido: 2330 kilómetros.

SATÉLITE QUICKBIRD

El 18 de octubre de 2001 DigitalGlobe lanzó exitosamente su satélite QuickBird en el vehículo de lanzamiento Delta II de Boeing. En diciembre de 2000, DigitalGlobe había recibido una licencia de NOAA para operar sistemas de satélites a resoluciones desde 0,5 metros. La compañía pudo así modificar sus planes para que el QuickBird aumente la resolución, la cual originalmente estaba prevista en 1 m, a una de 61 cm ajustando la órbita en la cual el satélite estaría girando.

El resultado es que la resolución pancromática fue aumentada de 1 m a 61 cm y la multi-espectral de 4 m a la resolución 2.44 m. El diseño del QuickBird le permite funcionar correctamente a una baja altitud llevando además suficiente combustible de modo que la vida útil de la misión no sea reducida. Esto permite afirmar que el QuickBird es el satélite comercial con la resolución más alta en el mundo.

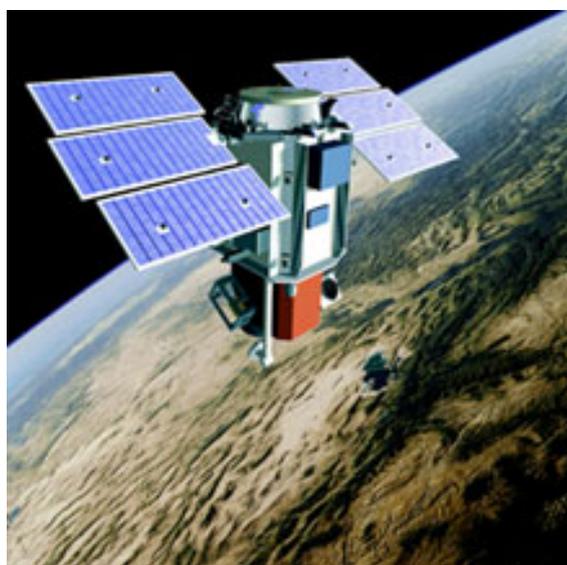


Figura 18: Imagen conceptual del satélite QuickBird

El satélite QuickBird recoge imágenes multi-espectral y pancromáticas concurrentemente, también pueden ser ofrecidos productos Pan-sharpened con 70 cm de resolución compuestos en colores naturales o colores infrarrojos. Pueden ser recogidas tiras de hasta 10 escenas de longitud (165 Km.) en una sola pasada. También se pueden recoger áreas de hasta 2x2 escenas en una sola pasada.

El satélite QuickBird proporciona el ancho más grande de captura, el almacenaje a bordo más grande, y la resolución más alta que cualquier satélite.

Las imágenes del QuickBird permiten observar datos de la superficie terrestre a un gran nivel de detalle pudiéndose visualizar objetos como casas o edificios, vías, automóviles, demarcaciones en el pavimento, aviones en los aeropuertos ... etc. Este tipo de satélites como Ikonos u OrbView están marcando una nueva etapa en la obtención de datos de alta resolución espacial. Los campos de aplicación son múltiples, para nombrar algunos: Catastro rural, Catastro urbano, Determinación de enfermedades en la vegetación, Modelos de elevación del terreno, Trazado de vías, Líneas eléctricas

El QuickBird lleva dos sensores: un sensor pancromático de resolución 61 cm y un sensor multiespectral de resolución de 2.4 m (4 bandas). Los sensores se basan en un

"pushbroom" de exploración. Las imágenes multiespectral y pancromáticas pueden ser adquiridas sobre la misma área y en la misma pasada del satélite. Los datos recogidos del satélite QuickBird tienen una profundidad de píxel de 11 bits. El tamaño de la imagen completa es de 16.5 Km. x 16.5 Km. para los sensores multiespectral y pancromáticos.

Recordemos que un "pushbroom" es una matriz de sensores que recoge imágenes en una pasada rápida sobre una porción de territorio. Esto está en contraste con otros tipos de sensores tales como los sensores fijos y los sensores que giran. Los sensores fijos están orientados hacia una porción de terreno y recogen un valor de la proyección de la imagen. Los sensores que giran recogen datos orientando el sensor hacia una porción del terreno y rotando el sensor recogen solamente la porción del terreno expuesta a la proyección del sensor.

Las principales ventajas son una recolección más eficiente del sensor y el requerimiento de menos "mosaïqueo" para producir productos continuos sobre grandes áreas.

El satélite QuickBird puede inclinarse hacia un lado y hacia el otro para orientar los sensores hacia las áreas de adquisición. Este sistema orientable se basa en volantes de reacción, que aceleran y deceleran para cambiar la orientación del satélite (rotación e inclinación). Para prevenir cualquier impacto negativo en las imágenes, hay un "tiempo de puesta a punto" entre el movimiento del satélite y el inicio de captura de la imagen para prevenir que estas se obtengan "movidas" o "desenfocadas". Este tiempo es medido en milisegundos.



Figura 19: Montaje del QuickBird

El QuickBird es capaz de adquirir imágenes sobre aproximadamente 75 millones de km² en un año (más de 26 veces el tamaño de Argentina).

Lanzamiento: Octubre 18 de 2001, Vandenberg Air Force Base, California

Vehículo: Boeing DELTA II

Altitud Orbital: 450 Km.

Tiempo de Orbits: 93.5 minutos;
 Tiempo de cruce del ecuador (descendente): 10:30 am
 Inclinación 97.2 grados Sincronización Solar
 Ancho Nominal de Pasada 16.5 Km. en el nadir
 Área de interés Simple Escena: 16.5 x 16.5 Km.

Tabla 10: Características del satélite QuickBird

Sensor	Pancromático	Multiespectral
Resolución	Basic : 0.61 m al nadir 0.72 m a 25° off—nadir Standard & Ortorectificados resamplado a 0.7 m GSD	Basic: 2.44 m al nadir 2.88 m 25° off—nadir Standard & Ortorectificados resamplado a 2.8 m GSD
Ancho de banda Espectral	450 -900 nanómetros	Azul: 450 - 520 nanómetros Verde:520 - 600 nanómetros Rojo: 630 - 690 nanómetros Infrarrojo cercano: 760 - 900 nanómetros
Rango Dinámico	11 bits por píxel	11 bits por píxel

Cobertura

La cobertura del satélite QuickBird es mundial.

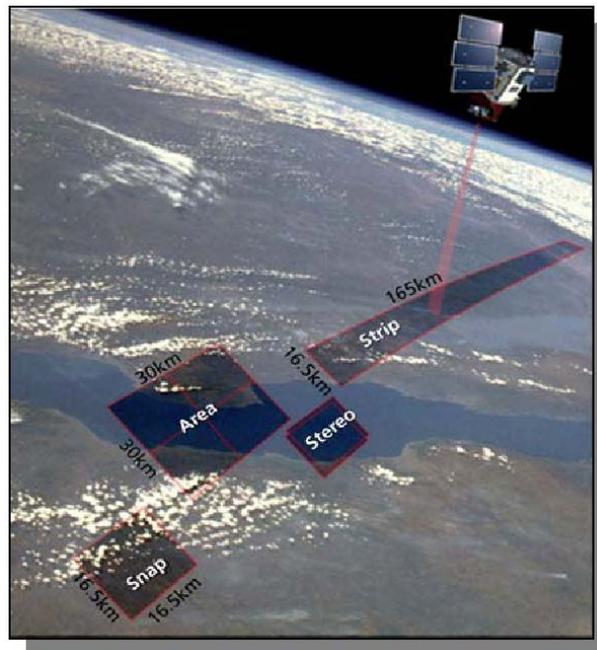


Figura 20: Cobertura de imágenes QuickBird

Niveles de Producto

Los productos pancromático, multiespectral y color, permiten la clasificación superior de la imagen y el análisis basado en las bandas espectrales con una profundidad de la información de 11-bits. Típicamente, los clientes utilizan las 4 bandas para la clasificación y el análisis de las imágenes, mientras que en imágenes pancromáticas, color natural, infrarrojo color y Pan sharpened se utilizan para el análisis visual, para GIS y para usos cartográficos apoyándose en el formato estándar GeoTIFF.

Los productos de imágenes se ofrecen en dos niveles:

1. Productos Basic
2. Productos Standard

Las imágenes pancromáticas se recogen en el formato 11-bits (2048 niveles de grises) y son entregadas en formato de 16 bits para una interpretación superior de la imagen (detalle de sombras, etc.), o en formato de 8 bits (256 niveles de grises) soportados por la mayoría de paquetes cartográficos y de GIS.

Las imágenes multiespectrales constan de 4 bandas: azul, verde, rojo e infrarrojo cercano, entregadas en formato 16 bits y 8 bits.

Las imágenes Pan-Sharpned están disponibles con resolución de 70 cm en color natural (rojo, verde y azul) y con resolución de 70 cm en infrarrojo color (rojo, verde e infrarrojo cercano). Se entregan en formato 8 bits.

Para todas las imágenes se determina la calidad, incluyendo grados de la cobertura de nubes, el grado de calidad podrá ser Excelente, Bueno; Regular; Marginal y Malo.

Productos Basic

Los productos Basic QuickBird son procesados mínimamente y se diseñan para los clientes que han desarrollado habilidades y tienen capacidad para el posterior procesamiento de las imágenes. Los productos Basic, junto con los datos sobre la actitud del satélite provista, las efemérides, y la información del modelo de la cámara fotográfica, son convenientes para el procesamiento fotogramétrico avanzado (por ejemplo la ortorectificación).

Procesamiento

Los productos Basic son corregidos radiométricamente y se corrige además el sensor, pero no son corregidos geoméricamente ni aplicados a una proyección cartográfica y a un elipsoide. Es necesario resaltar que la resolución varía a través del ángulo de inclinación del sensor al momento de adquirir las imágenes. Así la resolución de la imagen para los productos pancromáticos varía entre 61 cm (al nadir) hasta los 72 cm (con un ángulo de 25° de inclinación respecto al nadir), y 2.44 m (al nadir) hasta 2.88 m (con un ángulo de 25° de inclinación respecto al nadir) para productos multiespectrales.

Dentro de los productos Basic no está disponible el Pan Sharpening.

Precisiones

El producto Basic es esencialmente crudo. Cuando la imagen se procesa con los datos de apoyo de la imagen (ISD) provistos, se alcanza una exactitud horizontal en el geoposicionamiento de 14 m RMSE (23 m en el CE90%), excepto cualquier

desplazamiento topográfico. Los productos Basic se pueden procesar por cualquier paquete de software de uso comercial.

Estructura Física

Los productos Basic se entregan en una o más escenas. Cada escena Basic pancromática tiene 27.424 filas por 27.552 columnas después del procesamiento, mientras que la escena Basic multiespectral tiene 6.856 filas por 6.888 columnas. La escena Basic tiene un área aproximada de 272 km² (16,5 x 16,5 Km. al nadir).

Un polígono ordenado que cae enteramente dentro de una sola escena dará lugar a una escena Basic completa que será entregada.

