



Satélites de Teledetección

para la Gestión del Territorio



Satélites de Teledetección

para la Gestión del Territorio

Mauricio Labrador García
Juan Antonio Évora Brondo
Manuel Arbelo Pérez

Socios:

Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Aguas. Gobierno de Canarias.

*Grupo de Observación de la Tierra y la Atmósfera (GOTA). Universidad de La Laguna
IROA, S.A.*

*Proyecto SATELMAC, Programa de Cooperación Transnacional Madeira - Azores
- Canarias -2007-2013 (PCTMAC) .*

*Cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y el Gobierno de
Canarias.*

Edita: *Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Aguas del Gobierno de Canarias.*

ISBN: 13:978-84-695-3276-8

Depósito legal: TF 433-2012

Autores:

Mauricio Labrador García. *GMR Canarias.*

Juan Antonio Évora Brondo. *Dirección General de Agricultura y Desarrollo Rural.
Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Aguas del Gobierno de Canarias.*

Manuel Arbelo Pérez. *Grupo de Observación de la Tierra y la Atmósfera (GOTA).
Universidad de La Laguna.*

Diseño y Maquetación: *Ayatima Tenorio Herrera. GMR Canarias.*

Imprime:

Litografía Romero

Fecha:

Febrero 2012

Índice

PRESENTACIÓN	7
PRINCIPIOS BÁSICOS DE TELEDETECCIÓN	9
Introducción	9
Detalles históricos	10
Elementos del proceso de teledetección	12
El espectro electromagnético en teledetección	13
Reflectancia de las superficies terrestres	14
Características orbitales de los satélites de teledetección	15
Resolución de los sensores remotos: Espacial, Espectral, Radiométrica, Temporal	16
Tipos de imágenes de teledetección	21
SATÉLITES DE TELEDETECCIÓN	22
DMC	24
EARTH OBSERVING-1 (EO-1)	26
EROS-A/EROS-B	28
FORMOSAT-2	30
GEOEYE-1	32
IKONOS	34
KOMPSAT-2	36
LANDSAT-7	38
QUICKBIRD	40
RAPIDEYE	42
RESOURCESAT-2	44
SPOT-5	46
TERRA (EOS-AM 1)	48
THEOS	50
WORLDVIEW-2	52
MISIONES FUTURAS	54
PARÁMETROS BÁSICOS PARA ADQUIRIR UNA IMAGEN DE SATÉLITE	57
GLOSARIO	59
BIBLIOGRAFÍA	62



Imagen PS (0,6 m/píxel) de QUICKBIRD.
Planta solar térmica en Sevilla.
Fuente: DigitalGlobe.

Presentación

La teledetección se ha convertido en las últimas décadas en una herramienta imprescindible en numerosos ámbitos de nuestra sociedad. Son muchos los ejemplos de su aplicación como base para la toma de decisiones en la gestión eficiente de la agricultura y los bosques, los recursos naturales, la meteorología, la ordenación del territorio o la elaboración de cartografía entre otros.

En la actualidad, el gran potencial que ofrece esta tecnología se refleja en la extensa oferta de imágenes captadas por multitud de satélites que orbitan nuestro planeta. Esta diversidad de opciones obliga al investigador, técnico o gestor de la administración a realizar un análisis exhaustivo de la oferta existente y sus costes, labor que requiere del conocimiento básico de los datos disponibles y su utilidad. Esta información, a día de hoy, permanece en cierto modo ajena a muchos usuarios potenciales de esta tecnología.

Esta publicación pretende reunir esta información y ofrecerla de forma clara y concisa a todo aquel que pueda beneficiarse de la misma.

El núcleo principal del documento consiste en un catálogo esquemático y práctico de los satélites de teledetección de alta y media resolución más utilizados. Para cada una de las opciones existentes en el mercado se enumeran sus características principales, productos que ofrecen, así como formas de adquisición y costes actuales. También se presenta una breve introducción a la teledetección para que el lector no especializado tenga la posibilidad de adquirir unas nociones básicas de esta tecnología.

Este trabajo es fruto de una de las actuaciones abordadas en el Proyecto “Uso de imágenes de satélite de alta resolución para la gestión del territorio macaronésico” (SATELMAC), aprobado en la primera convocatoria del Programa de Cooperación Transnacional - Madeira Azores Canarias (PCT-MAC) 2007-2013. En este proyecto actúa como Jefe de Filas la Dirección General de Agricultura y Desarrollo Rural de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Aguas del Gobierno de Canarias, y son socios participantes el Grupo de Observación de la Tierra y la Atmósfera, de la Universidad de La Laguna (GOTA) y el Instituto Regional de Ordenación Agraria, de Azores (IROA).

SATELMAC se enmarca dentro del eje 1 del PCT-MAC, donde se promueve la investigación, el desarrollo tecnológico, la innovación y la sociedad de la información. Toda la información relacionada con este proyecto se puede encontrar en la página web de SATELMAC <http://www.satelmac.com>.

Introducción

La Tierra, como una esfera azulada en medio del Espacio (Figura 1), sólo ha sido observada apenas por una veintena de privilegiados: los astronautas que viajaron a la Luna. Fueron los tripulantes de la nave espacial Apolo 8, a finales del año 1968, los primeros en disfrutar de ese espectáculo. Afortunadamente, en la actualidad, todos podemos tener esa visión de la Tierra desde el espacio gracias a los satélites de teledetección.

Pero ¿qué se entiende por teledetección? Teledetección es el vocablo usado por los hispanoparlantes para referirse al término inglés *"remote sensing"*, que se traduce literalmente como percepción remota. Se refiere a la ciencia, técnica o, incluso "arte" para algunos, de obtener información (imágenes) de la superficie de nuestro planeta a distancia, sin entrar en contacto directo con él. Pero la teledetección también incluye todo el trabajo realizado a posteriori con esas imágenes, es decir, su procesamiento e interpretación.

La teledetección más utilizada se refiere a la captura de imágenes desde satélites o plataformas aéreas (aviones, helicópteros o vehículos aéreos no tripulados). Sin embargo, las ventajas que ofrece la observación espacial desde satélites, esto es, la cobertura global y exhaustiva de la superficie terrestre, la observación multiescala y no destructiva y la cobertura repetitiva, han propiciado el desarrollo y utilización de este tipo de productos de manera sistemática.



Figura 1. Imagen de la Tierra resultado de la combinación de diferentes sensores de teledetección.

Detalles históricos

La teledetección, tal y como se entiende en la actualidad, comenzó en el periodo de 1946 a 1950, cuando se lanzaron desde Nuevo México (EE.UU.) los primeros cohetes V-2 con pequeñas cámaras fotográficas instaladas en ellos como sensores remotos (Figura 2). A partir de ese instante se sucedieron diferentes proyectos y misiones a bordo de otros cohetes, misiles balísticos y satélites, que realizaron la toma de fotografías de la Tierra. Aunque la calidad de las primeras fotografías desde el espacio no era muy buena, permitió revelar el verdadero potencial que le esperaba a esta técnica.

La observación sistemática de la Tierra comenzó en el año 1960 con el lanzamiento del TIROS-I (*Television Infrared Observation Satellite-I*) (Figura 3), primer satélite meteorológico con una cámara de televisión de baja resolución espacial, que permitía a los meteorólogos discriminar entre nubes, agua, hielo y nieve. La serie de satélites TIROS, conocidos desde 1970 como NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), continúa vigente en nuestros días, siendo el satélite NOAA-19 el último en haber sido puesto en órbita (información referida a febrero de 2012).

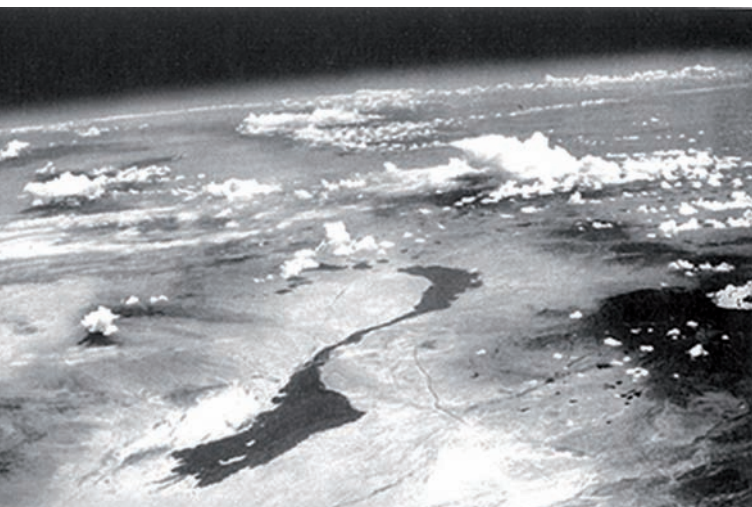
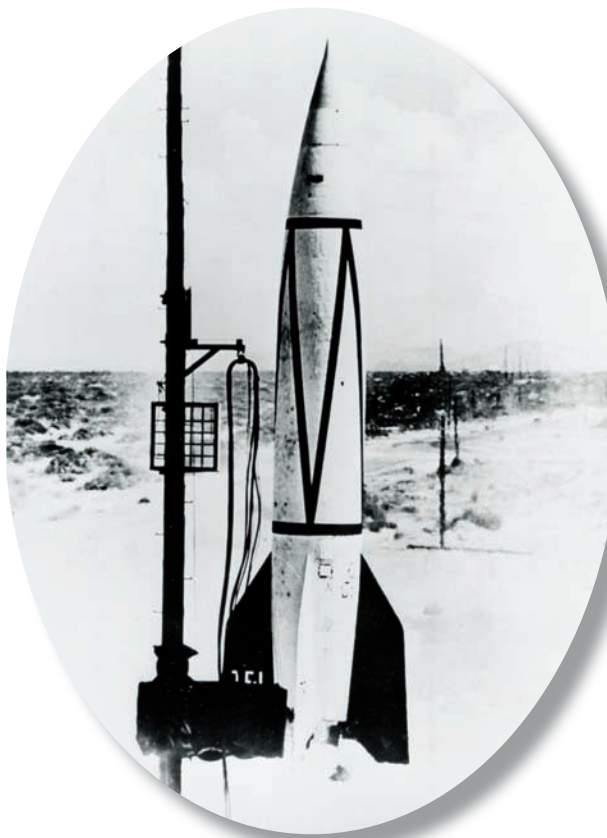


Figura 2.
Cohete V-2 (arriba)
y una de las primeras
fotografías tomadas desde
estos cohetes
(izquierda).

El excitante futuro que le esperaba a la teledetección se hizo definitivamente patente con los primeros programas espaciales tripulados en la década de los 60: *Mercury*, *Gemini* y *Apolo*. En las órbitas descritas por el *Apolo 9* alrededor de la Tierra, antes de alunizar, se llevó a cabo el primer experimento controlado de fotografía multispectral para estudiar los recursos naturales de la superficie terrestre. Las fotografías se captaron usando una película pancromática con filtros rojos y verdes, otra película en blanco y negro del infrarrojo próximo y una última en color. Los buenos resultados obtenidos, junto a las imágenes de los primeros satélites meteorológicos, condujeron a la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) y al Departamento de Interior de los Estados Unidos, en 1967, a desarrollar el Programa de Observación ERTS (*Earth Resources Technology Satellites*), conocido con el nombre de LANDSAT. El primer satélite de esta serie se lanzó el 23 de julio de 1972 y operó hasta el 6 de enero de 1978. Este proyecto ha resultado ser uno de los más fructíferos hasta el momento. El último satélite de esta serie, el LANDSAT 7 (Figura 4), se lanzó el 15 de abril de 1999 y aunque con algunos problemas, sigue en funcionamiento en la actualidad.

A partir de los satélites LANDSAT, el interés de la comunidad científica internacional y la sociedad en general por la teledetección ha crecido exponencialmente, contándose por miles los estudios realizados con las imágenes que proporcionan los satélites. Nuevas misiones y proyectos se diseñaron y continúan desarrollándose para la observación terrestre, algunos de los cuales serán descritos a lo largo del presente documento.



Figura 3. TIROS-I (arriba).
Primera imagen de televisión desde el
espacio (abajo).

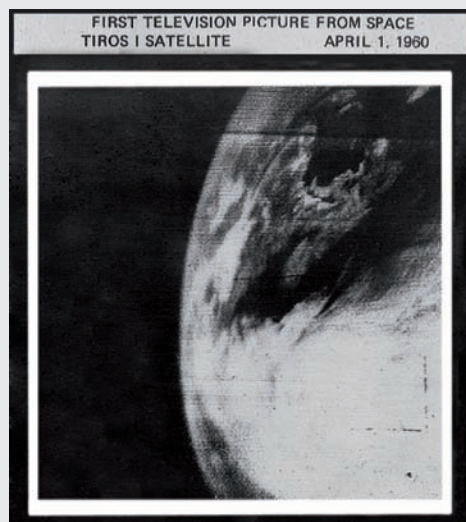
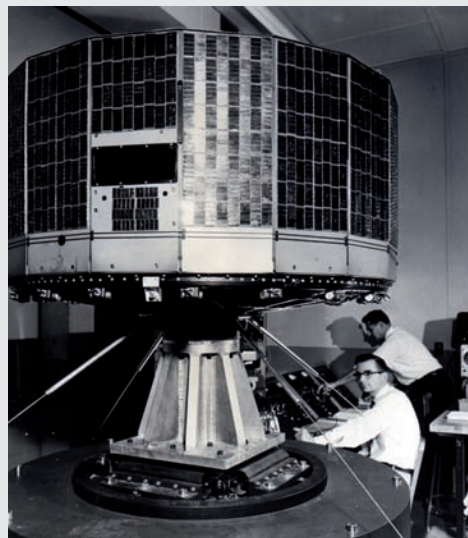


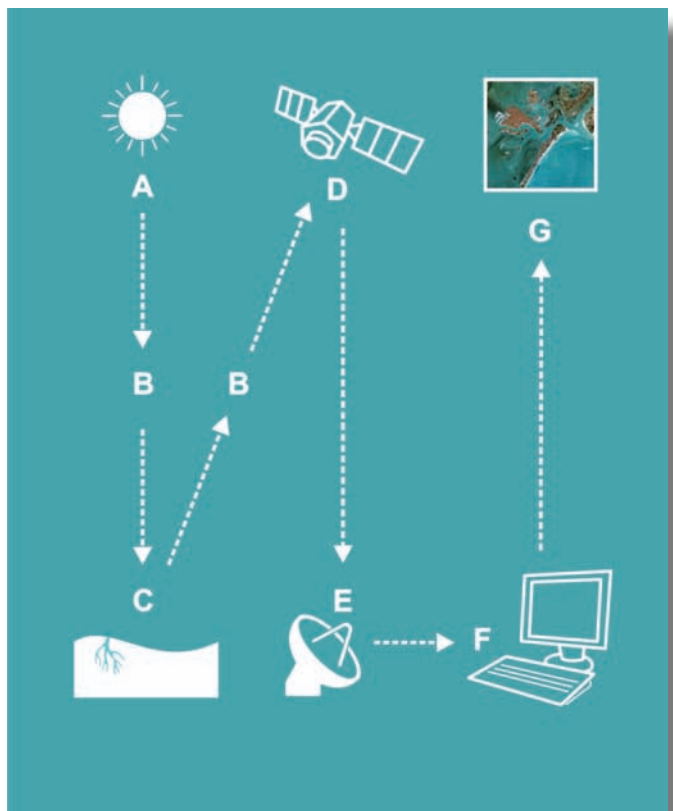
Figura 4. LANDSAT 7 antes de su puesta en órbita.