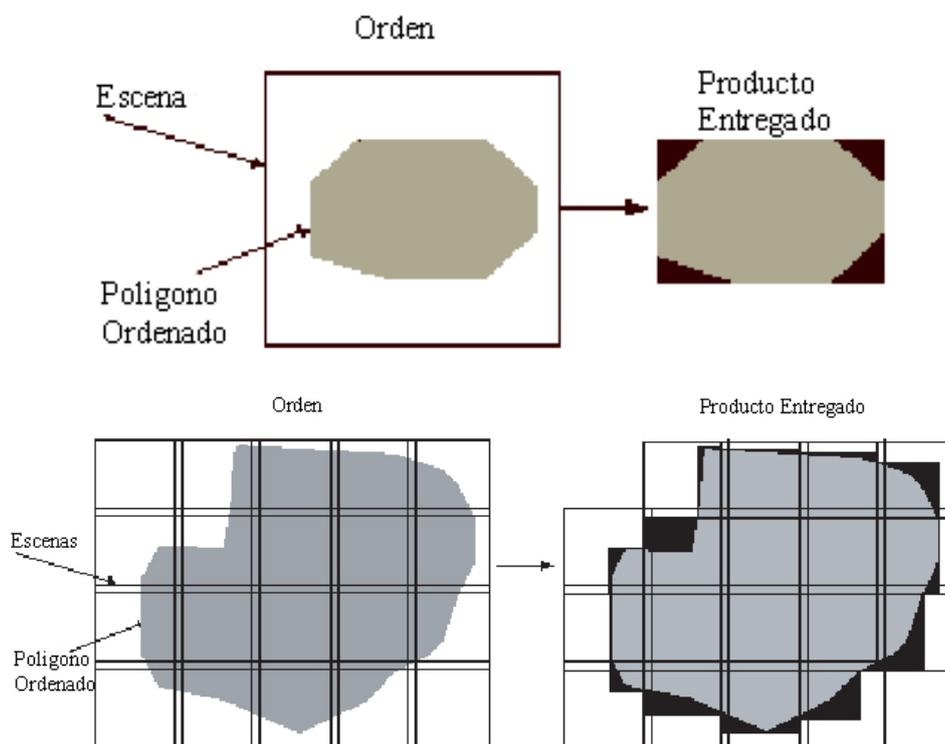


Figura 21: Productos entregados según tipo de pedidos en QuickBird

Un polígono ordenado que interseca varias escenas dará lugar a la entrega de cada escena intersecada completa.

Productos “Standard”

Los productos Standard son convenientes para los usuarios que requieren una cierta precisión absoluta y/o la cobertura de un área menor. Los usuarios de los productos Standard poseen generalmente suficientes herramientas sobre procesamiento de imágenes y conocimiento para manipular y explotar dichas imágenes en una amplia variedad de usos.

Procesamiento

Los productos Standard son corregidos radiométrica y geoméricamente, es corregido el sensor, y tienen aplicada una proyección cartográfica. Los productos Standard están disponibles en Pancromático con 70 cm, Multiespectral con 2.8 m, y a partir del año 2002 están disponibles los productos Pan Sharpened de 70 cm. Todos los productos Standard tienen un espaciamento uniforme del píxel en la totalidad del producto.

Las correcciones geométricas quitan las incertidumbres sobre la posición del satélite en la órbita, sobre su actitud, la rotación y la curvatura de la tierra, y la distorsión panorámica.

Además, es utilizado un DEM para normalizar la topografía con respecto al elipsoide de referencia.

La normalización es relativamente pequeña, por lo que este producto tiene correcciones del terreno pero no puede considerarse ortorectificado.

Si el polígono ordenado corta más de una escena, cada escena será procesada individualmente. Como los productos Standard no son "mosaicados" se entrega una imagen para cada escena intersecada por el polígono ordenado.

Precisiones

Todos los productos Standard tienen una precisión absoluta de geoposicionamiento de hasta 14 m RMSE, excluyendo cualquier desplazamiento topográfico. La ubicación en el terreno es derivada de la información basada en los datos de actitud y de las efemérides sin el requerimiento del uso de los puntos de control de tierra (GCPs).

Estructura Física

Los productos Standard son basados en áreas y se pueden ordenar por el kilómetro cuadrado. Los productos Standard se entregan como un archivo imagen para cada escena que el polígono ordenado interseca. Si el polígono ordenado interseca más de una escena, las imágenes de cada escena se entregan por separado, por lo cual no son mosaicadas para formar una sola imagen, y no serán balanceadas radiométricamente.

Productos Ortorectificados

Los productos ortorectificados resultan ideales como imagen de base para crear y/o revisar cartografía y bases de datos de GIS, o para superponer productos vectoriales. Estos productos también se pueden utilizar para la detección de cambios territoriales y otros usos analíticos en los que requieren un alto grado de precisión absoluta.

Proceso

Los productos ortorectificados son corregidos radiométricamente, el sensor es corregido, ortorectificados, y llevados a una proyección cartográfica y a un datum. Estos productos están disponibles en pancromático con una resolución de 70 cm, multiespectral con la resolución de 2.8 m, o Pansharpened con una resolución 70 cm.

Precisión

Los productos ortorectificados pueden tener una precisión absoluta del geoposicionamiento, que varía a partir 3 a 14 metros de RMSE, dependiendo de la escala de la cartografía. La posición en tierra se mide con relación a la información basada en la actitud del satélite y de las efemérides con o sin puntos de control terrestre dependiendo de la escala final de la cartografía.

Opciones de Productos

Productos Pancromáticos

Los productos pancromáticos QuickBird (negro y blanco) tienen una resolución de 61 cm (al nadir) y una profundidad de la información recogida de 11-bits. El sensor pancromático recoge la información en las longitudes de onda visibles e infrarrojo cercano y tiene un ancho de banda de 450 – 900 nm. La salida del producto pancromático varía con el nivel del producto. Las imágenes Basic se entregan tal cual los datos fueron recogidos (desde los 61 centímetros al nadir hasta los 72 centímetros a 25° de inclinación), mientras que los productos Standard son resamplados a 70 centímetros.

Productos Multiespectrales

Los productos multiespectrales QuickBird proporcionan cuatro bandas espectrales discretas y sin superposiciones y una profundidad de la información recogida de 11-bits. Los productos multiespectrales cubren las longitudes de onda visibles e infrarrojo cercano en 4 bandas. Las cuatro bandas se entregan en un archivo.

La salida del Producto Multiespectral varía con el nivel del producto. Los productos Basic se entregan tal cual los datos fueron recogidos (desde 2.44 m a 2.88 m), mientras que los productos Standard son resamplados con un píxel de 2.8 m.

Productos Pancromático + Multiespectrales (Bundle)

El satélite QuickBird recoge imágenes multiespectrales y pancromáticas simultáneamente, por lo tanto los clientes tienen la opción de ordenar ambos productos para una misma área. Cuando un cliente selecciona la opción “Bundle”, los productos se procesan con el mismo nivel de producto, con los mismos parámetros de producto, y se entregarán como dos productos distintos (uno conteniendo las imágenes pancromáticas y el otro conteniendo las 4 bandas multiespectrales).

Productos Pan-Sharpended Color

Los productos QuickBird estarán también disponibles en dos opciones pan-sharpened color de 3 bandas de 70 cm.

- Combinación de Color Natural (azul, verde, rojo)
- Combinación de Color Infrarrojo (verde, rojo, infrarrojo)

Estos productos combinan la información visual de las tres bandas multiespectrales de 2.8 m, con la información espacial de la banda pancromática de 70 cm. Los Productos Color de 70 cm están disponibles solamente como Productos Standard, (solamente en opción en 8 bits)

IKONOS

El satélite IKONOS es el primer satélite de tipo comercial que posibilita la captación de imágenes con un metro de resolución espacial. El término "IKONOS" proviene del griego y significa "imagen".



Figura 22: satélite IKONOS

Estas imágenes son consecuencia directa de la liberación tecnológica promovida en 1994 por el gobierno de los Estados Unidos de América. Anteriormente a esa época esta tecnología estaba disponible para satélites con fines militares.

IKONOS colecta información de cualquier área en promedio dos veces al día, cubriendo áreas de 20,000 km² en una misma pasada y produciendo como resultado imágenes de 1 metro de resolución cada tres días y de 2 m de resolución todos los días.

El satélite IKONOS pesa unos 720 Kg. y órbita la Tierra cada 98 minutos a una altitud de casi 680 Km. en forma sincronizada con el Sol, pasando sobre un determinado lugar aproximadamente a las 10:30 a.m. hora local. La órbita cubierta por el satélite se concentra lejos del área directamente debajo del recorrido del mismo, y los datos de un lugar determinado puede ser captados casi diariamente, si bien no en todos los casos con 1 m de resolución. El satélite fue diseñado y fabricado por la empresa Lockheed Martin Commercial Space Systems.

La empresa Raytheon Company construyó los sistemas de apoyo terrestre, geoprocesamiento digital, manejo de archivos y servicio al cliente, requerido para distribuir la información captada por IKONOS.

El sensor digital de imágenes del satélite está diseñado para producir imágenes con elevado contraste, resolución espacial y precisión, brindando a los clientes un producto preciso y nítido. La compañía Eastman Kodak proveyó el mecanismo electro-óptico, incluyendo su ensamble con el telescopio óptico, los detectores y su ajuste al plano focal, incluyendo asimismo el mecanismo de procesamiento electrónico de alta velocidad basado en un diseño efectuado por Space Imaging. Resultando todo un suceso, las imágenes de alta resolución del satélite IKONOS son una grata realidad y están revolucionando el

mercado satelital. Anteriormente, ningún satélite comercial logró conseguir un nivel de detalle semejante.

Principales características de satélite:

Fecha de lanzamiento del satélite: 24/09/99

Lugar de lanzamiento: Vandenberg Air Force Base, California /USA

Altitud: 681 Km.

Inclinación: 98.1°

Velocidad: 7km/s

Sentido de la órbita: descendente

Duración de la órbita: 98 minutos

Tipo de órbita: sincrónica con el sol

Angulo de visada: rápida alternancia entre diferentes ángulos

Tiempo de revista: 1 a 3 días

Resolución en el terreno de cada banda:

Pancromática: 1m (considerando posición nominal de 26° para el nadir)

Multiespectral: 4m (considerando posición nominal de 26° para el nadir)

Bandas espectrales

Pan: 0.45 - 0.90 μm

Azul: 0.45 - 0.52 μm

Verde: 0.52 - 0.60 μm

Rojo: 0.63 - 0.69 μm

Infrarrojo próximo: 0.76 - 0.90 μm

Rango Dinámico: posibilita que la información sea almacenada en 11 bits por píxel, con lo cual redonda en un mayor rango dinámico que facilita el contraste y discriminación de la información.

No obstante, los productos pueden ser entregados al usuario en 8 bits por píxel.

Productos IKONOS

GSP ofrece una diversidad de productos relacionados con imágenes captadas por el poderoso satélite IKONOS, incluyendo imágenes de diferentes resoluciones:

Pancromática 1-metro: posibilita a los usuarios distinguir rasgos con dimensiones tan pequeñas como 1 m.

Color Multiespectral 4-metros: posibilita a los usuarios distinguir rasgos con dimensiones tan pequeñas como 4 m, a partir de información tomada en tres bandas del espectro visible (azul, verde, rojo) e infrarrojo.

Pan-Sharpned: este producto combina digitalmente las imágenes pancromáticas de 1 metro de resolución con las imágenes multiespectrales de 4 metros, resultando un nuevo producto que presenta la ventaja de contar con una resolución de 1 m y con la alta resolución espectral (mayor discriminación) de las bandas del visible y/o infrarrojo, lo cual la convierte en un producto muy superior a cualquiera imagen de los satélites actualmente operacionales.



Imagen de 1m: Pancromático



Imagen de 4m: Multiespectral



Imagen de 1m: Color

Figura 23: Fusión de imágenes en Ikonos

Niveles de procesamiento

Ikonos Geo
 Ikonos Ortorectificadas
 Precision Plus
 Precision
 Pro
 Map
 Reference

Ikonos Geo

Es un producto que define el futuro de las imágenes de alta resolución; está disponible tanto para imágenes pancromáticas (1 m de resolución) como para imágenes color o multiespectrales de 4 m de resolución, lo cual resulta excelente para una variedad de análisis y aplicaciones que requieren bandas multiespectrales.

Actualmente es el producto de mayor resolución y bajo costo, fácil y rápido de visualizar. Es ideal para respuesta a emergencias, interpretación y monitoreo de cultivos, manejo de desastres, etc., que requieren reportes inmediatos. También para aquellos clientes que no cuentan con la tecnología necesaria para procesar por sí mismo las imágenes.

Las imágenes son geoméricamente corregidas con un error estándar (RMSE) de 25 metros, excluyendo los efectos de desplazamiento del terreno causados por el relieve. Este proceso de corrección remueve las distorsiones de las imágenes introducidas por los procesos de capturas y re-muestrea las imágenes a una proyección de mapas escogida por el usuario; diferentes tipos de proyecciones están disponibles (UTM, TM, Gauss Krüger, etc.). Este producto no incluye las tareas de unión o mosaicos de diferentes imágenes.

Este producto es de fácil utilización por parte de los usuarios, con o sin experiencia en procesamiento de imágenes.

Ikonos Ortorectificadas

Se trata de imágenes con precisiones de mapa métricas. Comparativamente, son productos menos costosos y de obtención más rápida que las tradiciones ortofotos aéreas.

Los procesos de ortorectificación remueven las distorsiones introducidas por la variabilidad y geometría de relieve y re-muestran las imágenes en una proyección de

mapas escogida por el usuario. Incluye el proceso de unión o mosaicos de diferentes imágenes.

Estos productos están disponibles en un amplio rango de niveles de precisión métrica, tanto para imágenes pancromática, color o multiespectrales y pan-sharpened:

Precision Plus

Es el producto más moderno para catastro urbano, planificación urbanística y aplicaciones GIS que requieren la más alta precisión geoposicional. Este producto es producido con puntos de control y un modelo de elevación digital; tiene un error (RMSE) de 1 metro, adecuado para relevamientos en escala 1:2.500.

Precision

Es el producto Premium, ideal para mapeo urbano, mapeo catastral y aplicaciones GIS que requieren una alta precisión geoposicional. Este producto es producido con puntos de control y un modelo de elevación digital; tiene un error (RMSE) de 2 metros, adecuado para relevamientos en escala 1:5.000.

Pro

Es el producto adecuado para organismos gubernamentales locales, telecomunicaciones y servicios públicos que desarrollan aplicaciones tales como planificación de transporte e infraestructura, planificación de servicios públicos, desarrollos económicos y evaluaciones de sitios en general. Este producto tiene un error (RMSE) de 5 metros, adecuado para relevamientos en escala 1:10.000.

Map

Es adecuado para organismos gubernamentales provinciales y regionales, telecomunicaciones y servicios públicos, agricultura, forestal, geología y para aplicaciones de servicios públicos, tales como planificación de infraestructura, manejo de recursos, impacto ambiental, etc. Este producto tiene un error (RMSE) de 6 metros, adecuado para relevamientos en escala 1:25.000.

Reference

Es adecuado para relevamiento de grandes áreas y aplicaciones GIS que requieren menor precisión geoposicional. Este producto puede ser de interés para organismos gubernamentales provinciales y regionales y otras empresas, y son de gran utilidad para relevamientos de todo tipo en escala 1:50.000. Tiene un error (RMSE) de 12 metros.

Aplicaciones y ventajas de las imágenes IKONOS

Las imágenes IKONOS están revolucionando actualmente las formas de utilización de los productos satelitales. Por el hecho de ser IKONOS el primer satélite comercial que brinda un producto de 1 m de resolución espacial, tenemos la posibilidad de definir los tipos de estándares para imágenes de alta resolución. A través de estas imágenes, se ofrece más que simples datos, ya que brinda valiosa información que ayudará a nuestros clientes a tomar decisiones sobre la base de un cubrimiento diario.

A través de la utilización de productos elaborados por IKONOS y otros satélites tales como LANDSAT, actualmente es posible que:

Los agricultores pueden monitorear con mayor precisión la condición y vitalidad de sus cultivos y predecir con mayor acierto sus volúmenes de cosecha; además, pueden prevenir problemas y ahorrar importantes sumas de dinero a través de su determinación en estados tempranos.

Los científicos ambientalistas pueden predecir tendencias en áreas de elevada fragilidad ambiental. Los funcionarios de gobierno pueden monitorear, evaluar y planificar políticas de tipos específicos de utilización de la tierra.

Los planeadores urbanísticos pueden evaluar los avances de planes comunales de viviendas y las compañías de seguros pueden medir y mapear daños a propiedades luego de desastres naturales.

Los geólogos ya no necesitarán recurrir a vuelos fotográficos para interpretaciones geológico- estructurales. A partir de la posibilidad que ofrece IKONOS de generar productos con elevado nivel de resolución y recubrimiento estereoscópico, estas imágenes resultan comparativamente más ventajosas que las fotografías aéreas. Entre las ventajas merecen citarse:

Mejor calidad métrica y geométrica ya que las fotografías aéreas originalmente no son productos geoméricamente corregidos. Con los productos de IKONOS es posible obtener una ortoimagen que cubra totalmente el área de interés, a partir de sólo unos pocos puntos de control terrestre, reduciendo así considerablemente el tiempo de procesamiento. Dichos puntos de control pueden seleccionarse a partir de información precisa ya existente (intersección de caminos, líneas sísmicas, pozos de petróleo, obras de infraestructura, etc.).

No requieren procesos de mosaicos

Mantienen uniformidad de tonalidades y contraste relacionadas con la estabilidad de las condiciones atmosféricas durante el período de captura del satélite.

Posibilitan la visualización e interpretación estereoscópica tradicional, más la posibilidad de realizar estéreo análisis digital

A diferencia de las fotografías aéreas, no requieren superposición lateral con lo cual se optimiza el costo de los pares, a la vez que se facilita el manejo de los mismos y la consecuente interpretación.

La interpretación estereoscópica digital facilita el relevamiento y la integración de la información en una base de datos georeferenciada, posibilitando la superposición y el modelado espacial.

Permite la utilización de diferentes combinaciones de bandas espectrales, incluyendo productos en infrarrojo, lo que aumenta considerablemente las capacidades de diferenciación y discriminación.

Resultan más versátiles y menos costosas en el momento de extracción de información mediante procesamientos digitales, tanto con filtrados direccionales para detección de estructuras, como clasificaciones o relaciones de bandas orientadas a discriminación litológica.

Posibilitan la obtención de cartografía de alta calidad en diferentes escalas y combinaciones de bandas, a partir de composiciones de mapas que incluyen diferentes capas temáticas superpuestas, símbolos cartográficos, leyendas, etc.

GEOEYE -1

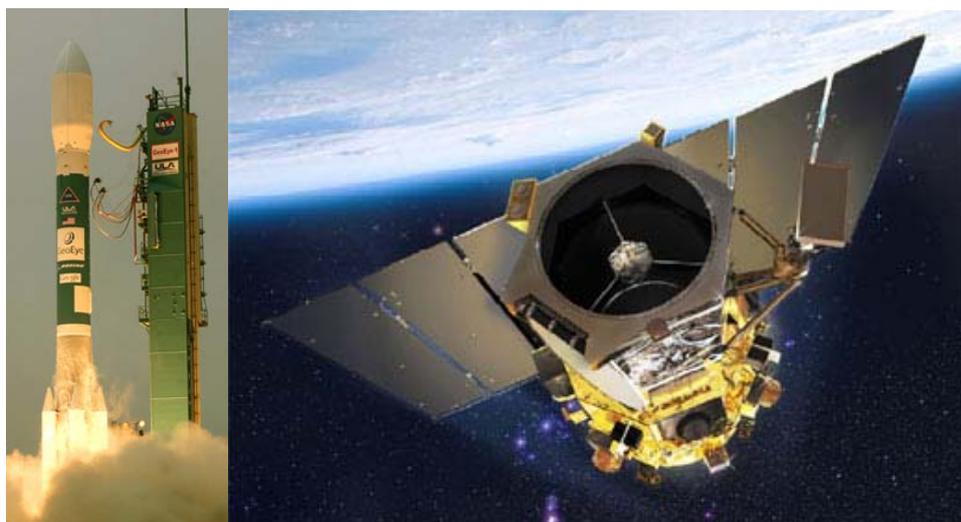


Figura 24: Satelite GeoEye -1

La empresa GeoEye de Virginia (EE.UU) fue el contratista principal para desarrollar la totalidad del sistema satelitario GeoEye-1.

El satélite de 1959 kg de peso, fue lanzado el 6 de Septiembre de 2008. y es considerado, “el satélite comercial con la más alta resolución del mundo”.

GeoEye-1 está equipado con la tecnología más sofisticada jamás usada hasta el momento en sistemas de satélites comerciales. ofrece una resolución espacial simultánea sin precedente, adquiriendo imágenes de 41 centímetros en modo pancromático y 165 centímetros en modo multiespectral.

El satélite puede obtener hasta 700.000 km² de imágenes, por día, en modo PAN y hasta 350.000 km² en modo MS (multiespectral). Esta capacidad es ideal para mapear proyectos de gran envergadura. GeoEye-1 puede volver a obtener imágenes sobre cualquier punto sobre la tierra una vez cada tres días y en algunos casos aún en menor tiempo.

Capacidades Técnicas del Satélite

Es un Satélite de órbita polar, GeoEye-1 hace 15 órbitas por día volando a una altitud de 684 kilómetros con una velocidad de orbita de alrededor de 7,5 km por segundo ó 27.200 km/hora. Su órbita sincrónica con el sol le permite pasar sobre una zona determinada alrededor de las 10:30 de la mañana (hora local), cada día.

La totalidad del satélite es capaz de girar rápidamente en su órbita apuntando la cámara en las áreas terrestres que se encuentran directamente debajo del mismo, de lado a lado y de adelante hacia atrás. Esta característica le permite obtener mayor cantidad de imágenes durante la misma pasada.

El detalle y la precisión de las imágenes del GeoEye-1 expandirán las aplicaciones de imágenes satelitarias en el mercado comercial y gubernamental.

GeoEye categoriza sus productos de imágenes satelitales de acuerdo a la resolución y la exactitud posicional, el cual es un cálculo de la proximidad de la localización del objeto referente a su verdadera posición respecto de superficie de la tierra.