Elementos del proceso de teledetección

Los elementos involucrados en un proceso de teledetección desde satélites se muestran en la Figura 5. El primer requerimiento supone disponer de una fuente de energía que ilumine o provea energía al objeto de interés (cultivo, bosque, mar, ciudad, etc.). El caso más habitual consiste en que esa fuente sea el Sol (A). La radiación solar, en su “viaje” hacia la Tierra, atraviesa e interacciona con la atmósfera (B). Una vez alcanza la superficie terrestre interactúa con los objetos que en ella se encuentran. La radiación reflejada dependerá de las características de esos objetos, permitiendo distinguir a unos de otros (C). Un sensor a bordo de un satélite recoge y graba esa radiación reflejada por la superficie terrestre y la propia atmósfera (D). La energía captada por el sensor se transmite a una estación de recepción y procesamiento donde los datos se convierten en imágenes digitales (E). La imagen procesada se interpreta, visualmente y/o digitalmente, para extraer información acerca de los objetos que fueron iluminados (F). El paso final del proceso de teledetección consiste en aplicar la información extraída de la imagen para conseguir un mejor conocimiento de la zona de estudio, revelando nuevas informaciones o ayudándonos a resolver un problema particular (G).

La energía captada por el sensor se transmite a una estación de recepción y procesamiento donde los datos se convierten en imágenes digitales (E). La imagen procesada se interpreta, visualmente y/o digitalmente, para extraer información acerca de los objetos que fueron iluminados (F). El paso final del proceso de teledetección consiste en aplicar la información extraída de la imagen para conseguir un mejor conocimiento de la zona de estudio, revelando nuevas informaciones o ayudándonos a resolver un problema particular (G).

Figura 5.
Elementos de
un proceso de
teledetección
desde satélites.



El espectro electromagnético

Los ojos de los seres humanos se pueden considerar como sensores remotos ya que detectan la luz reflejada por los objetos de nuestro entorno. Sin embargo, la visión humana sólo es capaz de percibir una pequeña parte del espectro electromagnético, el visible.

La luz visible es sólo una de las muchas formas de radiación electromagnética que existen. Así, las ondas de radio, el calor, los rayos ultravioleta o los rayos X son otras formas comunes. En teledetección, lo normal es caracterizar a las ondas electromagnéticas por su longitud de onda en micrómetros (μm , 10^{-6}m) o nanómetros (nm, 10^{-9}m), es decir, por la posición que ocupan dentro del espectro electromagnético. De esta forma quedan definidas varias regiones del espectro. Aunque por conveniencia se le asignan diferentes nombres a estas regiones (ultravioleta, visible, infrarrojo, microondas, etc.), no existen divisiones exactas entre unas y otras (Figura 6).

Los sensores montados a bordo de los satélites de teledetección son capaces de detectar y grabar radiaciones de las regiones no visibles del espectro electromagnético, desde el ultravioleta hasta las microondas.

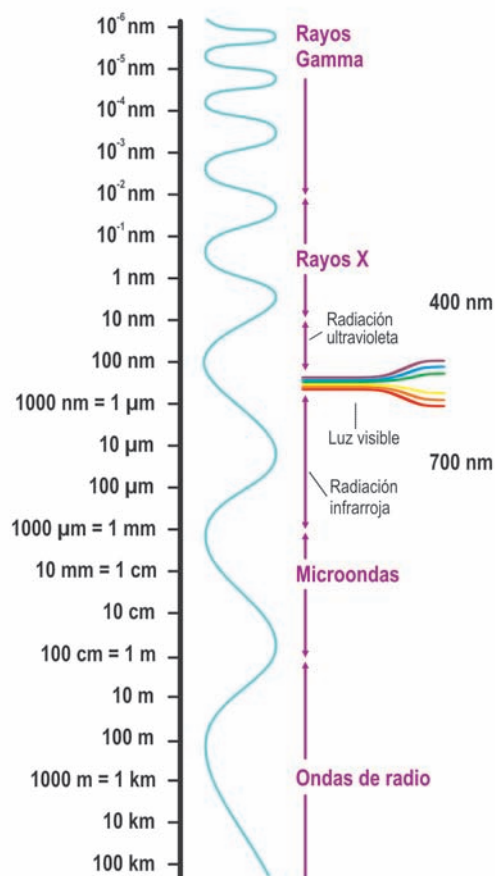


Figura 6.
Espectro
electromagnético.

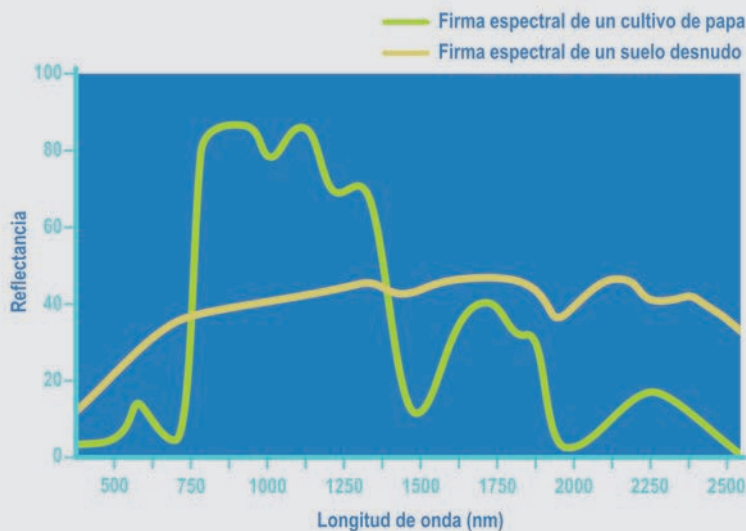
El visible (VIS) es una pequeña región del espectro electromagnético que apenas abarca desde los $0.4\text{ }\mu\text{m}$ hasta los $0.7\text{ }\mu\text{m}$. El color azul iría desde 0.4 hasta $0.5\text{ }\mu\text{m}$, el verde desde $0.5\text{ }\mu\text{m}$ hasta $0.6\text{ }\mu\text{m}$ y el rojo de $0.6\text{ }\mu\text{m}$ a $0.7\text{ }\mu\text{m}$. La energía ultravioleta (UV) se encuentra inmediatamente por debajo del color azul. Por encima del rojo se sitúa la región infrarroja (IR), que a su vez está dividida en tres categorías: IR próximo (NIR) ($0.7 - 1.3\text{ }\mu\text{m}$), IR medio (SWIR) ($1.3 - 3\text{ }\mu\text{m}$) e IR térmico (TIR) ($3 - 100\text{ }\mu\text{m}$). La porción de microondas se encuentra más allá del IR, a longitudes de onda mucho más grandes ($1\text{ mm} - 1\text{ m}$), que son las longitudes de onda más largas usadas en teledetección. De éstas, las más cortas tienen propiedades similares al IR térmico, mientras que las restantes son similares a las usadas en comunicaciones. En la actualidad existen discrepancias entre los científicos que usan las técnicas de teledetección en microondas y los encargados de establecer la asignación de frecuencias para las telecomunicaciones, ya que hay una gran competencia por determinar qué uso se le da a determinadas longitudes de onda dentro de esta región del espectro electromagnético.

Reflectancia de las superficies terrestres

La reflectancia espectral es una característica de las superficies terrestres, algo fundamental en teledetección. Se define como la proporción de energía incidente que es reflejada por una superficie. Por lo tanto, es una magnitud adimensional que puede tomar valores entre 0 y 1 ó porcentajes entre 0 y 100%. Para una determinada superficie este parámetro varía en función de la longitud de onda. Al gráfico de la reflectancia espectral frente a la longitud de onda se le denomina curva de reflectancia espectral o firma espectral (Figura 7). La configuración de estas curvas permite extraer las características espectrales de una superficie y tiene una gran influencia sobre la elección de la región espectral en la cual los datos de teledetección se deben adquirir para una aplicación particular.

Así, por ejemplo, las curvas de reflectancia espectral para la vegetación casi siempre manifiestan los picos y valles que se muestran en la Figura 7. Los valles en la región del visible vienen dados por los pigmentos en las hojas de las plantas.

La clorofila absorbe energía fuertemente en las bandas centradas en $0.45 \mu\text{m}$ y $0.67 \mu\text{m}$. Es por ello que nuestros ojos perciben la vegetación sana de color verde, debido a la gran absorción en azul y rojo por las hojas y la reflexión en el verde. Cuando la vegetación no está sana, disminuye la clorofila, y el resultado es un incremento de la reflectancia espectral en el rojo, por lo que las hojas se ven con un tono amarillento (mezcla de verde y rojo). Al llegar al IR próximo la reflectancia de la vegetación sana aumenta drásticamente. La región $0.7\text{-}1.3 \mu\text{m}$ refleja entre el 40 y el 50% de la energía incidente. El resto de la energía es transmitida casi en su totalidad, ya que en esta región la absorción es menor al 5%. La reflectancia de 0.7 a $1.3 \mu\text{m}$ es función de la estructura interna de las hojas. Como estas son distintas, nos permite diferenciar distintos tipos de vegetación, aunque en el visible sean muy similares. Más allá de $1.3 \mu\text{m}$ la reflectancia de las hojas es inversamente proporcional a su contenido de agua total, por lo que esta región del espectro es útil para detectar estrés hídrico en la vegetación.



Los suelos casi no presentan variación en la reflectancia a lo largo de todo el espectro electromagnético (Figura 7). Los principales factores que la afectan son: humedad, textura, rugosidad, presencia de óxidos de hierro y materia orgánica. La presencia de humedad hace decrecer la reflectancia, al igual que la rugosidad, la materia orgánica y la presencia de óxidos de hierro, estos últimos principalmente en el visible.

Figura 7.
Curvas de reflectancia espectral.

Características orbitales de los satélites de teledetección

Se denomina órbita a la trayectoria seguida por un satélite alrededor de la Tierra. Ésta depende de las características y objetivos de los sensores que van a bordo del satélite. En general, las órbitas quedan definidas por la altitud, orientación y rotación con respecto a la Tierra.

Las órbitas geoestacionarias son aquellas que describen los satélites que están situados a grandes alturas y siempre ven la misma porción de superficie terrestre (Figura 8 - izquierda). Su altura suele ser de 36.000 km y se mueven a una velocidad angular igual a la de la rotación de la Tierra, por lo que siempre permanecen en la misma posición relativa respecto a la superficie terrestre. Satélites meteorológicos como el METEOSAT tienen este tipo de órbitas.

Sin embargo, la mayor parte de los satélites de teledetección se diseñan para seguir una órbita de norte a sur, la cual, en conjunción con la rotación de la Tierra (de oeste a este), les permite cubrir la mayor parte de la superficie terrestre durante un cierto periodo de tiempo. A estas órbitas se les ha dado el nombre de cuasi polares, por la inclinación relativa con respecto a una línea trazada entre los polos norte y sur (Figura 8 - derecha). Además, muchos de los satélites de órbita cuasi polar también son heliosíncronos, ya que cubren la misma área del mundo a una hora local fija del

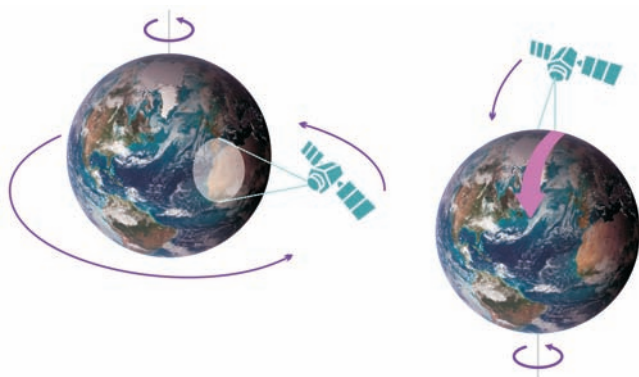


Figura 8.
Órbita geoestacionaria. Órbita cuasi polar.



Figura 9. Ancho de barrido.

día, llamada hora solar local. Esto significa que, a una latitud dada, la posición del Sol en el cielo, al igual que la posición del satélite que pasa por encima, será aproximadamente la misma dentro de la misma estación del año. Este hecho asegura condiciones de iluminación similares cuando se adquieren imágenes en una estación específica durante diferentes años, o en un área particular sobre una serie de días. Esta cuestión resulta fundamental para monitorizar cambios entre imágenes o para hacer mosaicos juntando imágenes adyacentes, al no tener que ser corregidas por diferentes condiciones de iluminación.

En el movimiento alrededor de la Tierra, el satélite sólo registra información de una porción de la misma. El ancho de la franja en la superficie terrestre que es capaz de registrar se denomina ancho de barrido (Figura 9). Este puede variar desde decenas a cientos de kilómetros, dependiendo del tipo de sensor y de la altura del satélite. Esta característica determinará en muchos satélites la capacidad para captar, en una sola pasada, un área determinada. Si el ancho del área a registrar es superior al ancho de barrido, la imagen no podrá ser captada en una sola toma y habrá que esperar a un segundo pase.

Varios satélites modernos tienen la capacidad de reorientar en cualquier dirección (*off-nadir*) el sensor durante la adquisición de imágenes y tomar franjas adyacentes en una única pasada. Este hecho se traduce en un aumento del ancho de barrido práctico del satélite, lo cual supone un incremento importante en la capacidad de adquisición de imágenes de los satélites que poseen esta tecnología (Figura 10).

También hay que tener en cuenta que los satélites con órbita cuasi polar pueden tomar muchas más imágenes de altas latitudes que de las zonas ecuatoriales debido al incremento del solape en anchos de barridos adyacentes, ya que las trayectorias de la órbita pasan todas muy juntas cerca de los polos.

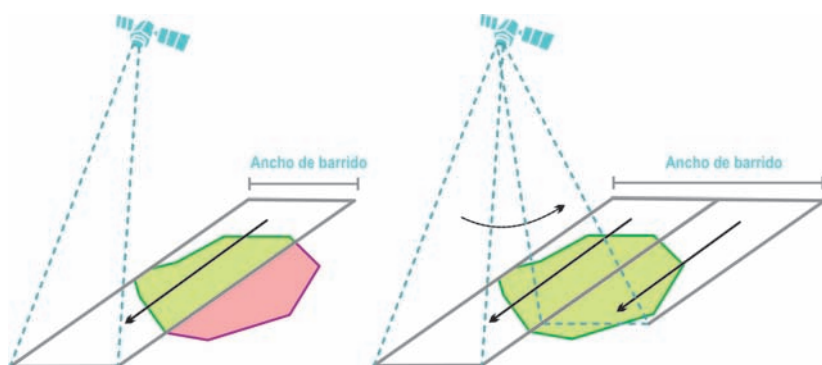


Figura 10. Barrido simple (izda.) frente a barrido múltiple (dcha.) en una sola pasada del satélite.