Productos GeoEye

Se pueden elegir los siguientes productos de imágenes disponibles:

- Geo
- Geo Professional
- Geo Stereo
- Productos derivados de estas imágenes, incluyendo DEMs (modelos de elevación digital) y DSMs (modelos de superficie digital), mosaicos de grandes áreas y mapas caracterizados.

Geo

Es un producto que define el futuro de las imágenes de alta resolución; está disponible tanto para imágenes pancromáticas de (50 cm y 1 m de resolución) como para imágenes color o multiespectrales de 4 m de resolución, lo cual resulta excelente para una variedad de análisis y aplicaciones que requieren bandas multiespectrales.

Geo es un producto para el análisis visual e interpretativo. Sirve para la detección de cambios; vigilancia y supervisión de lugares, etc. Incluye RPC.

Geo Professional:

Este productos sirve para el mapeo regional de grandes áreas; aplicaciones generales de GIS, mapeo básico, usos de suelo, desarrollo económico, análisis de propiedades inmobiliarias y seguros. Posee alta precisión posicional para aplicaciones urbanas. Es ideal para análisis detallado urbano, catastral ,mapeo de infraestructura para transporte, infraestructura y planificación de servicios públicos.

Características: Orthorectificado con DEM existente, sin GCPs.

Geo Stereo:

Este producto permite generar DEM para luego ortorectificar. Permite analizar planicies de inundación , contribuye a mejorar la ingeniería en el transporte, infraestructura , planeamiento de servicios públicos y desarrollo económico.

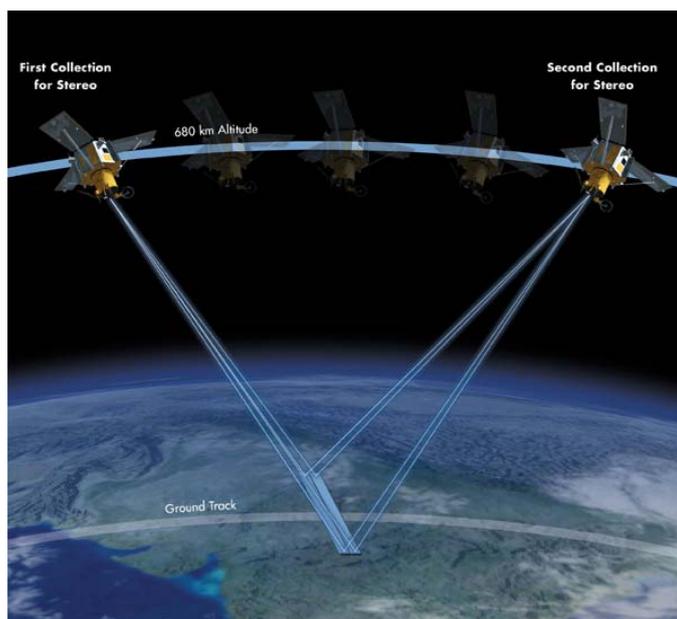


Figura 25: Geometría de obtención de datos Geo Stereo en GeoEye -1

KOMPSAT-2

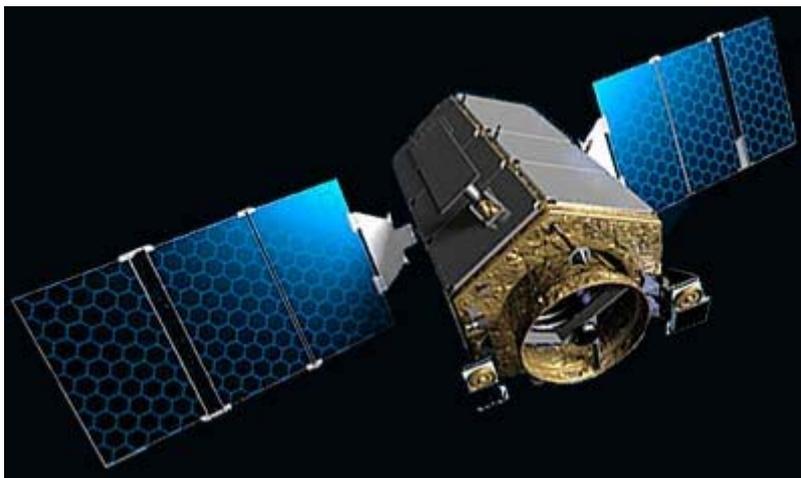


Figura 26: Satelite Kompsat-2

KOMPSAT-2 (Korean MultiPurpose SATellite), el satélite de Muy Alta Resolución (MAR) del KARI (Instituto Coreano de Investigación Espacial) fue lanzado con éxito el 28 de julio de 2006.

Spot Image, es el distribuidor de imágenes KOMPSAT-2, ofreciendo así un acceso facilitado y privilegiado a una gama única de datos desde la Muy Alta Resolución hasta el campo amplio:

KOMPSAT-2 proporciona imágenes en blanco y negro (Pan) a 1 m de resolución, así como imágenes en color (MS) compuestas de 4 bandas de espectro visible (azul, verde, rojo) y el próximo infrarrojo con 4 m de resolución. La adquisición simultánea de imágenes Pan y MS permite, en estándar, la creación de imágenes fusionadas con 1 m de resolución. La cobertura de las imágenes es de 15 x 15 Km.

Características de las imágenes KOMPSAT-2

Capta imágenes Pancromáticas (Pan) y Multiespectrales (MS) separadas, pudiendo adquirirse en Bundle. (Ambas para una misma zona – para fusionar).

Escala cartográfica Típica Hasta 1:2 000

Revisita / Angulo de objetivo Período de 28 días

Plazo de revisita de 3 días con un ángulo de inclinación de 30°

Ángulos visuales lateral y adelante-atrás: +/- 45°

Programación Sí Posibilidad de adquisición simultánea de imágenes pancromáticas y multiespectrales

Dinámica de la imagen 10 bits/píxel

Niveles de pretratamiento Del bruto al ortorectificado

Gracias a su gran capacidad de cobertura y su resolución, KOMPSAT-2 atiende más eficazmente cualquier exigencia de cartografía detallada (1:5 000 a 1:2 000).

La muy alta resolución espacial de KOMPSAT-2 resulta particularmente útil en tareas de reconocimiento. Al estar perfectamente adaptada a las informaciones estratégicas

y operativas, esta resolución permite identificar y la caracterizar sitios sensibles, así como reconocer e identificar materiales civiles y militares.

Tabla 11: Características de los satélites KOMPSAT

SENSOR	RESOLUCIÓN	RESOLUCIÓN	RESOLUCIÓN	ANCHO
	ESPECTRAL(μm)	ESPACIAL(m)	RADIOMETRICA.(bits)	BARRIDO(Km.)
PAN	0,45 – 0,90 μm	1	10	15 x15
Multiespectral	B1 : 0,45 – 0,52 μm			
	B2 : 0,52 – 0,60 μm	4	10	15 x 15
	B3 : 0,63 – 0,69 μm			
	B4 : 0,76 – 0,90 μm			

Tabla 12: Bandas espectrales y su utilización en KOMPSAT

0,45 – 0,90 μm (Pancromática)	Localizan, identifican y miden accidentes superficiales y objetos, principalmente por su apariencia física.
B1 : 0,45 – 0,52 μm (Azul)	Cartografía de aguas someras, Diferenciación de suelo y vegetación.
B2 : 0,52 – 0,60 μm (Verde)	Diferenciación de la vegetación por su salud
B3 : 0,63 – 0,69 μm (Rojo)	Diferenciación de la vegetación por especies
B4 : 0,76 – 0,90 μm (Infrarrojo C)	Cartografía de la vegetación
	Cartografía del vigor/salud de la vegetación
	Diferenciación de la vegetación por especies

SATÉLITE ARGENTINO SAC-C

El SAC-C es el primer satélite argentino de observación de la tierra lanzado el mes de noviembre del año 2000, es el resultado del proyecto de cooperación entre la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) de Argentina, la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) de Estados Unidos, Italia, Brasil, Francia y Dinamarca.

El SAC-C, tiene por objetivo realizar estudios del ecosistema terrestre y marino, monitorear los contenidos de vapor y los perfiles de temperatura de la atmósfera, determinar la variabilidad de la estructura atmosférica, proveer observaciones de alta precisión del campo magnético terrestre, y realizar mediciones de las variaciones del campo gravitatorio, de fundamental importancia en el estudio del movimiento de los casquetes polares y la circulación oceánica.

El objetivo general es la observación de la Tierra desde el espacio y la distribución de los datos para la atención de los problemas nacionales en las áreas mencionadas.

Para la definición de la misión se convocaron diversos talleres de usuarios a fin de conocer, con la mayor precisión posible, sus necesidades. Los resultados de estas consultas fueron la base para la definición de los requerimientos de la misión.

La misión SAC-C consiste básicamente en: un satélite multipropósito diseñado para cubrir los requerimientos típicos de una misión de teleobservación, el segmento terreno para el control de la misión, un segundo segmento terreno ubicado en Falda del Carmen (Córdoba) para la recepción, procesamiento, archivo y distribución de los datos científicos provenientes del satélite y una serie de al menos tres estaciones terrenas de bajo costo, distribuidas estratégicamente, para cubrir completamente el Territorio Nacional, que estarán destinadas a recibir los datos en tiempo real.

Las imágenes de baja resolución, a ser recibidas a través de las estaciones de bajo costo, serán transmitidas a tierra sin restricciones en el territorio nacional y podrán ser recibidas mediante las antenas citadas por todos los institutos de investigación, universidades, escuelas y asociaciones intermedias que lo deseen.

En virtud de la gran cobertura de las imágenes obtenidas con el SAC-C, el sistema se orienta principalmente al estudio de las economías regionales, sin particularizar en situaciones puntuales.

Es por ello que la contribución a un manejo más eficiente del sistema agropecuario, el desarrollo de metodologías de monitoreo y control de la desertificación en las zonas semiáridas, o la evaluación de las inundaciones en la pampa húmeda, significarán sin dudas una contribución significativa al conocimiento del ecosistema y al manejo de los recursos del país.

Descripción de la Misión SAC-C

El Plan Espacial Nacional "Argentina en el Espacio 1995-2006", fija objetivos que rigen las acciones y proyectos de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). Y establece que sólo se realizarán proyectos satelitales que cumplan el objetivo de "proveer a través de misiones satelitales propias, las plataformas, cargas útiles y servicios para satisfacer requerimientos específicos de nuestro país en las áreas de teleobservación, comunicaciones y ciencias básicas, que no se ven satisfechos por la oferta

de sistemas existentes". Con esta premisa, la CONAE encaró el diseño, construcción y puesta en órbita del SAC-C, el primer satélite argentino de observación de la Tierra. Su lanzamiento se realizó el 21 de noviembre de 2000, con un lanzador Delta 7320, desde la Base Aérea de Vandenberg, en California, Estados Unidos.

La misión del satélite argentino SAC-C es todo un éxito. Día a día observa nuestro planeta y con sus cámaras produce imágenes del territorio argentino, que se utilizan en agricultura, para estimar cosechas, evaluar la productividad de un campo o detectar plagas; y en el estudio del medio ambiente terrestre y marino. Los datos que provee el SAC-C son fundamentales para el manejo, control y recuperación de las áreas afectadas, en caso de catástrofes como incendios, inundaciones o derrames contaminantes en aguas costeras. En su misión científica, el satélite argentino obtiene datos que se utilizan para monitorear la temperatura y contenido de vapor de agua de la atmósfera, medir el campo magnético terrestre, estudiar la estructura y dinámica de la atmósfera e ionosfera y determinar componentes de onda larga del campo gravitatorio terrestre. También se ensayan novedosos desarrollos tecnológicos, que permitirán mejorar futuras misiones espaciales, como por ejemplo el dispositivo para estudiar los efectos de la radiación espacial en componentes electrónicos de nueva generación, es decir, los "chips" que llevarán los próximos satélites.