Resolución de los sensores remotos

Los sensores instalados en los satélites de teledetección poseen una serie de particularidades que determinan las características de las imágenes que van a proporcionar. Estas características vienen definidas básicamente por diferentes tipos de resolución:

Resolución Espacial

La resolución espacial es una medida de la distancia angular o lineal más pequeña que puede captar un sensor remoto de la superficie de la Tierra, y viene representada por un píxel. Un píxel es la unidad mínima que conforma una imagen digital (Figura 11).

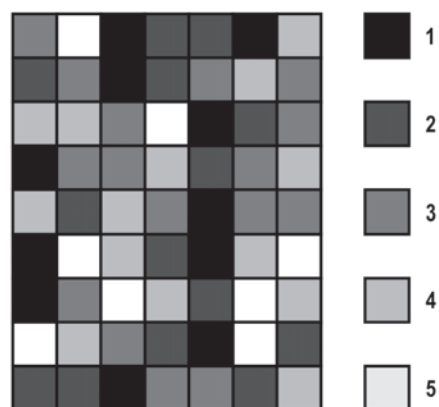


Figura 11. Formato de una imagen digital (7 x 9 píxeles). Cada píxel representa un área de la superficie terrestre. Los tonos de gris de cada píxel hacen referencia a distintos niveles de energía detectada.

El píxel es generalmente de forma cuadrada, por lo que la longitud medida sobre el terreno de un lado del píxel define la resolución espacial del sensor. La resolución espacial de un sensor se suele expresar en metros o metros/píxel.

Son varios los factores que determinan la resolución espacial de un sensor remoto (distancia sensor-superficie terrestre, ángulo de visión y campo de visión instantáneo). Para el caso de los sensores a bordo de satélites estos factores son prácticamente fijos, por lo que la resolución espacial puede ser considerada constante, siempre y cuando el ángulo de visión no sea grande. Por ejemplo, la resolución espacial del sensor del satélite GEOEYE-1 es de 1,64 m en visión vertical (nadir) pero a 28° pasa a ser de 2,00 m, un 22% menor.

Cuanto mayor sea la resolución espacial, es decir, menor superficie represente un píxel de la imagen, más pequeños serán los objetos que se pueden distinguir en la superficie y viceversa. A modo de ejemplo, una imagen con una resolución de 0,5 m/píxel permitirá distinguir objetos más pequeños que una imagen de 2 m/píxel, como se observa en la Figura 12.

Para que un objeto homogéneo pueda ser detectado, su tamaño tiene que ser generalmente igual o más grande que la superficie de terreno que representa un píxel. Si el objeto es más pequeño puede que no sea detectado y el sensor grabará un promedio de todo lo que haya dentro. Sin embargo, algunas veces se detectan objetos muy pequeños porque su reflectancia domina dentro de la superficie del píxel.



Figura 12. Imágenes con distinta resolución espacial: 2 m/píxel (arriba) frente a 0,5 m/píxel (abajo) Fuente: SATELMAC.

Resolución Espectral

Como se comentó previamente, las distintas superficies responden de manera diferente a la radiación electromagnética. Esto significa que se puede obtener una firma espectral específica para cada superficie. Así, los diferentes tipos de superficie, naturales o no, se pueden identificar en base a sus firmas espectrales (Figura 7), pero será necesario que el espectro sea suficientemente detallado en términos de intervalos de longitud de onda y que cubra un rango espectral ancho.

Los dispositivos de teledetección generalmente sólo muestrean el espectro electromagnético detectando la radiación en determinados intervalos de longitudes de onda (Figura 13). Por ejemplo,

un sensor que es sensible a las longitudes de onda entre 0.4 y 0.5 μm detectaría la luz azul. Este intervalo se conoce con el nombre de banda espectral o canal de los datos de una imagen.

Se define la resolución espectral de un sensor como el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar.

Un incremento en la resolución espectral resultará en un número mayor de canales o bandas espectrales. Sin embargo, esta resolución adicional supone también un costo en términos de volumen de datos e incremento del costo de procesamiento.

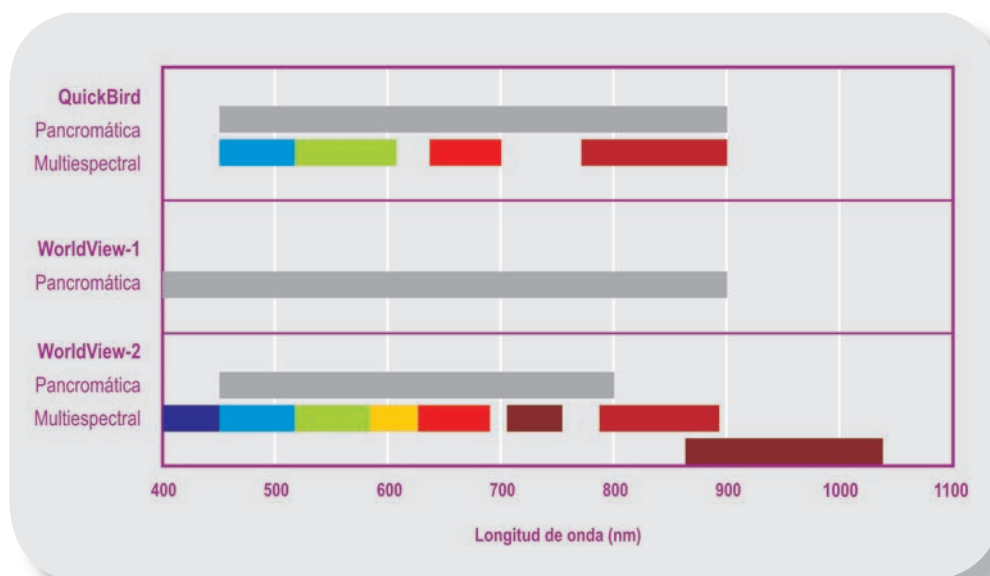


Figura 13. Bandas espectrales de diferentes sensores de teledetección.

Resolución Radiométrica

La resolución radiométrica de los datos de teledetección se define como la cantidad mínima de energía requerida para incrementar el valor de un píxel en un nivel digital (ND).

Asimismo, se define la amplitud o extensión radiométrica como el intervalo dinámico, o máximo número de niveles digitales, que pueden ser detectados por un sensor particular. En los sensores más recientes lo habitual suele ser que los niveles vayan de 0 a 2047. En este caso hablaríamos de 11 bits de resolución radiométrica, ya que todos los valores de ese intervalo se pueden representar mediante 11 bits (dígitos binarios) en un sistema digital.

La resolución radiométrica en imágenes digitales es comparable al número de tonos de gris en una fotografía en blanco y negro, ya que ambos se relacionan con el contraste. El ojo humano solo es capaz de percibir aproximadamente 30 tonos de gris diferentes, lo que implica que normalmente la información visual en las imágenes digitales es menor a la que realmente contienen.

Aunque la resolución radiométrica define el máximo número de niveles digitales detectables por un sensor, normalmente una imagen real no los contiene todos y además, no suele haber máximos y mínimos simultáneamente. En estos casos se pueden aplicar técnicas de tratamiento de imágenes para mejorar su apariencia visual, pero nunca la resolución radiométrica propia del sensor.

La dispersión y absorción que provoca la atmósfera en la radiación que alcanza el sensor reducen el número de ND en las imágenes, especialmente en las longitudes de onda más cortas. A efectos visuales esto se traduciría en una pérdida de contraste. Existen procedimientos que permiten obtener medidas de reflectancia relativas a los objetos de la superficie eliminando o reduciendo el efecto de la atmósfera (Figura 14).



Figura 14.
Imagen original captada por el satélite (arriba). Imagen corregida del efecto atmosférico (abajo).
Fuente: Satellite Imaging Corporation.

Resolución Temporal

La resolución temporal es el ciclo de repetición, o intervalo de tiempo, entre dos adquisiciones de imágenes sucesivas de una misma porción de la superficie y depende, en gran medida, de las características orbitales del satélite. Muchas veces también se la denomina periodo de revisita. Normalmente los satélites meteorológicos tienen una frecuencia diaria (NOAA) o incluso menor (METEOSAT), mientras que la de los satélites de recursos naturales (tipo LANDSAT) es de 16 a 18 días. Sin embargo, muchos satélites actuales tienen la capacidad de reorientar el sensor (Figura 15), lo que les permite aumentar su frecuencia de revisita para una zona determinada, muy importante en el seguimiento de desastres naturales o para detectar procesos que tienen poca perdurabilidad en el tiempo.

La resolución temporal de un sensor depende principalmente de tres factores: capacidad de reorientación del sensor a ambos lados de la línea de paso del satélite, del ancho de barrido y de la latitud, ya que en el caso de órbitas cuasi polares, a mayor latitud, menor periodo de revisita.

La posibilidad de captar imágenes de una misma zona de la superficie terrestre en diferentes periodos de tiempo o épocas del año, es una de las características más importantes de los satélites de teledetección. Las características espectrales de una superficie terrestre pueden cambiar a lo largo del tiempo. Estos cambios pueden ser detectados con la adquisición y comparación de imágenes multitemporales.

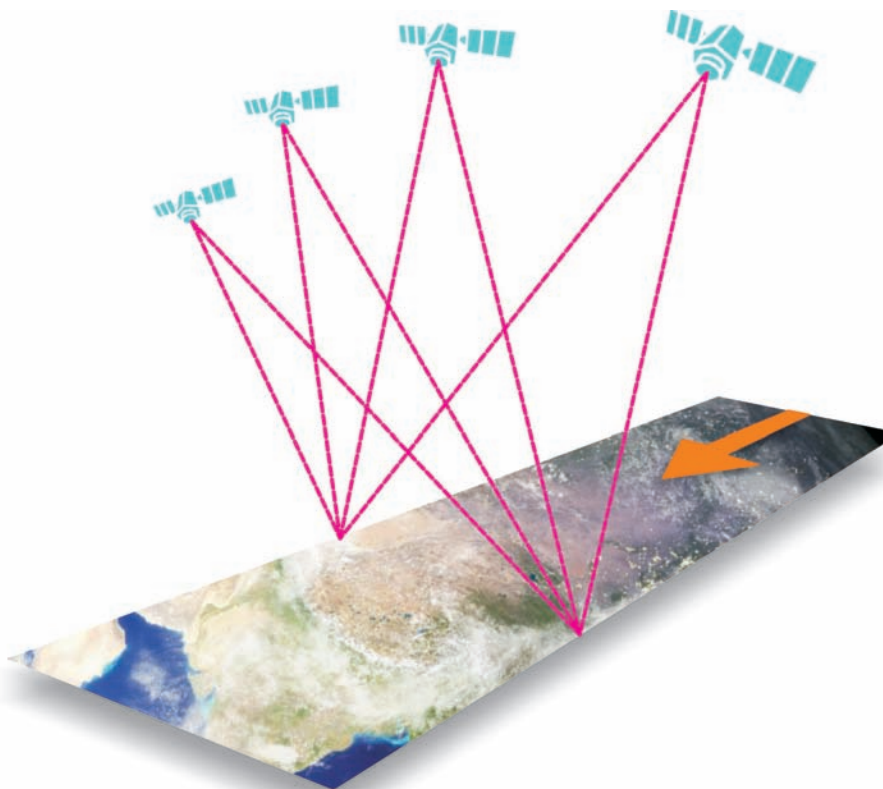


Figura 15.
Mayor resolución temporal gracias a la reorientación de sensores en pases consecutivos.



Tipos de imágenes de teledetección

El tipo de producto más común que suministran los satélites de teledetección es una imagen digital tipo raster (ver figura 11), donde cada píxel tiene asignado uno o varios valores numéricos (niveles digitales) que hacen referencia a la energía media recibida dentro de una determinada banda espectral. Teniendo esto en cuenta, se pueden adquirir los siguientes tipos de imágenes:

Imagen multispectral (MS). Imagen que lleva asociados varios valores numéricos a cada píxel, tantos como bandas espectrales sea capaz de detectar el sensor. A priori, es el tipo de producto más útil ya que nos proporciona, en cierto modo, la firma espectral de los distintos elementos presentes en la imagen. Así, por ejemplo, el satélite *IKONOS* proporciona una imagen multispectral con 4 bandas, que cubren las regiones espectrales correspondientes al azul, verde, rojo e infrarrojo próximo. Cuanto mayor sea el número de bandas que proporciona el sensor, mayor será la capacidad de análisis de los elementos presentes en la imagen.

Aparte de las multispectrales también existen las denominadas **imágenes hiperespectrales**, menos habituales. Vienen caracterizadas por poseer información en un gran número de bandas. Se requieren para estudios de identificación y clasificación muy precisos, principalmente en mineralogía. A día de hoy provienen de algunos satélites de tipo experimental, como es el caso del sensor *HYPERION* (220 bandas), a bordo del satélite *EO-1*, por lo que su disponibilidad es bastante limitada.

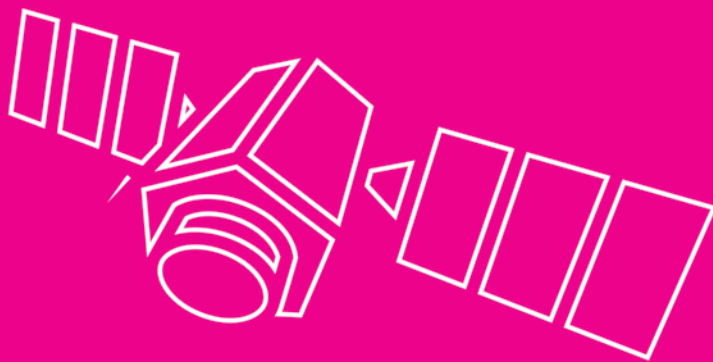
Imagen pancromática (PAN). Dispone de una sola banda espectral que abarca comúnmente gran parte del visible y comienzo del infrarrojo, obteniendo como resultado una imagen que habitualmente se representa en una escala de grises (imagen en blanco y negro). Como contrapartida,

tienen la ventaja de poseer mayor resolución espacial que las multispectrales que proporciona el mismo satélite. Es por ello que son muy interesantes para la detección de pequeños elementos de la superficie terrestre que no son distinguibles en la imagen multispectral.

En aquellos satélites donde existe la posibilidad de obtener imágenes multispectrales y pancromáticas de forma simultánea es habitual la opción de suministrar, bajo pedido, ambas imágenes en lo que se conoce como opción *Bundle*.

Imagen fusionada (PS). Este tipo de imagen se obtiene mediante la fusión de una imagen multispectral con una pancromática. Las siglas PS provienen de *pan-sharpened*, su denominación en inglés. Básicamente, consiste en asignar a cada píxel de la imagen pancromática los valores procedentes de un algoritmo que combina la imagen pancromática con la multispectral. El resultado final es una imagen multispectral con la resolución espacial de la pancromática. El inconveniente de este tipo de imágenes es que se modifica la información espectral original captada por los sensores a través de los algoritmos usados, por lo que se suelen utilizar únicamente como herramientas de interpretación visual y no para análisis espectral. Esta fusión se encuentra dentro de la oferta de los distribuidores oficiales de los satélites capaces de obtener una imagen multispectral y pancromática. Dicha fusión, con el software adecuado, puede ser realizada por los usuarios.

Imagen estéreo. En realidad se refiere a dos imágenes de una misma zona tomadas con ángulos de visión distintos. Muchos satélites tienen la capacidad de reorientar el sensor, lo que les permite tomar, en una o en sucesivas pasadas, este tipo de imágenes. Se suelen emplear para generar modelos de elevación del terreno.



Satélites de Teledetección

Según datos extraídos de la *Union of Concerned Scientists* <http://www.ucsusa.org> en la actualidad (febrero de 2012) hay más de 900 satélites orbitando la Tierra, de los que la mayoría, aproximadamente un 60%, son de comunicaciones. Los satélites de teledetección son aproximadamente unos 120. Todos los años son varios los satélites de este tipo que se lanzan al espacio y otros tantos los que dejan de estar operativos, por lo que su número varía permanentemente.

En el futuro, el número de satélites de teledetección en órbita continuará aumentando, así como las constelaciones de satélites con sensores cada vez más perfeccionados para conseguir un mejor conocimiento de los fenómenos a observar.

En este documento únicamente se van a describir los satélites de teledetección que cumplan con las siguientes características:

- Que se encuentren operativos en la fecha de elaboración de esta publicación.
- Que posean una resolución espacial igual o superior a los 30 metros/píxel, aproximadamente.
- Que sus productos estén disponibles por alguna vía de comercialización relativamente sencilla.

Se han dejado fuera de este catálogo los sensores de microondas tipo RADAR. Estos presentan la ventaja de poder operar en casi cualquier situación meteorológica (nubosidad, lluvia ligera, etc.), sin embargo el procesamiento e interpretación de sus imágenes requiere una metodología muy diferente a la relatada en este documento.

Para cada uno de los satélites descritos, ordenados por orden alfabético, se ha intentado homogeneizar la información mostrada, aunque esto no siempre ha sido posible dada la gran disparidad de documentación existente sobre cada uno de ellos.

Cada satélite incluye un encabezado que describe de forma esquemática las principales características que lo definen.



Indica el nombre del sensor, que en el caso de muchos satélites, al ser sólo uno, se ha optado por indicar el nombre del propio satélite. En el caso de satélites con varios sensores se añaden varias casillas, una por cada sensor.



Indica la resolución espacial que proporciona el sensor. Esta puede variar dependiendo del ángulo de visión del satélite, por lo que se muestra la máxima posible en la vertical de paso de la órbita (nadir). En el caso de satélites que tienen varios sensores, se especifica la resolución espacial de cada uno de ellos.



Indica el número de bandas espectrales que proporciona el sensor.



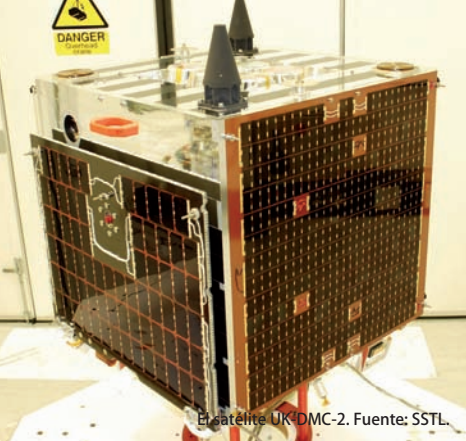
Indica la resolución temporal del sensor. Este dato es relativamente ambiguo, ya que esta característica varía dependiendo de la latitud y del ángulo con que se “fuerce” al satélite a adquirir la imagen. Por lo tanto el dato que aparece es orientativo y tiene como finalidad que el lector se haga una idea de la periodicidad potencial del satélite para cubrir una misma zona.



Este dato refleja el precio mínimo por kilómetro cuadrado de una imagen por encargo en la fecha de elaboración de este catálogo. Se ha optado por incluir esta información para que el lector se haga una idea aproximada de lo que costaría adquirir una imagen de una zona concreta. El precio final depende de multitud de factores (tamaño del pedido, prioridad, porcentaje de nubes mínimo, grado de procesamiento de la imagen, posibles descuentos, etc.) por lo que siempre será necesario contactar con la empresa suministradora y determinar exactamente el tipo de producto que se requiere para conocer el precio exacto.

Además de estas características básicas, se indica la página web de la misión o del gestor actual del satélite.

Al final de la descripción de cada satélite se indican las fuentes de donde ha sido obtenida la información, para que el lector pueda ampliar su conocimiento sobre cada satélite.



El satélite UK-DMC-2. Fuente: SSTL.

DMC

Sensores	Resolución espacial	Nº bandas	Resolución temporal	Precio
				
SLIM-6	32 m	3	< 1 día	0,13 €/km ²
SLIM-6-22	22 m	3	< 1 día	0,14 €/km ²

<http://www.dmcii.com>

Descripción general

DMC (*Disaster Monitoring Constellation*) es una constelación de satélites de teledetección de múltiples nacionalidades, inicialmente concebida para el seguimiento de catástrofes naturales, con una cobertura de más de una visita diaria a cualquier punto del globo. Dicho periodo de revisita permite su utilización en multitud de aplicaciones y campos.

Los satélites de la constelación han sido diseñados y construidos por la compañía británica *Surrey Satellite Technology Ltd.* (SSTL), y según su nacionalidad son operados por instituciones o compañías diferentes. Las compañías que operan estos satélites conforman un consorcio en el que las imágenes obtenidas por cada uno de ellos están a disposición del resto.

Formando parte de la constelación se encuentra el DEIMOS-1, primer satélite comercial español de observación de la superficie terrestre, operado por la compañía *Deimos Imaging*, empresa del sector aeroespacial ubicada en el parque tecnológico de Boecillo, Valladolid.

En la actualidad la constelación está conformada por los satélites que se muestran en la Tabla 1.

Satélite	País	Lanzamiento
ALSAT-1	Argelia	28-11-2002
NIGERIASAT-1	Nigeria	27-09-2003
UK-DMC	Reino Unido	27-09-2003
BEIJING-1	China	27-10-2005
DEIMOS-1	España	29-07-2009
UK-DMC2	Reino Unido	29-07-2009

Tabla 1. Satélites operativos de la DMC.

Banda	Región espectral	Ancho de banda (nm)	Resolución (m)
0	NIR	770-900	32 (en la vertical)
1	Rojo	630-690	
2	Verde	520-600	

Tabla 2. Bandas espectrales del sensor SLIM-6.

Banda	Región espectral	Ancho de banda (nm)	Resolución (m)
0	Verde	520-600	22 (en la vertical)
1	Rojo	630-690	
2	NIR	770-900	

Tabla 3. Bandas espectrales del sensor SLIM-6-22.

Sensores

En el conjunto de la constelación coexisten dos tipos de cámara multispectral: **SLIM-6** (ALSAT-1, BEIJING-1, NIGERIASAT-1 y UK-DMC) y **SLIM-6-22** (DEIMOS-1 y UK-DMC2). Las características básicas de cada uno de estos sensores se muestran en las Tablas 2 y 3.

Los sensores SLIM-6 y SLIM-6-22 cubren una franja bajo la dirección de paso de los satélites de 600 y 660 km respectivamente.

Imágenes

Las imágenes obtenidas y comercializadas por la constelación de satélites son de tipo multispectral. El pedido mínimo para nuevas adquisiciones es de 25.600 km² (160 x 160 km). Las imágenes se sirven tras realizar tres intentos, y en caso de que el porcentaje de nubes sea mayor del 20% se realizará un descuento sobre los precios que se detallan en la Tabla 4.

Las imágenes se sirven por defecto en el nivel **L1T** (ortorrectificadas), aunque también están disponibles, bajo petición expresa, en el nivel **L1R** (corrección radiométrica).

En caso de petición de imágenes únicamente procedentes de DEIMOS-1, hay que tener en cuenta que el periodo de revisita oscila entre 2 y 3 días. En este caso, *Deimos-Imaging* ha proporcionado los siguientes datos sobre la comercialización de las mismas (Tabla 5).

Para imágenes de archivo de DEIMOS-1 el tamaño mínimo del pedido es de 6.000 km², mientras que para las nuevas adquisiciones se eleva hasta los 10.000 km². Las imágenes de archivo disponibles se pueden consultar en <http://www.deimos-imaging.com/extcat/>.

	Resolución 32m - 22 m	Resolución 22 m
Nueva adquisición estándar	0,13	0,14
Archivo (<3 meses)	0,05	0,06
Archivo (<1 año)	0,03	0,04
Archivo (>1 año)	0,02	0,02

Tabla 4. Precios de nuevas adquisiciones e imágenes de archivo de la DMC (€/km²).

Producto	€/ km ²
Archivo reciente (menos de 3 meses)	0,09
Archivo estándar	0,06
Programación estándar	0,15
Programación prioritaria	0,25

Tabla 5. Precios de los productos DEIMOS-1.

Comercialización

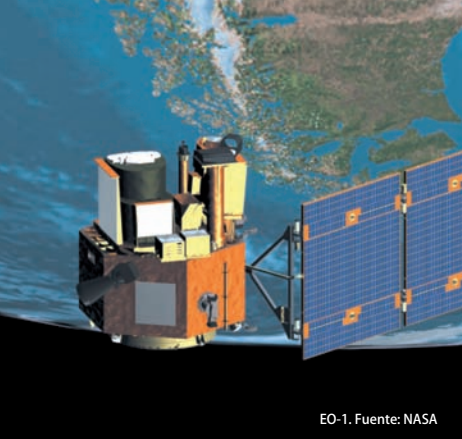
Las imágenes de la DMC son comercializadas por *DMC Internacional Imaging* <http://www.dmcii.com>.

Para la petición de imágenes de DEIMOS-1 o programación de nuevas adquisiciones hay que contactar directamente con *Deimos Imaging* <http://www.deimos-imaging.com> o bien con *Astrium Geo-Information Services (SPOT Image)*, que en este caso es el distribuidor internacional de las imágenes de DEIMOS-1.



Imagen DEIMOS-1. Áreas cultivadas en Louisiana (Estados Unidos). Fuente: Spot Image.

Fuentes:
DMC <http://www.dmcii.com>
SSTL <http://www.sstl.co.uk>
Deimos Imaging <http://www.deimos-imaging.com>
Spot Image <http://www.spotimage.com>



EO-1. Fuente: NASA

EARTH OBSERVING – 1 (EO-1)

Sensores	Resolución espacial	Nº bandas	Resolución temporal	Precio
				
ALI	MS: 30 m PAN: 10 m	9	16	-----
HYPERION	30 m	220	16	-----

<http://eo1.usgs.gov>

Descripción general

Satélite experimental de la NASA del denominado "New Millennium Program" (NMP) lanzado el 21 de noviembre de 2000. En él se han probado y validado nuevas tecnologías para aplicar en futuras misiones continuadoras del programa LANDSAT, con el fin de reducir los altos costes actuales. A efectos de poder comparar espacial y temporalmente las imágenes obtenidas, la órbita de EO-1 se ha diseñado de tal modo que pase 1 ó 2 minutos después del LANDSAT-7. El satélite orbita a una altitud de 705 km.

Sensores

El satélite lleva a bordo los siguientes sensores:

- **ALI** (*Advanced Land Imager*). Sensor multiespectral equivalente al ETM+ de LANDSAT-7, con la diferencia de poseer 10 bandas (ETM+ posee 7), que abarcan el mismo ancho del espectro, con una resolución espacial de 30 metros. Una de estas bandas corresponde al canal pancromático (480-690 nm), con una resolución espacial de 10 metros. El ancho de barrido es de 37 km y tiene una capacidad de visión lateral de hasta 15°.

- **HYPERION**. Sensor hiperspectral que dispone de 220 bandas que van desde los 400 hasta los 2.500 nm, cada una con un ancho espectral de 10 nm y 30 metros de resolución espacial. El ancho de barrido es de 7,7 km.

Imágenes

EO-1 suministra imágenes multiespectrales captadas por el sensor ALI e hiperspectrales del sensor HYPERION, con la resolución reseñada anteriormente. El tamaño de las escenas es de 37 x 42 km para el sensor ALI y de 7,7 x 42 km para HYPERION. Existe la opción, en ambos casos, de ampliar el largo de la escena hasta 185 km. Tanto las imágenes de archivo como las nuevas adquisiciones son gratuitas.

Comercialización

El satélite, al ser experimental, no adquiere imágenes de forma continua y a su vez tiene periodos donde no opera. Para la descarga de imágenes de archivo basta con acceder a las páginas web <http://glovis.usgs.gov> o <http://earthexplorer.usgs.gov>.

Para la solicitud de nuevas imágenes hay que darse de alta como usuario registrado de USGS (*United States Geological Survey*) y presentar vía on-line una petición de adquisición de datos en <http://edcscns17.cr.usgs.gov/eo1/dar/instructions>.

Fuentes:
USGS <http://eo1.usgs.gov>



Erupción submarina de El Hierro,
Islas Canarias. Imagen del sensor ALI tomada
el 2 de noviembre de 2011. Fuente: NASA.



EROS-A. Fuente: Image Sat

EROS-A / EROS-B

Sensores	Resolución espacial	Nº bandas	Resolución temporal	Precio
				
CCD (EROS A)	PAN: 1,8 m	1	4 días	-----
CCD-TDI (EROS B)	PAN: 0,7 m	1	4 días	15 €/km²

<http://www.imagesatintl.com>

Descripción general

EROS (*Earth Resources Observation Satellite*) es una serie de satélites comerciales de nacionalidad israelí diseñados por *Israel Aircraft Industries*. Los satélites son operados por la empresa *ImageSat International*.

En la actualidad se encuentran operativos dos, el EROS-A y el EROS-B, orbitando a 510 km de altura. El primero de ellos fue lanzado el 5 de diciembre de 2000, y el EROS-B el 25 de abril de 2006.

Las imágenes obtenidas por estos satélites son pancromáticas y se suelen utilizar en el control de cambios sobre el terreno, seguridad, aplicaciones militares, análisis de texturas, etc. El periodo de revisita para la latitud de Canarias (28°N), según información facilitada por *ImageSat*, es de 4 días de media.

Sensores

Los sensores de estos satélites son cámaras pancromáticas con una capacidad de visión lateral de hasta 45° respecto a la vertical, lo que se traduce en un corredor potencial para la toma de imágenes de unos 960 km. El ancho de barrido es de 14 km para el EROS-A y 7 km para el EROS-B. También son capaces de obtener imágenes estéreo.

Las características básicas de la cámara pancromática que lleva a bordo cada uno de los satélites se enumeran en las Tablas 6 y 7.

Banda	Región espectral	Ancho de banda (nm)	Resolución (m)
	Pancromático	500-900	1,9 (en la vertical)

Tabla 6. Banda espectral de la cámara de EROS-A.

Banda	Región espectral	Ancho de banda (nm)	Resolución (m)
	Pancromático	500-900	0,7 (en la vertical)

Tabla 7. Banda espectral de la cámara de EROS-B.