El Centro de Control de la misión SAC-C está ubicado en la Estación Terrena Córdoba del Centro Espacial Teófilo Tabanera (CETT). Desde allí se realizan las maniobras de mantenimiento de órbita y demás operaciones del satélite, y también se reciben los datos que el SAC-C envía diariamente, para luego distribuirlos a los usuarios que los requieran.

Características del SAC-C:

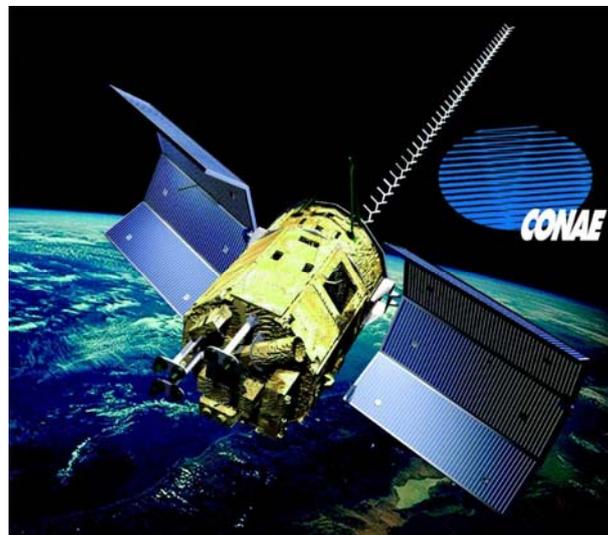


Figura 27: Satélite SAC-C

Peso: 485 kilogramos.

Dimensiones Base: 1,85 m x 1,68 m. Altura: 2,2 m.

Altura de la órbita: a 705 Km. de la Tierra. Un sistema de propulsión abordo garantiza el mantenimiento de la órbita requerida.

Tipo de órbita: circular, cuasi polar helio-sincrónica.

Hora de pasada del satélite: (hora local del nodo descendente) 10:15 AM +/- 30 segundos.

Vida útil: un mínimo de 4 años

Lanzamiento: el 21 de noviembre de 2000, desde Vandenberg (California), Estados Unidos, a cargo de la National Aeronautics and Space Administration (NASA)

Carga útil del SAC-C:

El satélite de teleobservación argentino tiene tres cámaras y siete instrumentos, que son los siguientes:

Una cámara multiespectral de resolución media (Multispectral Medium Resolution Scanner - MMRS), desarrollada por CONAE. Tiene múltiples usos, especialmente para monitoreo de agricultura, forestación, relevamiento de aguas costeras e interiores, etc.

Una cámara pancromática con resolución de 35 metros (HRTC) y una cámara de alta sensibilidad (HSC) también desarrollada por CONAE.

Un sistema de recolección de datos ambientales (DCS) para obtener información de numerosas estaciones automáticas que se distribuirán en todo el país.

Un receptor GPS de posicionamiento global (Gps Occultation and Passive reflection Experiment-GOLPE), provisto por el JPL/ NASA para medir el campo gravitatorio terrestre y mapear los perfiles de temperatura y humedad de la atmósfera.

Un conjunto de magnetómetros para mediciones escalares y vectoriales del campo magnético terrestre (Magnetic Mapping Payload - MMP) desarrollado y construido por un consorcio formado por NASA/JPL y el Danish Space Research Institute (DSRI), con una antena de 8 metros de largo, que se desplegó en una delicada operación una vez que el satélite estuvo en órbita (ver infografía).

Un instrumento francés para determinar el efecto de partículas de alta energía en componentes electrónicos ("chips") de última generación (ICARE).

Dos instrumentos provistos por Italia, el IST, instrumento experimental de navegación que permite conocer la altitud del SAC-C y su "actitud" en órbita, al comparar los datos de su sensor de estrellas con los de un catálogo estelar en su memoria. El INES es otro instrumento italiano experimental de navegación, que no trabaja con las estrellas sino con la red mundial de satélites de "posicionamiento global". Está formado por dos subsistemas: el GPS Tensor y el GPS Lagrange.

Un experimento argentino para determinar la ruta migratoria de la ballena Franca Austral (Whale Tracker)

Las capacidades del SAC-C

La sensibilidad de la cámara multiespectral (MMRS) a las distintas bandas del infrarrojo permite conocer la salud de las plantas y predecir los resultados de las cosechas. Por esta misma capacidad, el SAC-C puede monitorear el avance de la desertización de suelos que afecta a nuestro país.

La cámara de alta sensibilidad (HSC) permite no sólo observar la superficie terrestre de noche, sino detectar focos de incendios en bosques aislados.

En la banda de luz visible, el SAC-C es ideal para estudios costeros y de contaminación de aguas y suelos.

El satélite argentino evalúa recursos hidroenergéticos, como el agua caída en la alta cuenca del Paraná o la nieve acumulada en las cumbres que alimentan el Río Limay, y puede determinar áreas vulnerables a inundaciones.

En las bandas altas de luz visible, el SAC-C puede estudiar recursos geológicos y mineros.

Las Cámaras de teleobservación del SAC-C:

Multiespectral (MMRS)

Pancromática (HRTC)

Alta Sensibilidad (HSC)

Cámara MMRS

La Cámara MMRS - Barredor Multiespectral de Mediana Resolución (Multispectral Medium Resolution Scanner), es un barredor electrónico diseñado para estudiar ecosistemas terrestres y marítimos. Este sensor detecta la radiación proveniente de la superficie de la Tierra en cinco bandas del espectro electromagnético, especialmente seleccionadas para satisfacer las necesidades de los usuarios argentinos, que utilizan esos datos para conocer los usos de la tierra o las características de aguas costeras e interiores, por ejemplo.

La resolución de las imágenes MMRS es de 175 metros, con un ancho de barrido de 360 kilómetros. La resolución del SAC-C es ideal para las actividades agropecuarias y marítimas de la Argentina, ya que provee la cantidad justa de información, necesaria para estudiar grandes extensiones de territorio, como nuestras costas o nuestros campos.

Se llama "resolución" a la medida del objeto más pequeño que puede distinguir el sensor, o dicho en otras palabras, es el área que representa cada píxel en el terreno... Según las aplicaciones puede requerirse distinta resolución espacial. Para detectar detalles en áreas pequeñas se necesita alta resolución, y en cambio en los océanos, donde se producen fenómenos a gran escala, es necesario tener una cobertura mayor.

La revisita natural del SAC-C es de 16 días, período que puede acortarse. La transmisión de datos del satélite a la estación terrena se realiza en tiempo real, y cuando es requerido, el SAC-C almacena imágenes y datos auxiliares en el grabador de estado sólido que lleva a bordo. La capacidad del grabador para almacenar imágenes depende de la relación de compresión lograda, que a su vez es función de la entropía de las mismas.

Tabla 13: Ficha técnica de la Cámara MMRS

Geometría			
Resolución espacial	175 metros en ambas direcciones		
Ancho de barrido	360 Km. Y unos 5000 Km. de longitud.		
Precisión geométrica	mejor que 1 píxel especificada (0.5 píxel deseada)		
Coregistración entre bandas	< 0.5 píxel		
Coregistración multitemporal	1 píxel		
Radiometría			
	Banda #1	480 - 500 nm	azul verdoso
	Banda #2	540 - 560 nm	verde
	Banda #3	630 - 690 nm	rojo
	Banda #4	795 - 835 nm	Infrarrojo cercano (NIR)
Bandas MMRS	Banda #5	1550 - 1700 nm	IR medio de onda corta (SWIR)

Las dimensiones del píxel se mantienen constantes fuera del nadir y solamente presentarán mínimas variaciones (< 1%) debido a la actitud del satélite.

Por tratarse de un barredor tipo "pushbroom", la MMRS tiene un ancho de barrido constante de 360 Km. El largo de la imagen depende solamente de los instantes de inicio y fin de la toma, estando éstos limitados por la capacidad del grabador a bordo, para el caso de las imágenes almacenadas. Para la transmisión en tiempo real, la limitación está dada por el tiempo en que el satélite se mantiene en visibilidad de la Estación Terrena Córdoba.

Revisita de 7/9 días mientras se encuentre en constelación.

Las características del producto y su nivel de procesamiento

El formato para la distribución a los usuarios de los datos SAC-C MMRS es similar al denominado EOSAT Fast Format versión B. Los datos se entregan con un único nivel de procesamiento definido como 1B. (Similar a los productos Landsat adquiridos en la CONAE).

El producto tiene incorporadas las siguientes correcciones:

Corrección de la radiometría propia del sistema en base a las calibraciones de prelanzamiento y sus actualizaciones mensuales a partir de recalibraciones de la cámara mediante adquisiciones posteriores, programadas para esos fines.

Correcciones geométricas debidas a alteraciones conocidas del sistema (correcciones sistemáticas). Se realizan las correcciones de los efectos producidos por cambio de actitud del satélite, es decir de los movimientos de cabeceo (pitch), balanceo (roll) y guiñada (yaw), por variaciones de altura y velocidad del satélite, y el sesgo (skew) producido por la rotación terrestre.

Cámara HRTC

La HRTC (Resolución High Resolution Technological Camera o Cámara Tecnológica de Alta Resolución), es un barredor electrónico que mejora la resolución de las imágenes MMRS. El tamaño del píxel en tierra es de 35 metros, con capacidad de detección en el espectro visible.

Para obtener las imágenes HRTC se envían al satélite comandos en tiempo diferido, que le indican dónde y cuándo tomar la imagen. Luego estas se almacenan, junto a otros datos auxiliares. Los datos son almacenados en una memoria de estado sólido, con capacidad para grabar una imagen de 90 Km. x 1150 Km. El enlace para la recepción de datos en la estación Terrena Córdoba se realiza con un transmisor en Banda X.

Tabla 14: Ficha técnica de la Cámara HRTC:

Geometría	
Resolución espacial	35 metros en ambas direcciones
Ancho barrido	90 Km.
Precisión geométrica	mejor que 1 píxel especificada (0.5 píxel deseada)
Coregistración multitemporal	1 píxel
Radiometría	
Banda de la HRTC	pancromática de 400 a 900 nm

Rango dinámico total	> 2000:1
Rango dinámico por toma	>256 :1
Ruido	< 2 DN (para todas las ganancias)

Las dimensiones del píxel se mantienen constantes fuera del nadir y solamente presentarán mínimas variaciones (< 1%) debido a la actitud del satélite.

Por tratarse de un barredor tipo "PushBroom", la HRTC tiene un ancho de barrido constante de 90 Km. El largo de la imagen depende solamente de los instantes de inicio y fin de la toma, estando éstos limitados por la capacidad del grabador abordo.

Para optimizar los rangos dinámicos de la imagen, la HRTC dispone de la facilidad de ajustar su ganancia, tiempo de integración y nivel de negro por comando desde tierra.