Imágenes

Los satélites EROS adquieren y suministran los siguientes tipos de imágenes pancromáticas:

- **Basic Image:** El tamaño mínimo de escena es de 14 x 14 km para el EROS-A y de 7 x 7 km para el EROS-B. A petición del cliente la longitud se puede incrementar. El precio facilitado es de 15 €/km² (EROS-B).

- **Estereo:** Dos imágenes superpuestas de la misma zona, tomadas con ángulos diferentes. Tamaño de escena: 14 x 14 km (EROS-A) y 7 x 21 km (EROS-B). El precio es de 30 €/km² (EROS-B).

Las imágenes de archivo tienen un coste de 400 €por escena.

Atendiendo al grado de procesado los tipos de productos enumerados están disponibles en 3 niveles: **0A** (datos brutos procedentes del satélite), **1A** (corrección radiométrica) y **1B** (corrección geométrica).

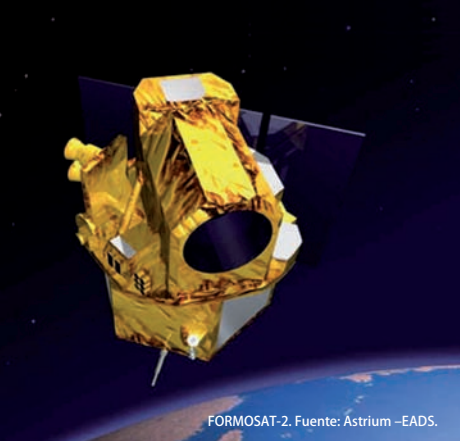
Comercialización

Las imágenes de EROS son distribuidas y comercializadas por *ImageSat International* <http://www.imagesatintl.com>.

Fuente:
ImageSat <http://www.imagesatintl.com>



Imagen del puerto ucraniano de Odesa, tomada por EROS-B. Fuente: ImageSat.



FORMOSAT-2. Fuente: Astrium –EADS.

FORMOSAT-2

Sensores	Resolución espacial	Nº bandas	Resolución temporal	Precio
				
FORMOSAT-2	MS: 8 m PAN: 2 m	4	1 día	6,08 €/km ²

<http://www.nspo.org.tw>

Descripción general

FORMOSAT-2, denominado inicialmente ROCSAT-2, es un satélite de nacionalidad taiwanesa, propiedad de NSPO (*National Space Organization*) y de fabricación europea (*Astrium-EADS*). Fue lanzado el 21 de mayo de 2004.

FORMOSAT-2 es uno de los pocos satélites de teledetección que aúnan una buena resolución espacial con un periodo de revisita diaria, aunque esta característica, basada en su órbita geosíncrona, supone que no sea capaz de cubrir toda la superficie terrestre. Una serie de franjas con orientación norte-sur, que se ensanchan con la cercanía del ecuador, quedan sin cubrir por el satélite (Figura 16).

Debido a esta característica, el satélite sólo puede adquirir imágenes, con un ángulo de visión muy oblicuo, de dos de las islas Canarias, Lanzarote y Fuerteventura, quedando el resto de las islas fuera de su alcance. Sin embargo, en la Península Ibérica y las islas Azores existe una cobertura total, con lo que se podrían adquirir imágenes con una frecuencia diaria.

Sensores

Las características básicas del sensor a bordo del satélite se muestran en la Tabla 8. El ángulo de visión puede llegar a los 45° y el ancho de barrido en la vertical de paso del satélite es de 24 km. La capacidad de reorientación del sensor le permite además capturar imágenes estereoscópicas.

Banda	Región espectral	Ancho de banda (nm)	Resolución (m)
	Pancromático	450-900	2
1	Azul	450-520	8
2	Verde	520-600	
3	Rojo	630-690	
4	NIR	760-900	

Tabla 8. Bandas espectrales del satélite FORMOSAT-2.

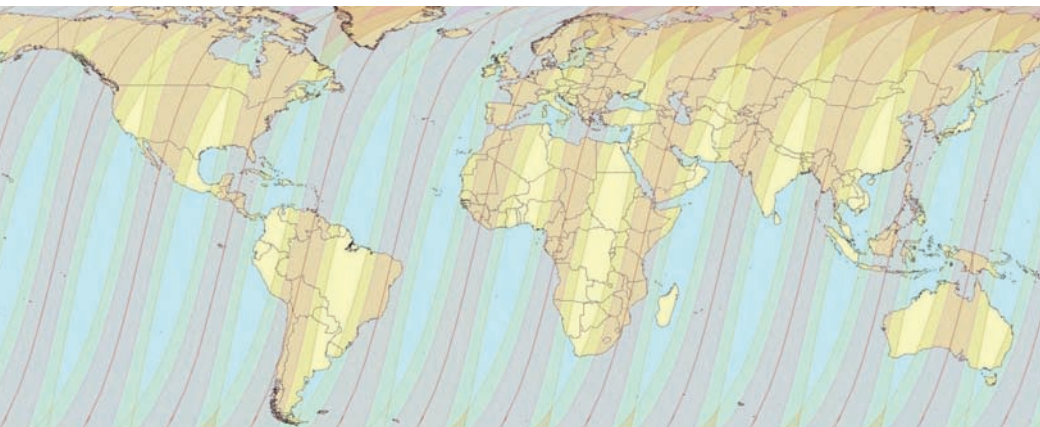


Figura 16.
Cobertura diaria
del satélite
FORMOSAT-2,
a 30 y 45 grados.
Fuente: Infoterra.

Imágenes

Las imágenes de FORMOSAT-2 se suministran como escenas completas de 24 x 24 km (576 km²). Se pueden adquirir 3 tipos de imágenes:

- **B&W 2m:** Imagen pancromática de 2 m/píxel de resolución espacial.
- **Multispectral 8m:** Imagen multispectral de 8 m/píxel, con 4 bandas (azul, verde, rojo y NIR).
- **Colour 2m:** Imagen fusionada de 2 m/píxel, con 3 bandas.

Existe la opción de suministro conjunto de las imágenes pancromática y multispectral (**Bundle**).

Grados de procesado:

- **Nivel 1A:** Imagen corregida radiométricamente.
- **Nivel 2A:** Además de las correcciones radiométricas se realiza una corrección geométrica para proyectar la imagen en un sistema de coordenadas (por defecto, UTM WGS84).

• **Ortho:** La imagen, corregida radiométrica y geométrica, se ortorectifica en base a puntos de control y un modelo de elevación del terreno suministrado por el usuario.

En función de estos niveles de procesamiento y del tipo de imagen que se solicite los precios por encargo varían desde los 3.500 €/escena (6,08 €/km²) de la imagen en blanco y negro o la multispectral (nivel **1A** ó **2A**), hasta los 4.600 €/escena (7,99 €/km²) de la imagen fusionada ortorectificada. Se aplican otras tarifas dependiendo de la prioridad del pedido, de la finalidad de su uso o del número de licencias.

Comercialización

Spot Image <http://www.spotimage.com> es el distribuidor exclusivo a nivel mundial de las imágenes captadas por el satélite FORMOSAT-2.

Fuentes:

NSPO <http://www.nspo.org.tw>

Spot Image <http://www.spotimage.com>

Peñón de Gibraltar.
Imagen pancromática de 2 m
de resolución espacial del satélite
Formosat-2.
Fuente: Satellite Imaging Corporation.





GeoEye-1. Fuente: Spacenews

GEOEYE-1

Sensores	Resolución espacial	Nº bandas	Resolución temporal	Precio
				
GEOEYE-1	MS: 2 m PAN: 0,5 m	4	3 días	25 \$/km ²

<http://www.geoeye.com>

Descripción general

Lanzado el 6 de septiembre de 2008, GEOEYE-1 es un satélite comercial estadounidense de muy alta resolución. Es uno de los satélites comerciales que ofrece una mayor resolución espacial en la actualidad. El principal inversor y cliente del satélite es *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA), mientras que el segundo inversor y más conocido cliente es Google, que tiene acceso directo a las imágenes con las que actualiza su visor cartográfico *Google-Earth*. El satélite orbita a 681 km de altura.

Está previsto el lanzamiento del satélite GEOEYE-2 hacia el año 2013, el cual proporcionará una resolución espacial de 0,25 m/píxel, aunque las limitaciones actuales que pone el gobierno de Estados Unidos no permiten la comercialización de imágenes con resolución superior a 50 cm/píxel.

Sensores

El sensor de GEOEYE-1 es capaz de adquirir 350.000 km² de imágenes multiespectrales diarias. La agilidad de captura le permite además registrar, en una sola pasada, hasta una superficie contigua de 300 x 50 km, a pesar de que el ancho de barrido es de tan solo 15,2 km en la vertical. El ángulo de visión lateral del sensor puede alcanzar hasta 30 grados.

Las principales características del sensor se muestran en la Tabla 9.

Banda	Región espectral	Ancho de banda (nm)	Resolución (m)
Pancromático		450-800	0,41 (en la vertical)* 0,50 (a 28° de la vertical)
1	Azul	450-510	1,64 (en la vertical)** 2 (a 28° de la vertical)
2	Verde	510-580	
3	Rojo	655-690	
4	NIR	780-920	

Tabla 9. Bandas espectrales del satélite GEOEYE-1.

*La resolución se rebaja a 0,50 metros en la entrega de las imágenes para su uso comercial.

**La resolución se rebaja a 2 metros en la entrega de las imágenes para su uso comercial.

Imágenes

Se suministran tres tipos de imágenes:

- **PAN:** Imagen pancromática con 0,5 m de resolución espacial.
- **MS:** Imagen multiespectral (4 bandas), de 2 m de resolución espacial.
- **PS:** Una fusión de las imágenes PAN y MS, que consigue una imagen de 3 ó 4 bandas con una resolución espacial de 0,5 m.

Atendiendo el **grado de procesado** se suministran básicamente tres tipos de imágenes:

- **Geo:** La imagen está corregida radiométricamente y proyectada en un sistema de coordenadas, pero no está ortorrectificada, para lo cual, se suministra junto con la imagen la información necesaria para poder ortorrectificarla con programas estándar que manejen este tipo de imágenes. El precio comienza en los 25 \$/km² para un pedido normal y aumenta en función de varios factores como son la prioridad del pedido, el ángulo máximo de adquisición o el porcentaje de nubes máximo. La superficie mínima que puede encargarse es de 100 km².

- **Geoprofessional:** En este caso la imagen se suministra corregida radiométricamente y ortorrectificada, por lo que está lista para ser usada directamente como un producto cartográfico. El precio comienza a partir de los 35 \$/km² y se incrementa de la misma forma que las imágenes **Geo**. La superficie mínima de pedido es de 100 km². Es posible adquirir un producto de mayor precisión **-Geoprofessional Precision-**, que incluye puntos de control en la corrección geométrica, cuyo precio inicial es de 40 \$/km².

- **GeoStereo:** Son dos imágenes de una misma zona tomadas desde distintos ángulos de visión y que permiten la elaboración de modelos digitales del terreno o la extracción de alturas de edificios. El precio comienza en 40 \$/km² y se incrementa de la misma forma que los tipos anteriores. Del mismo modo también existe la opción de adquirir el producto **GeoStereo Precision**, con mayor precisión geométrica y con un coste que comienza en 50 \$/km².

Todas las imágenes anteriores se pueden adquirir como PAN, MS, PS (3 ó 4 bandas) ó PAN+MS (**Bundle**), por el mismo precio.

Las imágenes de GEOEYE-1 se sirven con un máximo de un 15% de nubes por defecto. Un menor porcentaje puede ser solicitado a cambio de un incremento en el coste de la imagen.

Comercialización

Las imágenes del satélite GEOEYE-1 son comercializadas en Europa y Norte de África por e-GEOS <http://www.e-geos.it>. Esta empresa está conformada en un 80% por el grupo *Telespazio*, que tiene entre sus socios a la empresa *Aurensis*, en España.

Imagen de GEOEYE-1
en color verdadero de
la zona norte de Tenerife.
Fuente: SATELMAC.

Fuentes:
GEOEYE <http://www.geoeeye.com>
e-GEOS <http://www.e-geos.it>



IKONOS. Fuente: GeoEye.

IKONOS

Sensores	Resolución espacial	Nº bandas	Resolución temporal	Precio
				
IKONOS	MS: 4 m PAN: 1 m	4	3 a 5 días	20 \$/km ²

<http://www.geoeeye.com>

Descripción general

IKONOS fue el primer satélite comercial en proporcionar imágenes de satélite de muy alta resolución espacial (1 m en el canal pancromático y 4 m en el multiespectral), lo cual supuso un importante hito en la historia de la observación de la Tierra desde el espacio.

Su lanzamiento, el 24 de septiembre de 1999, siguió al intento fallido de poner en órbita al IKONOS-1. Las imágenes comenzaron a ser comercializadas el 1 de enero del año 2000. El propietario actual de este satélite es la empresa GeoEye. El satélite gira en torno a la Tierra en una órbita heliosíncrona a 681 km de altura.

Sensor

El sensor que lleva a bordo el satélite IKONOS proporciona 4 bandas espectrales a una resolución de 4 m/píxel y una banda pancromática a 1 m/píxel. El ancho de barrido en la vertical es de 11,3 km, que permite un periodo de revisita de 3 a 5 días dependiendo del ángulo que se emplee para tomar las imágenes y de la latitud de la zona a la que se apunte. La Tabla 10 muestra un resumen de las bandas espectrales que puede registrar este sensor.

Banda	Región espectral	Ancho de banda (nm)	Resolución (m)
	Pancromático	526-929	0,82 (en la vertical) 1 (a 26° de la vertical)
1	Azul	445-516	3,28 (en la vertical) 4 (a 26° de la vertical)
2	Verde	505-595	
3	Rojo	632-698	
4	NIR	757-853	

Tabla 10. Bandas espectrales del satélite IKONOS.

Imágenes

Las características de las imágenes son exactamente iguales a las del satélite GEOEYE-1 en cuanto a los tipos (**PAN**, **MS** y **PS**) y al grado de procesamiento (**Geo**, **GeoProfessional** y **GeoStereo**), con la diferencia de que la resolución espacial del IKONOS es de 1 m en pancromática y **PS** y de 4 m en las imágenes multiespectrales.

Los precios son algo inferiores a los de las imágenes de GEOEYE-1. Las imágenes por encargo varían desde los 20 \$/km² para el grado de procesamiento **Geo** hasta los 45 \$/km² para las **GeoStereo Precision**.

Comercialización

Las imágenes del satélite IKONOS son comercializadas en Europa y Norte de África por e-GEOS <http://www.e-geos.it>.

Fuentes:
GEOEYE <http://www.geoeeye.com>
e-GEOS <http://www.e-geos.it>



Regadíos en Arabia Saudi.
Imagen PS del satélite IKONOS.
Fuente: Space Imaging.



KOMPSAT-2. Fuente: KARI.