Cámara HSC

La Cámara de Alta Sensibilidad (HSC = High Sensitivity Camera), fue diseñada para realizar estudios de la intensidad luminosa de áreas pobladas, tormentas eléctricas, fuegos en zonas forestales, evolución y dinámica de auroras polares. Esta cámara opera durante las pasadas nocturnas, aproximadamente a las 22.30 horas, y tiene capacidad de almacenar los datos.

Tabla 15: Ficha técnica de la Cámara HSC:

Geometría	
Resolución espacial	300 metros
Ancho barrido	700 Km.
Radiometría	
Banda de la HSC	pancromática entre 450 - 850 nm
Sensibilidad	0.1 de saturación para una fuente puntual de 2 Kw, equivalente a 78 W/Dn

Instrumentos Científicos del SAC-C:

Aparte de los 3 instrumentos citados MMRS, HRTC y HSC existen varios instrumentos científicos a bordo del SAC-C.

- Experimento GPS de Ocultación y Reflexión (GOLPE)
- Magnetómetros escalares y vectoriales (MMP)
- Influencia de la radiación espacial (ICARE)
- Rastreador Italiano de Estrellas (IST)
- Experimento Italiano de Navegación (INES)
- Sistema de Recolección de Datos (DCS)

SATÉLITES RADAR

El Radar es el sensor activo de teledetección más difundido. Los satélites de tipo activo, aunque menos numerosos que los pasivos, aportan nuevos datos que complementan y enriquecen la información captada por los radiómetros y otros sensores de tipo pasivo.

Los satélites más modernos basados en tecnología radar son: Radarsat, Envisat y ERS-2 . Otro ejemplo de las aplicaciones del radar en teledetección es la misión topográfica SRTM.

RADARSAT



Figura 28: Satélite RadarSat

RADARSAT es el primer satélite canadiense para la observación terrestre, y el primer satélite del mundo con radar orientado operacionalmente. Dicho radar, puede operar en diferentes modos de captura de imagen siendo por ello apropiado en muy diferentes tareas. Gracias a su variadas modalidades de onda y posiciones, RADARSAT posee las características idóneas para un monitoreo completo de la Tierra.

Difiere de los sensores ópticos en el tipo de datos adquiridos y la forma de hacerlo. Los sistemas ópticos multiespectrales, como Landsat y Spot son sistemas pasivos que utilizan la luz solar reflejada por la Tierra para la formación de imágenes de la superficie del planeta. Como los datos se recogen a frecuencias correspondientes al espectro visible, la presencia de nubes, polvo, humo, etc. impide obtener imágenes útiles. RadarSat, por el contrario, utiliza un Radar de Abertura Sintética (SAR) que envía sus propias señales de microondas y procesa sus reflejos en la superficie terrestre. Al ser un sensor activo, la longitud de onda más larga facilita la penetración atmosférica y permite coleccionar datos bajo condiciones atmosféricas adversas.

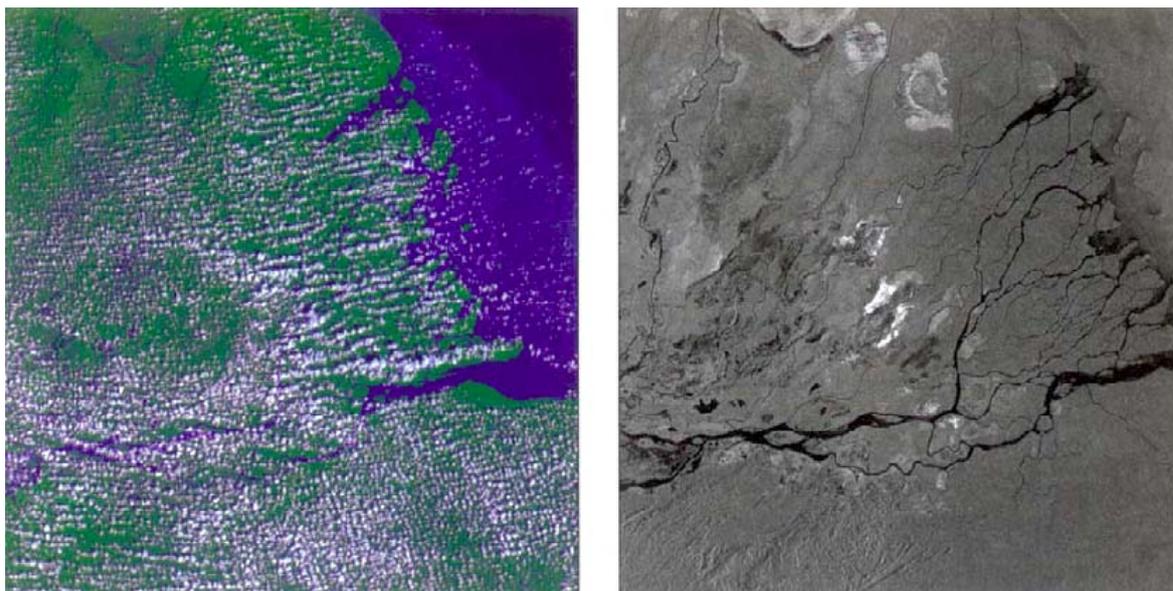


Figura 29: Comparación de imágenes Radarsat con Landsat

La Figura proporciona una comparación de datos ópticos y de radar coleccionados para una región sobre el litoral de Guyana. La imagen de LANDSAT TM muestra muy poca expresión superficial y su claridad está obstruida por una cobertura de nubes moderada. La imagen de RADARSAT penetra a través de la cobertura de nubes y usa "geología de copa de árbol" para expresar los accidentes geológicos y estructuras subyacentes.

Como dijimos Radarsat es un satélite de teledetección del tipo activo. Su sensor SAR (Radar de Apertura Sintética) transmite un pulso de microondas a la Tierra. EL SAR mide la cantidad de energía que regresa al satélite después de interactuar con la superficie de la Tierra.

La gran ventaja de las microondas es que no son afectadas por las condiciones meteorológicas (nubosidad) ni por la iluminación solar (puede "ver" en la oscuridad). En cambio, el radar de microondas es muy dependiente del ángulo de incidencia y de la polarización y frecuencia a la que se trabaje.

RADARSAT, fue puesto en órbita el 4 de noviembre de 1995. Su ángulo de incidencia con respecto a la tierra, varía entre los 10° y los 60°, Su órbita heliosincrónica tiene un ciclo repetitivo de 24 días. Proporciona diariamente imágenes regulares sobre el ártico, y cada cinco días sobre latitudes ecuatoriales.

RADARSAT aporta valiosa información para monitorizar los recursos naturales. Posee distintos modos de captura de imagen. Cada modo está definido por el área de cobertura y por nivel de detalle o resolución. Existen 7 tamaños de imágenes, que van desde el fino para áreas de 50x50km y 10 metros de resolución, hasta el scanSAR de 500x500km, con una resolución nominal de 100 metros por píxel.

Una imagen de radar es la relación de la energía de microondas transmitida a la Tierra con la energía reflejada directamente de regreso al sensor. Esta energía reflejada se llama retrodispersión y depende de la topografía local, la rugosidad y las propiedades dieléctricas que están directamente afectadas por los niveles de humedad. Por tratarse de imágenes monobanda es posible visualizarlas únicamente en blanco y negro. Aunque no hay dos unidades de terreno iguales, existen algunas reglas generales para la interpretación de una imagen de radar. El agua es usualmente oscura debido a que su reflejo especular

retorna una señal débil al satélite. Por el contrario, las zonas urbanas son siempre muy brillantes gracias a los reflejos sobre extensas superficies verticales. La información comprendida entre estos extremos se corresponderá con distintos matices de gris. Interpretando los distintos tonos, texturas y patrones sobre la imagen, es posible obtener información relacionada con la estructura geológica y litológica de la zona.

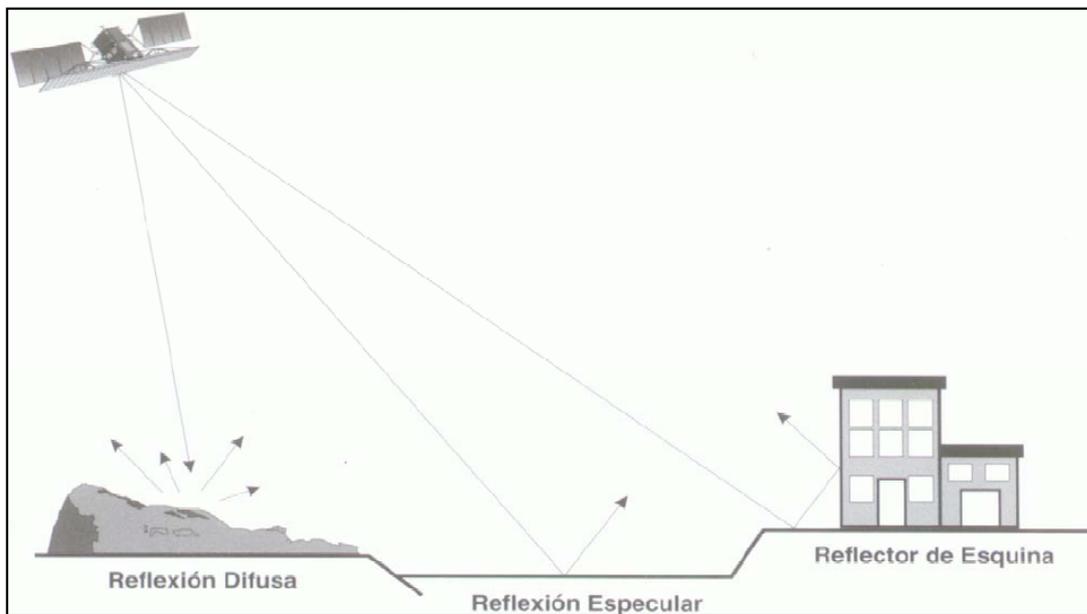


Figura 30: Reflexión en imágenes Radar

Las imágenes de radar son en blanco y negro, no porque sean fundamentalmente diferentes de otras fuentes de datos (por Ej.: sensores ópticos: LANDSAT o SPOT), sino porque ellas no tienen un componente multiespectral necesario para la formación de falso - color. LANDSAT TM es sensible a la reflexividad de la Tierra a siete diferentes longitudes de onda, por lo tanto las siete bandas. Se logra color combinando tres bandas ópticas cualquiera. RADARSAT contiene solo una banda espectral, y por consiguiente ofrece un juego de datos único para el geólogo de exploración

Las imágenes obtenidas son en blanco y negro, pero pueden combinarse con imágenes de otros satélites para generar imágenes en color.

Productos

El satélite RADARSAT-1 recoge imágenes radar desde 1995 (adquisiciones en banda C). El mismo posee un instrumento de toma de imágenes orientable que permite una cobertura diaria de los polos y de cada 2 a 5 días del ecuador.

RADARSAT-1 ofrece diferentes modos de adquisición que permiten obtener los productos:

- Resolución fina (modo Fine): Productos de 8 m (50 Km. x 50 Km.)
- Alta resolución (modos Standard y Extended High, modos Wide y Extended Low): Productos de 25 m (100 Km. x 100 Km.; 75 Km. x 75 Km.) y 30 m (150 Km. x 150 Km.; 170 Km. x 170 Km.)
- Mediana resolución con gran cobertura (modos ScanSAR Narrow y ScanSAR Wide): Productos de 50 m (300 Km. x 300 Km.) y 100 m (500 Km. x 500 Km.).