KOMPSAT-2

Sensores	Resolución espacial	Nº bandas	Resolución temporal	Precio
				
KOMPSAT-2	MS: 4 m PAN: 1 m	4	3 días (*)	15 \$/km ²

<http://www.kari.re.kr/english>

Descripción general

KOMPSAT-2 (*K*Orea *M*ulti-*P*urpose *S*ATellite-2), también conocido como *ARIRANG-2*, es un satélite surcoreano de teledetección cuyo lanzamiento tuvo lugar el 26 de julio de 2006. El satélite fue fabricado por *EADS/Astrium* y es operado por KARI (*Korea Aerospace Research Institute*). Se encuentra en una órbita heliosíncrona a 685 km de altura.

Durante la primera mitad del año 2012 está previsto el lanzamiento del KOMPSAT-3, en principio un satélite de observación terrestre con cobertura únicamente para la península de Corea.

Sensor

El satélite lleva a bordo un sensor con las características que se presentan en la Tabla 11.

El satélite posee capacidad de visión lateral de hasta 30° respecto a la vertical, lo que se traduce en un corredor potencial para la toma de imágenes de unos 790 km. El ancho de barrido del sensor es de 15 km.

Banda	Región espectral	Ancho de banda (nm)	Resolución (m)
	Pancromático	500-900	1 (en la vertical)
1	Azul	450-520	4 (en la vertical)
2	Verde	520-600	
3	Rojo	630-690	
4	NIR	760-900	

Tabla 11. Bandas espectrales del satélite KOMPSAT-2.

Imágenes

KOMPSAT suministra los siguientes tipos de imágenes:

- **PAN:** Imagen pancromática de 1 metro de resolución espacial.
- **MS:** Imagen multispectral de 4 bandas y 4 metros de resolución espacial.
- **PS:** Una fusión de las imágenes **PAN** y **MS**, que consigue una imagen de 4 bandas, con una resolución espacial de 1 m.

También existe la opción de suministro de imagen multispectral y pancromática de una misma zona (**Bundle**).

El pedido mínimo para cualquiera de estas opciones varía entre 100 y 225 km², en función del nivel de procesamiento requerido. Asimismo, el precio para las imágenes de nueva adquisición oscila entre los 15 y 25 \$/km², para el nivel de procesado **estándar** (**1A:** corrección radiométrica y **2A:** corrección geométrica) y **orto** (ortorrectificación) respectivamente. Para las imágenes de archivo los precios son 7,5 \$/km² (**estándar**) y 16 \$/km² (**orto**).

Comercialización

Spot Image <http://www.spotimage.com> es el distribuidor mundial de las imágenes captadas por el satélite KOMPSAT.



Imagen PS de KOMPSAT, 1m/píxel. Tokio (Japón). Fuente: Spot Image.

Fuentes:
KARI <http://www.kari.re.kr/english>
Spot Image <http://www.spotimage.com>



LANDSAT 7. Fuente: NASA

LANDSAT-7

Sensores	Resolución espacial	Nº bandas	Resolución temporal	Precio
				
ETM+	MS: 30 m PAN: 15 m	8	16 días	-----

<http://landsat.usgs.gov>

Descripción general

LANDSAT-7, lanzado al espacio el 15 de abril de 1999, es hasta ahora el último satélite de la serie, que comenzó con la puesta en órbita del LANDSAT-1 en el año 1972. Los satélites que sucedieron a este primer lanzamiento han permitido disponer de la serie más larga existente hasta la fecha de imágenes satelitales comerciales de observación terrestre, con lo que se ha podido hacer un seguimiento de los grandes cambios acaecidos en la superficie de nuestro planeta. El satélite orbita a 705 km de altura y tarda 16 días en escanear toda la superficie terrestre dando 232 órbitas al planeta.

El programa LANDSAT está dirigido conjuntamente por la NASA y el USGS de Estados Unidos. La continuación del programa pone actualmente sus esperanzas en el satélite LDCM (*Landsat Data Continuity Mission*), que tiene previsto su lanzamiento a finales del año 2012.

Sensor

• **ETM+ (Enhanced Thematic Mapper +):** Este sensor es capaz de captar información en 6 bandas espectrales, desde el espectro visible al infrarrojo a una resolución espacial de 30 m/píxel. Posee además un canal en el infrarrojo térmico de 60 m/píxel y otro pancromático de 15 m/píxel, con el que se pueden elaborar imágenes fusionadas a partir de las imágenes multiespectrales (Tabla 12).

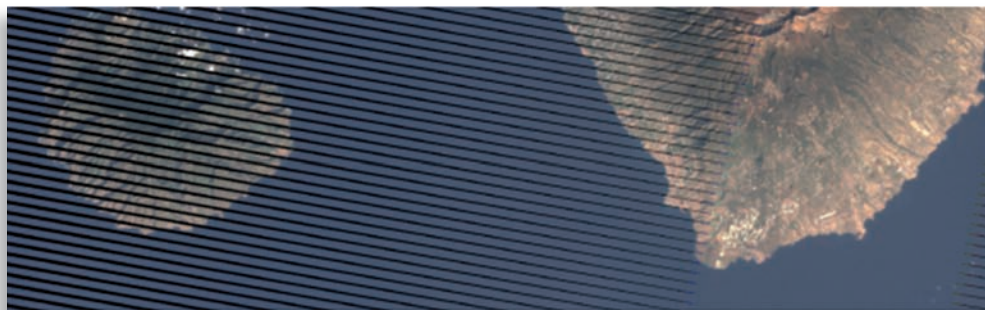
Este mayor número de bandas en comparación con otros satélites similares o de resolución espacial superior, permite usar las imágenes LANDSAT para multitud de estudios de vegetación o geológicos.

Desde el 31 de mayo de 2003, las imágenes de este sensor presentan un problema. El mecanismo que corrige el escaneado del sensor a medida que el satélite se desplazaba, dejó de funcionar. El resultado es la aparición de una serie de bandas sin datos que ocupan aproximadamente un cuarto de la superficie de cada imagen, como se muestra en la siguiente ilustración.

Banda	Región espectral	Ancho de banda (nm)	Resolución (m)
1	Azul-Verde	450-520	30
2	Verde	520-600	
3	Rojo	630-690	
4	NIR	760-900	
5	Infrarrojo de onda corta	1550-1750	60
6	Infrarrojo térmico	10400-12500	
7	Infrarrojo de onda corta	2080-2350	30
8	Pancromática	500-900	15

Tabla 12: Bandas espectrales de LANDSAT-7.

Error de
bandeado en
las imágenes
de LANDSAT-7.
Fuente: USGS.



Imágenes

Las imágenes de LANDSAT-7 se sirven en distintos niveles de procesado. El primer nivel disponible es el **LOR**, que consiste en la imagen en bruto, que contiene la información auxiliar requerida para realizar las correcciones geométricas y radiométricas, los metadatos, así como un archivo de calibración.

También se sirven imágenes de nivel **1 (L1G: imagen LOR corregida radiométrica y geoméricamente y L1T: imagen de máxima precisión geométrica obtenida tras utilizar puntos de control, modelos digitales del terreno e información del archivo de calibración)**.

Diariamente LANDSAT-7 toma unas 250 escenas fijas, de las cuales, las que poseen un 40% o menos de nubes pasan a formar parte de la colección de imágenes del programa. Las escenas tienen un tamaño de 172,8 x 183 km.

Comercialización

Las imágenes de archivo LANDSAT están disponibles de forma gratuita en los siguientes enlaces <http://glovis.usgs.gov> y <http://earthexplorer.usgs.gov>, para lo que hay que registrarse como usuario del USGS.

También existen distribuidores a nivel europeo (e-Geos, Spot Image, etc.).

A través del Programa Nacional de Teledetección (PNT) español se pueden descargar gratuitamente imágenes de LANDSAT-5 con cobertura nacional <http://www.ign.es/PNT/>.

Fuentes:
Landsat Missions <http://landsat.usgs.gov>

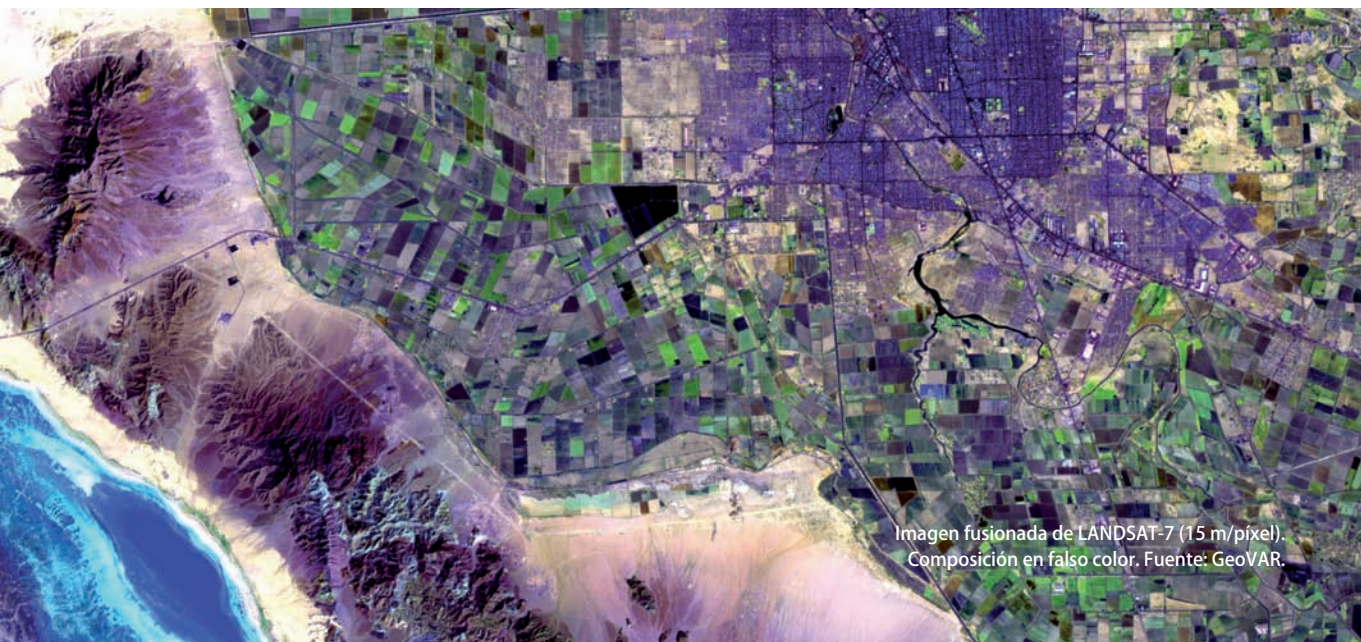


Imagen fusionada de LANDSAT-7 (15 m/píxel).
Composición en falso color. Fuente: GeoVAR.



QUICKBIRD. Fuente: DigitalGlobe

QUICKBIRD

Sensores	Resolución espacial	Nº bandas	Resolución temporal	Precio
				
QUICKBIRD	MS: 2,44 m PAN: 0,61 m	4	2 a 4 días	20 \$/km ²

<http://www.digitalglobe.com>

Descripción general

Satélite comercial norteamericano de muy alta resolución operado por la compañía *DigitalGlobe*. El primer QUICKBIRD, lanzado el 20 de noviembre de 2000, no consiguió ponerse en órbita. Tomó su relevo el actual satélite, con un lanzamiento exitoso el 18 de octubre de 2001.

El satélite se situó en una órbita a 450 km de altura, aunque en marzo de 2011 se subió hasta los 482 km, con el fin de prolongar su vida útil.

QUICKBIRD, junto con los satélites WORLDVIEW-1 y WORLDVIEW-2, pertenecientes todos a *DigitalGlobe*, conforman una constelación de satélites de muy alta resolución, con una alta frecuencia de revisita.

Sensor

QUICKBIRD proporciona imágenes con una resolución espacial máxima de 2,44 m/píxel en multiespectral y 0,61 m/píxel en pancromático.

El ángulo de visión del sensor se puede forzar hasta los 45°, con lo que es capaz de apuntar a cualquier zona en una franja bajo su línea de paso de 1.036 km de ancho. El ancho de barrido es de 16,5 km en la vertical.

En la Tabla 13 se muestran las características básicas de las imágenes que proporciona QUICKBIRD.

Banda	Región espectral	Ancho de banda (nm)	Resolución (m)
	Pancromático	445-900	0,61 (en la vertical)* 0,85 (a 25° de la vertical)
1	Azul	450-520	2,44 (en la vertical) 2,88 (a 25° de la vertical)
2	Verde	520-600	
3	Rojo	630-690	
4	NIR	760-900	

Tabla 13. Bandas espectrales de QUICKBIRD.

Imágenes

QUICKBIRD suministra tres tipos de imágenes:

- **PAN:** Imagen pancromática, de 0,61 a 0,85 m/píxel de resolución espacial.
- **MS:** Imagen multiespectral de 4 bandas y de 2,44 a 2,88 m/píxel de resolución espacial.
- **PS:** Una fusión de las imágenes **PAN** y **MS**, que consigue una imagen de 3 ó 4 bandas con una resolución espacial igual a la de la imagen pancromática.

Atendiendo al **grado de procesado** se suministran 4 tipos de imágenes:

- **Basic:** Imagen corregida radiométricamente que incluye una depuración de las distorsiones del sensor. El producto va acompañado de la información necesaria para que los usuarios puedan acometer las correcciones geométricas y de localización. Este producto sólo puede adquirirse por escenas de 16,5 x 16,5 km.

•**Estándar:** Esta imagen está corregida radiométrica y geoméricamente y está proyectada sobre un plano teniendo en cuenta un sistema de referencia y un datum, pero no está ortorrectificada. El proveedor suministra la información necesaria para su ortorrectificación con el apoyo de un modelo de elevación del terreno.

•**Ortho:** En este nivel la imagen se encuentra proyectada en el sistema de coordenadas elegido por el usuario y ortorrectificada, lista para ser utilizada directamente con el resto de cartografía. Si la empresa suministradora no posee un modelo de elevación del terreno suficientemente preciso, éste debe ser aportado por el usuario. El uso de puntos de control de coordenadas conocidas mejora el resultado.

•**Estéreo-imágenes:** Son dos imágenes de una misma zona tomadas desde distintos ángulos de visión y que permiten la elaboración de modelos digitales del terreno.

En cuanto a los precios:

•**Basic:** Los precios por encargo varían desde los 5.540 \$/escena para un pedido de prioridad normal (PAN o MS), hasta los 17.136 \$/escena para un pedido de máxima prioridad que incluya las 4 bandas más la imagen pancromática. Este mismo tipo de imagen, pero con la garantía de efectuar la toma un día concreto elegido por el usuario, incrementa el valor de la imagen hasta los 22.575 \$/escena.

•**Estándar:** Los precios de imágenes estándar por encargo varían entre los 20 \$/km² y los 63 \$/km² dependiendo de la prioridad del pedido. El pedido mínimo oscila entre los 1.800 \$ y los 10.000 \$.

•**Ortho:** El precio de estas imágenes es igual al de las imágenes estándar aunque con un incremento de 10 a 14 \$/km² dependiendo de la escala a la que se sirve el producto. El pedido mínimo es de 100 km².