PROGRAMA ERS / ENVISAT

La serie de Satélite ERS y ENVISAT (European Remote Sensing Satellite) fueron desarrollados por los países miembros de la comunidad europea ESA como Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Irlanda, Italia, Noruega, Países Bajos, Inglaterra, Suecia y Suiza. El primer satélite ERS-1 fue lanzado en el mes de julio de 1991, en una órbita polar helio sincrónica a una altura de 800 kilómetros y con un ángulo de inclinación de 98 grados y posteriormente en el año de 1995 fue lanzado el ERS-2, satélite construido con las mismas características del ERS-1.

Fueron los primeros en incorporar sensores SAR (Synthetic Aperture Radar) basados en microondas, con fines comerciales, ofreciendo nuevas oportunidades a las actividades de percepción remota.

Estos satélites poseen sistemas de sensores activos, por lo tanto captan información en el día o en la noche y lo más importante no tiene interferencia atmosférica como sucede con los sensores no activos que requieren de la luz solar. Estos satélites generan un flujo continuo de información de los océanos y la superficie terrestre para monitorear derrames petrolíferos en el mar, identificar fallas geológicas, hacer estudios geomorfológicos, monitorear fenómenos naturales.

Los satélites ERS 1 y 2, se encuentran a 785 Km. de distancia de la superficie de la tierra, tienen una inclinación de $98^{\circ}52'$, y un periodo de revisita de 35 días. Sus sensores, tienen resoluciones que oscilan entre los 10 metros y los 50 Km., y tamaños de escena que varían entre los 5 y los 500 Km.

El satélite ERS está considerado, dejando a un lado los satélites de tipo meteorológico, el primer satélite europeo de Teledetección., y cuenta con una gran cantidad de instrumental, sobre el que se pueden destacar los siguientes.

- Radar de apertura sintética (SAR, Synthetic Aperture Radar)
- Dispersómetro de vientos (SCAT, Scatterometer)
- Radar altimétrico (RA, Radar Altimeter)
- Equipo de barrido térmico (ATSR, Along Track Scanning Radiometer)
- Reflector Láser (LRR, Láser Reflector)

El segundo satélite de la serie, el ERS-2, incorpora las siguientes mejoras:

- Equipo de barrido térmico mejorado con 3 nuevas bandas en el visible y el infrarrojo próximo (ATSR-2, Along Track Scanning Radiometer)
- Instrumento para medir el ozono, dióxido de nitrógeno, oxígeno, etc. (GOME, Global Ozone Monitoring Experiment)

En la siguiente tabla se muestra, a modo de resumen, las características más destacadas del instrumento más importante que incorpora el ERS, el instrumento activo de microondas (AMI, Active Microwave Instrument). Éste se puede utilizar en 3 modos distintos: radar de imágenes (AMI SAR mode), modo olas (AMI WAVE mode) y modo viento (AMI WIND mode), cada uno de los cuales tiene una utilidad práctica concreta:

Tabla 16: Modos del sensor ERS

AMI SAR MODE	Frecuencia y polarización Ángulo off-nadir Cobertura en la dirección de avance Resolución	5.3GHz (banda-C), VV 23°; 100 Km. 30m x 30m
AMI WAVE MODE	Área de cobertura Intervalo	5km x 5km 100 Km. o 300 Km. en el área de observación
AMI WIND MODE	Frecuencia de polarización Cobertura en la dirección de avance Resolución	5.3GHz (banda-C) , VV 500 Km. 50 Km.
Otras características generales de interés	Tipo de órbita Altura orbital Resolución temporal	heliosincrónica 780 Km. 3, 35 (standard) y 176 días

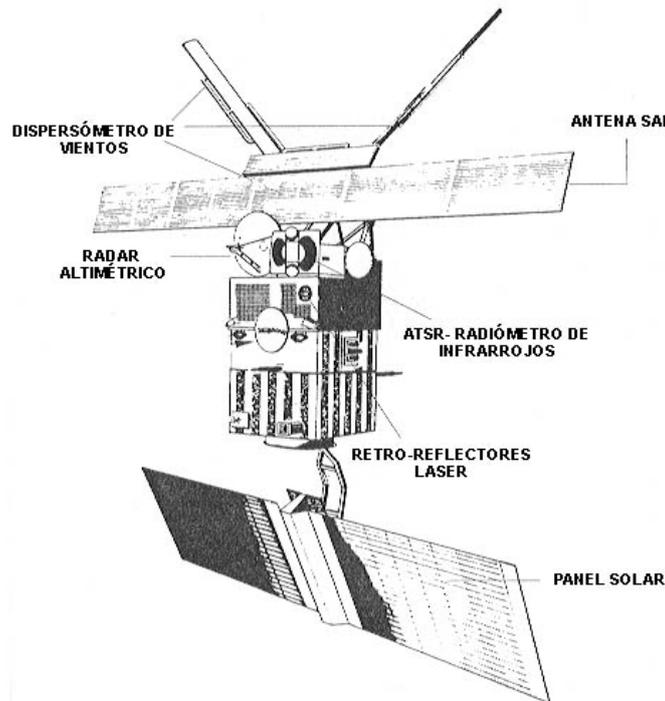


Figura 31 imagen del satélite ERS

Con la información captada por estos satélites se pueden generar imágenes con una resolución de 10 metros.

ENVISAT

En marzo de 2002, la Agencia Espacial Europea (ESA) puso en órbita un avanzado satélite para la observación de la tierra, el Envisat. Su órbita es polar, y provee imágenes sobre la atmósfera, el terreno, los océanos y el hielo de la Tierra.

El satélite Envisat, es la evolución natural del ERS 2, con un sistema SAR mejorado y un gran número de nuevos sensores.

Posee un ambicioso equipamiento, que asegura la competitividad y continuidad de los satélites del proyecto ERS (European Remote Sensing). Los datos que provee el Envisat, permitirá importantes avances científicos en la geología y oceanografía, control de los cambios atmosféricos, y desarrollo de aplicaciones comerciales.

Tiene un peso total de 8300 Kg., realiza una órbita alrededor de la tierra cada 100 minutos. Puede realizar una cobertura global de la tierra cada 3 días, y tiene un periodo de cobertura repetida de 35 días.

Envisat, posee una gama muy variada de instrumentos, cada uno de ellos con funciones y características bien diferenciadas, que trabajan con longitudes de onda desde 0,2 micras hasta 10 centímetros. Además, posee una capacidad de almacenamiento de 160 Gbits. Entre otros, los datos que Envisat puede recoger, están los perfiles 3D de la concentración de ozono en la atmósfera, mapas de concentración de agua y polución industrial, mapas digitales de altitud terrestre con una precisión de 10 metros, detección de la densidad del fondo submarino, temperatura de la superficie del mar, etc.

Características

El satélite Envisat fue lanzado en 2002 como continuación del ERS-1 (1991-2001) y del ERS-2 (lanzado en 1993).

Estos 3 satélites operan en banda C. Los satélites ERS adquieren imágenes radar con un ángulo fijo (23°) mientras que Envisat posee un instrumento de toma de imágenes orientable que permite una cobertura cada 2 a 5 días del ecuador y diaria de los polos.

Productos

El satélite Envisat ofrece diferentes modos de adquisición

- El modo Image asegura la continuidad de los productos ERS: productos con resolución de 25 m con una cobertura de 56-100 Km. x 100 Km.
- El modo Alternating Polarisation ofrece 2 imágenes de polarizaciones diferentes sobre un mismo sitio.
- El modo Wide Swath provee productos de mediana resolución: productos de 150 m, de gran cobertura: 400 Km. x 400 Km.

Radar de apertura sintética avanzado: ASAR

El ASAR posee una alta resolución, sondea la superficie del planeta generando imágenes de amplia o reducida cobertura geográfica su objetivo principal es reunir información sobre:

- las características de las olas en los océanos
- extensión y movimiento del hielo del mar
- extensión de hielos
- topografía de la superficie terrestre

- propiedades de la superficie terrestre
- extensión de la superficie de tierra húmeda
- deforestación y extensión de áreas desiertas
- control de desastres (inundaciones, terremotos, etc.).

La ventaja principal de usar el SAR para estas tareas de observación de la tierra es su habilidad para tomar las imágenes, independiente de condiciones atmosféricas no interfiriendo para ello la presencia de nubes o la poca iluminación solar. Teniendo en cuenta que normalmente la observación de desastres, como las inundaciones se realizan con condiciones atmosféricas adversas, esta independencia del tiempo es de vital importancia.

Comparándolo con el instrumento de microondas activo (AMI) del ERS-1 y ERS-2, el ASAR es un instrumento significativamente más avanzado y en el que se han empleado nuevos desarrollos tecnológicos, donde el reemplazo del sistema de radiador pasivo del AMI por un sistema activo de fases de antena ha sido uno de los cambios más significativos. Las mejoras en los resultados incluyen la posibilidad de tener más de 400 Km. de ancho de cobertura.

Tabla 17 : Modos de adquisición y niveles de procesamiento en Envisat.

Modos de adquisición	Satélite	Aplicaciones
Image (IM)	ERS Envisat	Clasificación, topografía, hielo/nieve, deformaciones/movimientos de superficie, exploración minera y petrolera
Alternating Polarisation (AP)	Envisat	Agricultura y vegetación
Wide Swath (WS)	Envisat	Ocupación del suelo, hidrología, control de témpanos y polución marina
Nivel de procesamiento	Características	¿Para qué procesamientos?
Raw	Datos en bruto con datos auxiliares	Síntesis de imágenes, interferometría
SLC : Single Look Complex Image	Imagen monoscópica en formato complejo (amplitud, fase)	Cálculo de la imagen de amplitud y fase Interferometría
PRI : Precision Image	Imagen de amplitud de 3 vistas, corregida radiométricamente	Análisis cuantitativos, fotointerpretación y procesamiento de imágenes, series multitemporales
GEC : Ellipsoid Geocoded Image	Imagen de amplitud de 3 vistas, corregida radiométricamente y georeferenciada (WGS84) sin puntos de apoyo	Fotointerpretación, procesamiento de imágenes, imágenes superponibles a los datos sobre la misma proyección
Imagen de mediana resolución	Imagen de amplitud multivistas corregida radiométricamente	Seguimiento y control en tiempo cuasi real sin necesidad de alta resolución (detección de buques, control de la polución)

TRANSBORDADOR ESPACIAL Y ESTACIONES ESPACIALES

El transbordador espacial no es el primer satélite tripulado utilizado como plataforma de percepción remota. Los EE.UU. lanzaron una estación orbital SKYLAB en 1973 la cual recibió astronautas en 1973 y 1974. Los sensores remotos a bordo incluyeron dos cámaras fotográficas, las cuales adquirieron 35,000 fotografías, y un radiómetro multiespectral (13-canales), el cual grabó 800 Km. de cinta magnética. Tres años más tarde, la URSS. Lanzó la estación SOYUZ la cual transportó una cámara fotográfica similar al equipo principal del SKYLAB.