•**Estéreo-imágenes:** Los precios por encargo varían entre los 40 y 49 \$/km² dependiendo del tipo de producto con el que se elabore. El pedido mínimo en este caso es de 210 km².

Todas las imágenes de QUICKBIRD que se compran a un proveedor pueden contener un máximo de un 15% de nubes por defecto. Un menor porcentaje puede ser solicitado a cambio de un incremento en el coste de la imagen.

Comercialización

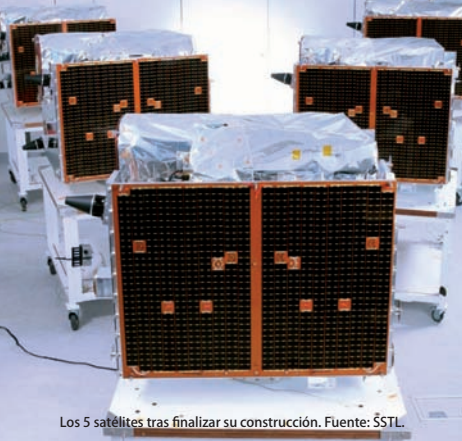
Las imágenes de *DigitalGlobe* (QUICKBIRD, WORLDVIEW-1, WORLDVIEW-2) son distribuidas en Europa por e-GEOS <http://www.e-geos.it> y por *European Space Imaging* (EUSI) <http://www.euspaceimaging.com>, con su correspondiente red de distribuidores nacionales.

Fuentes:

DigitalGlobe <http://www.digitalglobe.com>
e-GEOS <http://www.e-geos.it>



Pirámides de Egipto. Imagen tomada por el satélite QUICKBIRD. Fuente: DigitalGlobe.



Los 5 satélites tras finalizar su construcción. Fuente: SSTL.

RAPIDEYE

Sensores	Resolución espacial	Nº bandas	Resolución temporal	Precio
				
RAPIDEYE	6,5 m	5	1 día	0,95 €/km ²

<http://www.rapideye.de>

Descripción general

RAPIDEYE es una constelación formada por 5 satélites comerciales propiedad de *RapidEye AG*, compañía alemana proveedora de información geoespacial. Los cinco satélites, llamados TA-CHYS (Rapid), MATI (Eye), CHOMA (Earth), CHOROS (Space) y TROCHIA (Orbit), están equipados con sensores idénticos y situados en el mismo plano orbital, lo que multiplica su capacidad de revisita y de captación de imágenes. Los 5 satélites, puestos en órbita el 29 de agosto de 2008, orbitan a una altura de 630 km sobre la superficie terrestre.

La constelación fue construida por SSTL (*Surrey Satellite Technology Ltd*) y destaca por el pequeño tamaño de los satélites (alrededor de 1 m³).

En conjunto, los 5 satélites son capaces de cubrir una superficie de 4 millones de km² por día, aproximadamente 8 veces la superficie del estado español.

Sensor

El ancho de barrido (77 km) y el trabajo conjunto de los 5 satélites clónicos permite una revisita diaria. El sensor que lleva cada uno de los satélites proporciona 5 bandas espectrales con las características mostradas en la Tabla 14.

Destaca la falta de un sensor pancromático, que habría permitido obtener imágenes fusionadas en color a una mayor resolución espacial.

Banda	Región espectral	Ancho de banda (nm)	Resolución (m)
1	Azul	440-510	6,5
2	Verde	520-590	
3	Rojo	630-685	
4	Rojo lejano	690-730	
5	NIR	760-850	

Tabla 14. Bandas espectrales de la constelación RAPIDEYE.

Imágenes

Dependiendo del grado de procesado, RAPIDEYE suministra dos tipos de imágenes:

- **Nivel 1B:** Imagen corregida radiométricamente y sin las distorsiones que se producen por el escaneado y la óptica del sensor. Se suministra con los archivos RPC (*Rational Polynomial Coefficient*) correspondientes y los metadatos necesarios para que el usuario realice las correcciones geométricas necesarias.

- **Nivel 3A:** Además de las correcciones que se realizan para el nivel **1B**, la imagen es ortorrectificada con un modelo de elevación del terreno y con puntos de control en el terreno. Estas imágenes se entregan a una resolución de 5 m/píxel.

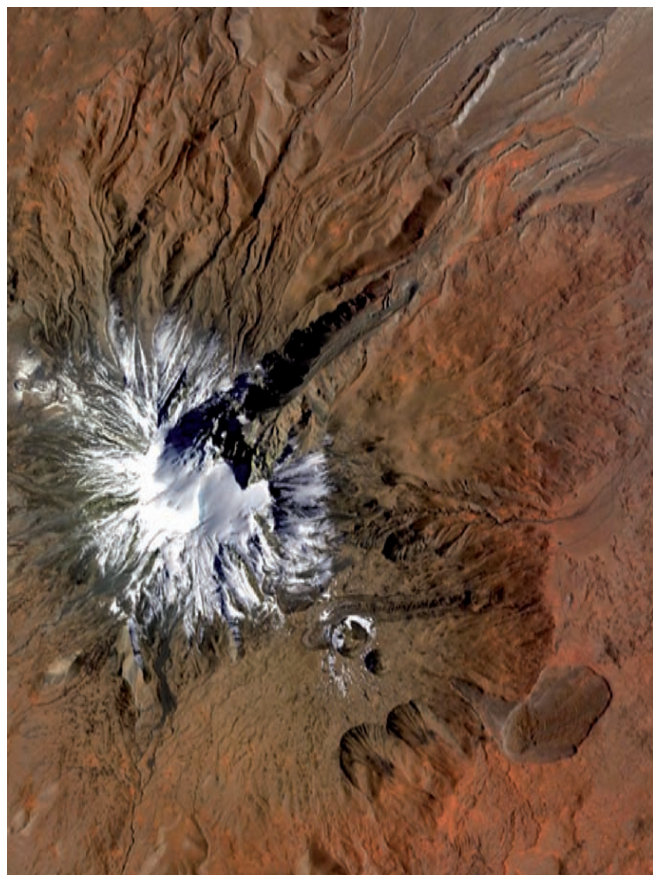
Las imágenes se sirven siempre con los 5 canales que registra el sensor. El tamaño de las mismas es de unos 77 km de ancho y entre 50 y 300 km de largo.

El precio de las imágenes por encargo es de 0,95 €/km² (ambos niveles de procesado) aunque se puede ver incrementado a medida que reducimos la ventana de adquisición o exigimos una menor cobertura nubosa. El pedido mínimo es de un área continua de 5.000 km² (4.750 €). En el caso de imágenes de archivo el precio es el mismo, pero el pedido mínimo se reduce a los 1.000 km² (950 €).

Comercialización

RapidEye permite conocer qué imágenes han sido tomadas de un área en concreto a través del buscador de imágenes *EyeFind* <http://eyefind.rapideye.de>. Este buscador muestra los metadatos y *quicklooks* que permiten decidir si la imagen puede ser interesante para nuestro trabajo. Es necesario contactar posteriormente con *RapidEye* para recibir un presupuesto de las imágenes solicitadas.

Las imágenes por encargo se pueden adquirir directamente en *RapidEye* <http://www.rapideye.de>. Por el momento no existe un distribuidor oficial en España de estos productos.



Monte Ararat. Imagen obtenida por RAPIDEYE en 2009. Fuente: RapidEye.



Xinjiang (China). Imagen obtenida por RAPIDEYE. Fuente: RapidEye.

Fuente:
RapidEye <http://www.rapideye.de>



RESOURCESAT-2.
Fuente: ISRO.

RESOURCESAT-2

Sensores	Resolución espacial	Nº bandas	Resolución temporal	Precio
				
LISS-IV	5,8 m	3	5 días	0,82 €/km ²
LISS-III	23,5 m	4	24 días	0,14 €/km ²

<http://www.isro.org/satellites/resourcesat-2.aspx>

Descripción general

El satélite RESOURCESAT-2, lanzado el 20 de abril de 2011, constituye el décimo octavo satélite de nacionalidad india de la serie IRS (*Indian Remote Sensing*). RESOURCESAT-2 mejora y continúa la labor realizada por el satélite IRS-P6 (RESOURCESAT-1), puesto en órbita en 2003 y que aún está operativo.

El RESOURCESAT-2, que orbita a una altura de 822 km, posee varios sensores que proporcionan imágenes con distintas resoluciones espaciales y espectrales, además de diferentes anchos de barrido.

Sensor

Los sensores del RESOURCESAT-2 tienen las siguientes características:

- **LISS-IV:** Sensor de alta resolución espacial (5,8 m/píxel en la vertical) con tres bandas espectrales (verde, rojo y NIR). Puede operar en modo multiespectral (modo *Mx*), con lo cual cubre un ancho de barrido de 23,5 km o usando una sola banda (modo *mono*), aunque de esta forma cubre una banda de 70 km de ancho en la superficie. La capacidad de visión lateral del sensor de hasta 26° respecto a la vertical de paso le permite una capacidad de revisita de 5 días (Tabla 15).

- **LISS-III:** Sensor compuesto por 4 ópticas independientes, de tal manera que registra 4 bandas espectrales, dos correspondientes al espectro visible (verde y rojo) y dos con longitudes de onda por encima del visible (NIR y SWIR). La resolución espacial en las 4 bandas es de 23,5 m/píxel y el periodo de revisita de 24 días debido a que no tiene capacidad de ser reorientado. El ancho de barrido del sensor es de 141 km (Tabla 16).

Las siglas de los sensores LISS provienen de su denominación en inglés, *Linear Imaging Self Scanner*.

El satélite lleva a bordo un tercer sensor denominado **AWiFS** (*Advanced Wide Field Sensor*), de cuatro bandas espectrales (iguales a las del LISS-III) a una resolución espacial de 56 a 70 m/píxel.

Su predecesor, el RESOURCESAT-1 tiene estos tres mismos sensores, con la diferencia principal de que poseen una menor resolución radiométrica.

Banda	Región espectral	Ancho de banda (nm)	Resolución (m)
<i>mono</i>	Rojo	620-680	5,8
2	Verde	520-590	5,8
3	Rojo	620-680	
4	NIR	770-860	

Tabla 15. Bandas espectrales del sensor LISS-IV.

Banda	Región espectral	Ancho de banda (nm)	Resolución (m)
1	Verde	520-590	23,5 (LISS-III)
2	Rojo	620-680	
3	NIR	770-860	
4	SWIR	1550-1700	

Tabla 16. Bandas espectrales del sensor LISS-III.

Imágenes

Las imágenes de este satélite se ofrecen como escenas completas:

- **LISS-IV:** Escenas de 70 x 70 km. El precio varía desde 2.500 €/escena (una sola banda) hasta los 4.500 €/escena si se incluyen todas las bandas.

- **LISS-III:** Escenas de 140 x 140 km ó 70 x 70 km. El precio varía desde los 1.700 €/escena (multiespectral 70 x 70 km) hasta los 2.800 €/escena (multiespectral 140 x 140 km)

A todos estos precios habría que añadir cargos de entre 300 y 500 € por un servicio de envío rápido y de 500 a 750 € por la ortorrectificación de la imagen. Los precios indicados corresponden a las imágenes del RESOURCESAT-1, por lo que ha de considerarse como un dato orientativo.

También existen productos que combinan las imágenes de dos sensores o que incorporan una banda sintética correspondiente al espectro del color azul, para poder obtener imágenes en color verdadero.

Las imágenes se sirven con dos grados distintos de procesado:

- **Radiometrically corrected:** La imagen es corregida de posibles fallos durante el registro de la misma por parte de los sensores del satélite.

- **System corrected:** Las imágenes son corregidas radiométrica y geoméricamente y pueden ser entregadas orientadas al norte o en la dirección de adquisición de la imagen.

En cualquier caso las imágenes siempre se suministran con la información necesaria para que el usuario pueda hacer las correcciones que crea convenientes.

Comercialización

Las imágenes de RESOURCESAT-2 son comercializadas por la empresa Antrix <http://www.antrix.gov.in>. Las imágenes del RESOURCESAT-1 son comercializadas en Europa y Norte de África por e-GEOS <http://www.e-geos.it>. En el momento de elaboración de esta publicación no existe ningún distribuidor oficial de las imágenes del RESOURCESAT-2 en Europa.



Imagen en falso color
del sensor LISS-III.
Fuente: MAPMART.

Fuentes:
ISRO <http://www.isro.org>
Euromap <http://www.euromap.de>
e-GEOS <http://www.e-geos.it>
Antrix <http://www.antrix.gov.in>



SPOT-5. Fuente: CNES.

SPOT-5

Sensores	Resolución espacial	Nº bandas	Resolución temporal	Precio
				
HRG	MS: 10 m PAN: 2,5 ó 5m	4	2,4 - 3,7 días	0,75 €/km ²
HRS	PAN: 10 m	1	26 días	2,3 €/km ²

<http://spot5.cnes.fr/gb/index2.htm>

Descripción general

El programa francés SPOT (*Système Probatoire d'Observation de la Terre*), aprobado en 1978, y desarrollado por el CNES (*Centre National d'Etudes Spatiales*), en colaboración con Bélgica y Suecia, ha dado fruto a un total de 5 satélites de uso civil hasta la actualidad. El primer satélite de la serie (SPOT-1) fue lanzado el 22 de febrero de 1986. En la actualidad se mantienen operativos SPOT-4 (lanzamiento el 24 de marzo de 1998) y SPOT-5 (lanzamiento el 4 de mayo de 2002). El inicio del programa SPOT representó, en su momento, un salto tecnológico para la observación de la Tierra al generar imágenes de una resolución espacial inédita hasta la fecha para un satélite civil (10 m/píxel).

Los satélites SPOT, que en la actualidad son operados por *Astrium GEO-Information*, tienen programada su continuidad con la puesta en órbita de SPOT-6 y SPOT-7, con fechas de lanzamiento previstas para 2012 y 2013 respectivamente.

El satélite orbita a una altura de 822 km sobre la superficie terrestre.

Sensores

SPOT-5 puede tomar imágenes multispectrales dentro de un corredor de hasta 900 km de anchura. El satélite lleva a bordo los siguientes sensores:

- **HRG** (*High Resolution Geometric*): Sensor óptico de alta resolución que dispone de 4 bandas multispectrales y una pancromática. El satélite posee

dos de estas unidades, las cuales pueden efectuar observaciones oblicuas. Los dos instrumentos HRG pueden funcionar independiente o simultáneamente en modo pancromático o multispectral (Tabla 17).

El ancho de barrido de cada sensor es de 60 km, por lo que cuando ambos operan simultánea y coordinadamente pueden tomar un ancho de barrido de 120 km. Asimismo, pueden orientarse lateralmente hasta un ángulo máximo de 27°.

- **HRS** (*High Resolution Stereoscopic*): Sensor dedicado a la adquisición simultánea de pares estereoscópicos, en un corredor de 120 km de ancho por un máximo de 600 km de largo, con una banda espectral pancromática (490-690 nm) de 10 m de resolución espacial. El sensor tiene un ángulo de visión delantero/trasero de $\pm 20^\circ$.