Numerosos sensores han sido utilizados en el transbordador espacial, siendo la más importante la misión SRTM

SRTM (SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION)

Uno de las misiones mas importantes fue realizada por el transbordador Endeavour en una misión donde se cartografió, gracias a un sistema de radar ultra sofisticado, la superficie terrestre en tres dimensiones.

En febrero de 2000, el transbordador de la NASA cartografió durante 11 días la superficie terrestre. Para ello completó 176 órbitas, a 7,5 kilómetros por segundo, alrededor de nuestro planeta. Culminaba así la primera parte de la Misión SRTM de Topografía desde un Transbordador, en la que colaboraron las agencias espaciales de Alemania e Italia.

Para captar las imágenes, la nave Endeavour fue lanzado a una órbita a 235 kilómetros de altura y con una inclinación de 57 grados, lo que ha permitido a los radares hacer barridos del 80% de la superficie terrestre. La nave empleó dos antenas de radar con las que realizó una medición cada 30 metros. La primera de las antenas estaba alojada en la bodega de la nave; la segunda, en un mástil desplegado de 60 metros. El hecho de emplear dos ingenios separados que fotografían de manera simultánea el planeta ha permitido obtener información sobre la altura de los accidentes geográficos que se captaban. La técnica (llamada interferometría) es similar a la que empleamos los humanos para ver en tres dimensiones: la superposición de dos imágenes captadas desde puntos de vista levemente distintos.

A partir de los datos SRTM pueden elaborarse mapas, que se denominan MDT (modelos digitales del terreno, o DEM por las siglas en ingles de Digital elevation model), se forman a partir de tres puntos: dos en superficie (latitud y longitud) y uno en altura. Un programa informático traduce esos datos a una imagen tridimensional.

La resolución de las imágenes va de los 30 metros (solo Estados Unidos), a los 90 metros en horizontal y la precisión vertical ronda entre los 6 y los 16 metros.

Este es el mapa topográfico en tres dimensiones más preciso y completo de la Tierra jamás realizado hasta ahora. Su publicación es controlada por el Pentágono.

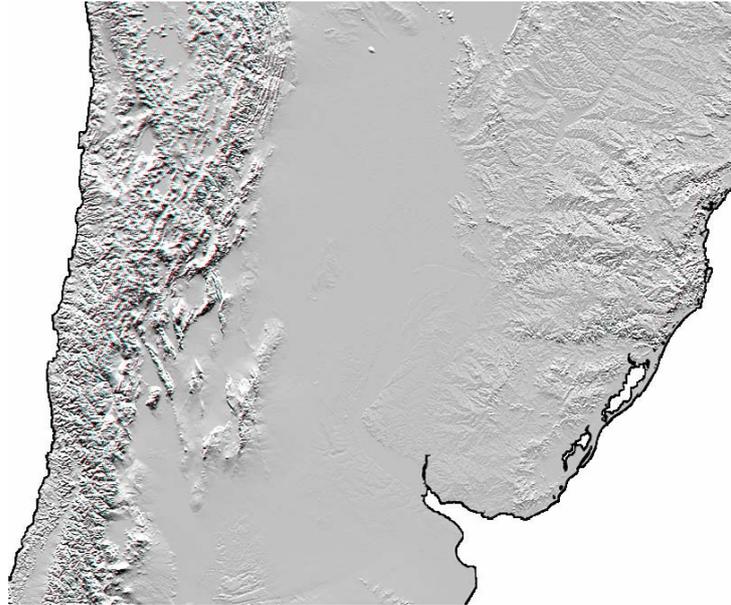


Figura 32: Imagen DEM sombreada, proveniente de datos SRTM. Se representa el centro y norte de argentina.

Las imágenes que configuran el primer mapa topográfico tridimensional de la Tierra son de libre acceso para el público general a través de Internet. Eso sí, en su versión con menor resolución (90 metros de precisión horizontal y 16 de vertical). Los mapas más detallados están reservados para usos del Ejército de Estados Unidos y para investigaciones científicas, previa autorización del Departamento de Defensa de EE UU.

Tabla : Resumen de Plataformas y Sensores

Satelite	Sistema de sensor	Resolución espectral (µm)	Resolución espacial (m)	Anchura de escaneado (Km.)	Frecuencia temporal	Altitud orbital	Periodo operacional
LANDSAT	MSS	canal 4: 0,5 - 0,6	79 x 79	185	18 días	918 Km. Cuasipolar Heliosincrónica	Landsat 1 23/07/1972 - 06/01/1978
		canal 5: 0,6 - 0,7	80 x 79				Landsat 2 22/01/1975 - 25/02/1982
		canal 6: 0,7 - 0,8	81 x 79				Landsat 3 05/03/1978 - 30/11/1982
	MSS	como el Landsat 3	como el Landsat 3	185	16 días	710 Km., cuasipolar, heliosincrónica	Landsat 4 16/07/1982 - 02/1983 Landsat 5 01/03/1984 -
	TM	canal 1: 0,45 - 0,52	30 x 30				
		canal 2: 0,52 - 0,60	30 x 30				
		canal 3: 0,63 - 0,69	30 x 30				
		canal 4: 0,76 - 0,90	30 x 30				
		canal 5: 1,55 - 1,75	30 x 30				
	canal 6: 10,40 - 12,50	120 x 120					
canal 7: 2,08 - 2,35	30 x 30						
TM	como el Landsat 4-5	como el Landsat 4-6	185	16 días	710 Km., cuasipolar, heliosincrónica	Landsat 7 15/04/1999 -- 2005	
ETM	canal 6: 10,40 - 12,50	60 x 60					
SPOT	HRV	Pancromática : 0,50 - 0,90	15 x 15	60	26 días/variable	832 Km., cuasipolar, heliosincrónica	21/02/1986 -
		canal 1: 0,50 - 0,59	20 x 20				
		canal 2: 0,61 - 0,68	20 x 20				
		canal 3: 0,79 - 0,89	20 x 20				
		Pancromática : 0,51 - 0,73	10 x 10	117			
NOAA	AVHRR	canal 1: 0,58 - 0,68	1100x1100	2800	6 horas	850 Km., cuasipolar, heliosincrónica	1983 -
		canal 2: 0,72 - 1,10					
		canal 3: 3,55 - 3,93					
		canal 4: 10,30 - 11,30					
		canal 5: 11,50 - 12,50					
METEOSAT	MSS	canal 1: 0,4 - 1,1	2500x2500	12.500	geoestacionario 30 min.	36.000 Km.	23/11/1977 -
		canal 2: 10,5 - 12,5	5000x5000				
		canal 3: 5,7 - 7,1	5000x5000				
ERS - ERS 1	Synthetic Aperture Radar (SAR)	5,6 cm (banda C)	25x25	100	35 días	780 Km., cuasipolar, heliosincrónica	17/07/1991 - 10/03/2000
	ATSR	canal 1: 1,58 - 1,64	1000x1000				
		canal 2: 3,55 - 3,93					
		canal 3: 10,4 - 11,3					
		canal 4: 11,5 - 12,5	15x15				
ERS 2	Synthetic Aperture Radar (SAR)	5,6 cm (C-banda)	25x25	100	35 días	780 Km., cuasipolar, heliosincrónica	20/04/1995 -
	ATSR-2	canal 1: 1,58 - 1,64	1000x1000		~6 días		
		canal 2: 3,55 - 3,93					
		canal 3: 10,4 - 11,3					
		canal 4: 11,5 - 12,5					
		canal 5: 0,556					
		canal 6: 0,659					
		canal 7: 0,865					
	GOME	canales 0,25 - 0,79	320x40	960	~3 días		
ENVISAT	ASAR	5,6 cm (C-banda)	30x30 150x150 1000x1000	100 / 400	35 días / variable	800 Km., cuasipolar, heliosincrónica	Marzo 2002 -
	MERIS	15 canales: 0,390 - 1,040	300 / 1200	1250	~3 días		
	AATSR	canal 1: 1,58 - 1,64	1000x1000	500	~6 días		
		canal 2: 3,55 - 3,93					
		canal 3: 10,4 - 11,3					
		canal 4: 11,5 - 12,5					
		canal 5: 0,556					
			canal 6: 0,659				
			canal 7: 0,865				
		GOMOS					
	SCIAMACHY	Mediciones atmosféricas			diariamente		
	MIPAS						
IKONOS	IKONOS	Pancromática : 0,45 - 0,90	1x1	13	~3 días	681 Km., cuasipolar, heliosincrónica	24/09/1999 -
		canal 1: 0,45 - 0,50	4x4				
		canal 2: 0,52 - 0,60					
		canal 3: 0,63 - 0,69					
		canal 4: 0,76 - 0,90					
QUICKBIRD	QUICKBIRD	Pancromática : 0,45 - 0,90	0,7	16,5	1 to 3,5 días	450 Km., cuasipolar, heliosincrónica	18/10/2001 -
		canal 1: 0,45 - 0,52	2,8				
		canal 2: 0,52 - 0,60					
		canal 3: 0,63 - 0,69					
		canal 4: 0,76 - 0,90					

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Chuvieco, E, Fundamentos de Teledetección Espacial, Ediciones Rialp S.A.1990

Erdas Field Guide, Erdas Tour Guide., 1999, Erdas Inc. Atlanta Georgia

Moldes, F. J.,1995, Tecnología de los Sistemas de Información Geográfica, Editorial Ra-ma. Madrid, España,185 p.

Scanvic, J. Y. 1989, Teledetección Aplicada.. Editorial Paraninfo. Madrid, España. 200 pag.

Publicación Didáctica 1 "Conocimientos Básicos sobre Teleobservación": Satélites NOAA Comisión Nacional de Actividades Espaciales- CONAE. Dra. Mónica Rabolli, Andrea Gulich

Teledetección Fundamental Universidad Politécnica de Madrid. España. Apunte de Clase .

Teledetección Espacial, Jorge Fallas, 2003 laboratorio de teledetección y sistemas de información geográfica. EDECA-PRMVS-UNA

Links consultados y referidos a temas de la Serie Didáctica

Publicaciones varias de www.conae.gob.ar

http://www.clirsen.com/index.php?option=com_content&task=view&id=36&Itemid=1

García Varela, Alvaro. Sistemas de Comunicación Vía Satélite 40 Pág.

<http://www.com.uvigo.es/asignaturas/SCVS/trabajos/curso0001/biblio/LANDSAT>
Fichas técnicas. Spotimage Francia

www.ieslaestrella.org/.../epidermis/lirio.htm

espanol.geocities.com/.../botanica/hoja.htm

ceos.cnes.fr:8100/.../baphygb/chap5/chap53.htm

xtnasa.usu.edu/link_pages/projects_rsc.html.

http://www.hiboox.fr/images/content/images_articles/consejos/fotorevista/curso/peliculas/

www.laeff.inta.es/partner/cursos/br/curso.php?c=1

Curso de procesamiento digital de imágenes aplicado a Recursos Naturales FCNyM UNLP 2001

folletos comerciales de Radarsat International

<http://www.sovinformspuutnik.com/> KFA-1000 images September 28 - October 20, 1999

<http://landsat7.usgs.gov> <http://landsat.gsfc.nasa.gov>.

<http://geo.arc.nasa.gov/sge/landsat/landsat.html>.

www.spot.com/spot-us.htm