Banda	Región espectral	Ancho de banda (nm)	Resolución (m)
	Pancromático	480-710	2,5 (modo súper) ó 5
1	Verde	500-590	10
2	Rojo	610-680	
3	Infrarrojo cercano	780-890	
4	Infrarrojo medio	1580-1750	

Tabla 17. Bandas espectrales del sensor HRG.

Fuentes:
 CNES <http://spot5.cnes.fr/gb/index2.htm>
 Spot Image <http://www.spotimage.com>
 Ekodes <http://www.ekodes.com>



Monte Fuji (Japón). Imagen captada por SPOT-5, a 2,5 m/píxel. Copyright: CNES. Distribución: Astrium Services/Spot Image.

Imágenes

SPOT-5 suministra los siguientes tipos de imágenes:

- **PAN:** Imagen pancromática con una resolución de 5 ó 2,5 metros (modo súper). Existen hasta 4 tamaños de escena disponibles, que van desde 60 x 60 km hasta 20 x 20 km.

- **MS:** Imagen multiespectral, de 4 bandas y 10 metros de resolución espacial. Los tamaños de escena son los indicados para las imágenes pancromáticas. Existe la opción de suministro de imágenes multiespectrales de 3 bandas a 5 metros o a 2,5 metros de resolución espacial, tras la realización de un proceso de fusión con una imagen pancromática.

Existen hasta 5 niveles de procesamiento disponibles para las imágenes, agrupados en dos denominaciones o gamas de productos:

- **SPOT Scene:** Imágenes sólo corregidas radiométricamente (nivel **1A**), corrección radiométrica y geométrica (nivel **1B**) y además proyectada sobre un plano teniendo en cuenta un sistema de referencia y un datum (nivel **2A**).

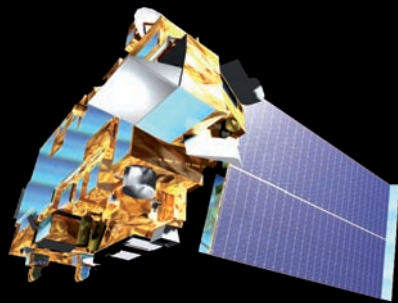
- **SPOTView:** Imágenes con el nivel **2A** pero de mayor precisión de localización al emplear puntos de control (nivel **2B**) o imágenes con las correcciones anteriores y ortorectificadas mediante el empleo de un modelo de elevación del terreno (nivel **3**).

Para los niveles correspondientes a la gama **SPOT Scene** el precio de una imagen con una resolución de 10 metros en multiespectral ó 5 metros en pancromática oscila entre 0,75 €/km² y 2,55 €/km², en función del tamaño de la escena. Para los mismos niveles de procesamiento y para una imagen multiespectral a 5 metros de resolución (fusionada) ó 2,5 metros en pancromática, el precio varía entre 1,5 y 5,1 €/km².

El precio de una imagen **SPOTView** varía entre 0,92 y 17,75 €/km², en función de la resolución espacial requerida y el tamaño de la escena.

Comercialización

Las imágenes procedentes de SPOT son comercializadas a través de la sociedad *Spot Image* <http://www.spotimage.com> y su red de distribuidores oficiales.



TERRA. Fuente: NASA

TERRA (EOS-AM 1)

Sensores	Resolución espacial	Nº bandas	Resolución temporal	Precio
				
ASTER	15 a 90 m	14	16 días	0,08 €/km ²

<http://terra.nasa.gov>

Descripción general

TERRA es un satélite científico puesto en órbita por la NASA el 18 de diciembre de 1999, en el que han participado las agencias espaciales de Estados Unidos, Japón y Canadá. El objetivo principal de este satélite es el estudio de los ciclos del carbono y de la energía, contribuyendo así a analizar la "salud" del planeta Tierra en su conjunto. TERRA fue el primer satélite del programa EOS (*Earth Observing System*), que consiste en un sistema integral de monitorización de la Tierra por medio de una serie de satélites de órbitas polares sincronizadas, que llevan a cabo observaciones a nivel global de la superficie terrestre, la atmósfera y los océanos.

El satélite TERRA posee varios sensores, aunque sólo el sensor ASTER, que proporciona imágenes con una resolución espacial entre 15 y 90 m/píxel, será descrito en esta publicación. El satélite orbita a 705 km de altura.

Sensores

• **ASTER** (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*): Sensor desarrollado gracias a la colaboración establecida entre el Gobierno de Japón y distintas industrias y grupos de investigación. Proporciona imágenes en 14 canales espectrales y a distintas resoluciones espaciales. Está compuesto por tres subsistemas que obtienen imágenes en regiones distintas del espectro electromagnético (Tabla 18). El sensor logra un ancho de barrido de 60 km.

Hay que reseñar que las bandas del SWIR presentaron un problema de interferencias debido principalmente a la energía reflejada irregularmente por el receptor de la banda 4. Se desarrollaron una serie de algoritmos que corregían esta interferencia, por lo que las bandas del SWIR pudieron ser usadas durante varios años. Finalmente, y a partir de abril de 2008, este subsistema dejó de funcionar y con él todas las bandas del SWIR, por lo que ASTER sirve en la actualidad únicamente productos derivados de los subsistemas VNIR y TIR, o sea, las bandas de la 1 a la 3 y de la 10 a la 14.

Banda	Región espectral	Ancho de banda (nm)	Resolución (m)
1	Visible y NIR	520-600	15
2		630-690	
3		760-860	
4	SWIR	1600-1700	30
5		2145-2185	
6		2185-2225	
7		2235-2285	
8		2295-2365	
9		2360-2430	
10	TIR	8125-8475	90
11		8475-8825	
12		8925-9275	
13		10250-10950	
14		10950-11650	

Tabla 18: Bandas espectrales del sensor ASTER.

Imágenes

Las imágenes de ASTER se distribuyen en varios niveles de procesado:

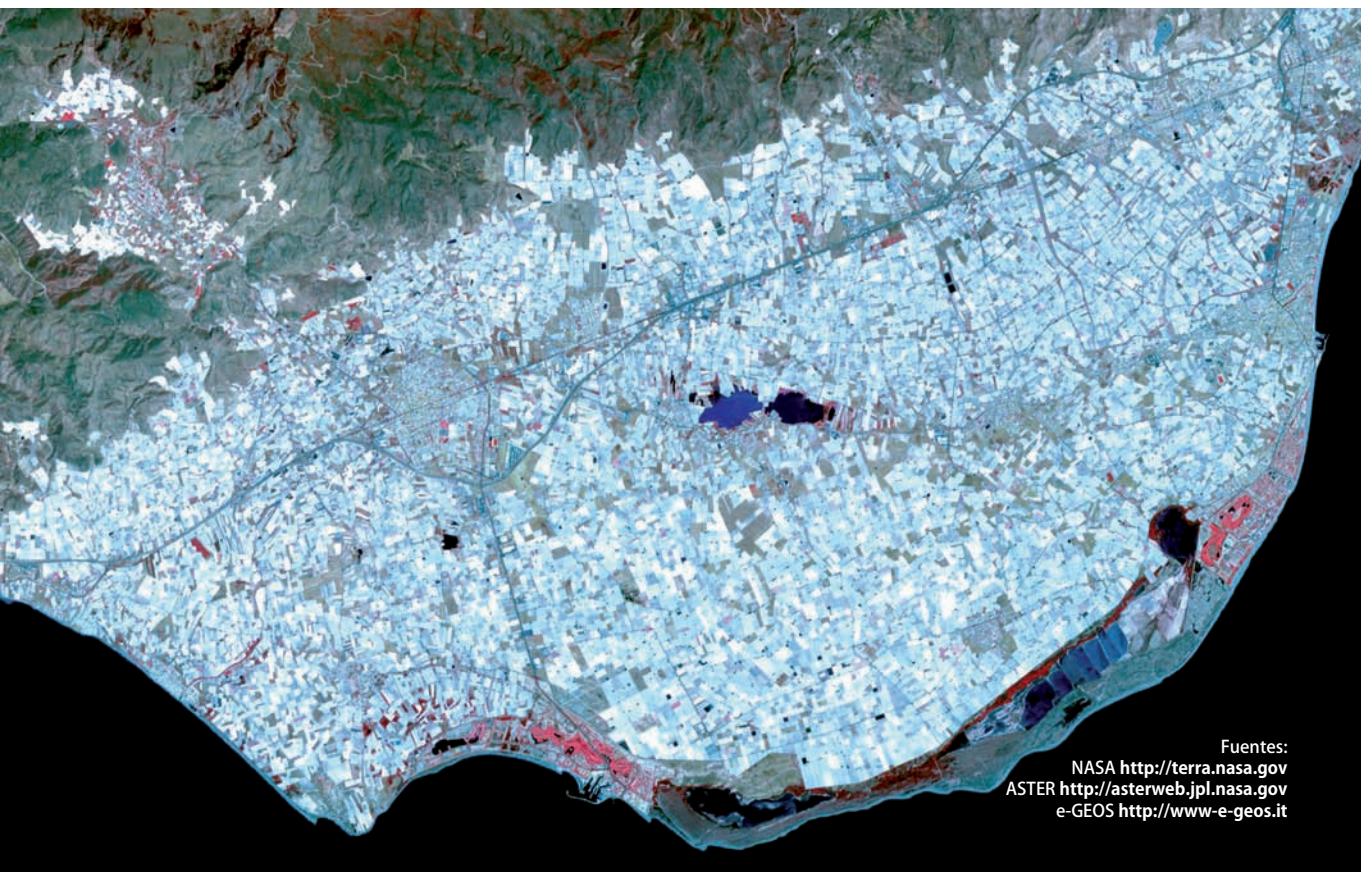
- **1A:** Es el nivel con un procesado más bajo y se utiliza normalmente para la generación de modelos de elevación del terreno.
- **1B:** La imagen está corregida radiométricamente y todas las bandas están perfectamente alineadas. Este nivel se usa normalmente por aquellos usuarios que quieren obtener datos de reflectancia usando su propio software.
- **2:** Las imágenes tienen un mayor grado de procesado. Son muy variados los tipos de productos ya que usan diferentes rangos del espectro electromagnético. Como ejemplos podemos tener imágenes térmicas para cada una de las bandas

TIR o de reflectancia en superficie (corregida la influencia atmosférica) de las bandas del VNIR.

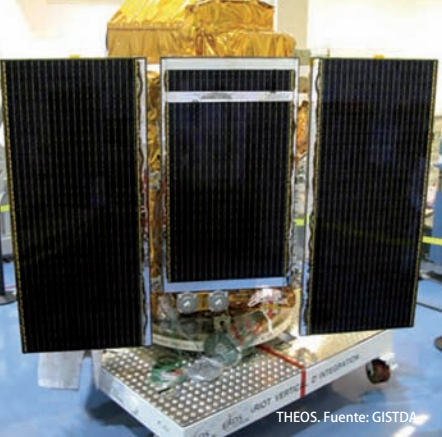
Las imágenes se sirven en escenas de unos 60 x 60 km, aunque el satélite tiene capacidad para obtener franjas más largas. Los precios varían desde los 75 hasta los 300 euros por escena dependiendo de si son imágenes de archivo o bien se formaliza un pedido de una zona y fecha concreta.

Comercialización

Las imágenes ASTER se pueden conseguir a través de varios medios. En la actualidad se encarga de su explotación comercial la agencia japonesa ERSDAC <http://www.ersdac.or.jp/eng/index.E.html>, mientras que a nivel europeo, e-GEOS <http://www.e-geos.it> también distribuye las imágenes, proporcionando por cada pedido tres imágenes, a nivel **1A**, **1B** y ortorrectificada.



Fuentes:
 NASA <http://terra.nasa.gov>
 ASTER <http://asterweb.jpl.nasa.gov>
 e-GEOS <http://www.e-geos.it>



THEOS

Sensores	Resolución espacial	Nº bandas	Resolución temporal	Precio
				
THEOS	MS: 15 m PAN: 2 m	4	1 - 5 días	0,20 €/km ²

<http://www.gistda.or.th>

Descripción general

THEOS (*THailand Earth Observation Satellite*) constituye el primer satélite de nacionalidad tailandesa de observación de la superficie terrestre, cuyo lanzamiento al espacio tuvo lugar el 1 de octubre de 2008.

En la actualidad es operado por GISTDA (*Geo-Informatics and Space Technology Development Agency*), de Tailandia. El satélite orbita a una altura de 822 km.

Banda	Región espectral	Ancho de banda (nm)	Resolución (m)
	Pancromático	450-900	2 (en la vertical)
0	Azul	450-520	15 (en la vertical)
1	Verde	530-600	
2	Rojo	620-690	
3	NIR	770-900	

Tabla 19. Bandas espectrales del satélite THEOS.

Sensores

El satélite, de cobertura global, dispone de una cámara multispectral de 15 metros de resolución espacial y de una pancromática de 2 metros. Puede adquirir imágenes en un corredor de hasta 1000 km de anchura gracias a su capacidad de visión lateral (hasta 30°). Igualmente, el satélite se puede programar para la obtención de imágenes estéreo de una zona en una misma pasada. La cámara multispectral posee un ancho de barrido de 90 km, mientras que en la cámara pancromática es de 22 km. El periodo medio de revisita es de 3 días (oscila entre 1 y 5 días).

Las características básicas de los sensores multispectral y pancromático que lleva a bordo se describen en la Tabla 19.

Imágenes

THEOS suministra tres tipos de imágenes:

- **PAN:** Imagen pancromática de 2 metros de resolución espacial. El tamaño mínimo de la escena es de 22 x 22 km. A petición del cliente la longitud se puede incrementar o bien se puede especificar un área con forma de polígono, con un mínimo de 484 km².
- **MS:** Imagen multispectral de 4 bandas y 15 metros de resolución espacial. El tamaño mínimo de una escena es de 90 x 90 km. Al igual que en el caso anterior, el cliente puede incrementar la longitud de la escena o bien especificar un área de estudio.

•**PS**: Una fusión de las imágenes **PAN** y **MS**, que consigue una imagen de 4 bandas con una resolución espacial de 2 m. Tamaño mínimo: 22 x 22 km o un polígono de 484 km².

También existe la opción de suministro de imágenes multispectral y pancromática de una misma zona (**Bundle**), así como una imagen estéreo (pancromática o multispectral) de una zona concreta.

Los precios actualmente vigentes para imágenes de nueva adquisición oscilan entre los 0,20 y 5,07 €/km² dependiendo del tipo de imagen que se solicite.

Por defecto, las imágenes se sirven con una cobertura de nubes menor al 20%. Atendiendo al grado de procesado los tipos de productos enumerados están disponibles en dos niveles (**1A** y **2A**), que incluyen las correcciones radiométricas y geométricas respectivamente (el **PS** sólo en nivel **2A**).

Comercialización

Las imágenes de THEOS son distribuidas por GISTDA http://www.gistda.or.th/gistda_n/en/.





WorldView-2. Fuente: INGENIO

WORLDVIEW-2

Sensores	Resolución espacial	Nº bandas	Resolución temporal	Precio
				
WORLDVIEW-2	MS: 2 m PAN: 0,5 m	8	1 a 3 días	35 \$/km ²

<http://worldview2.digitalglobe.com>

Descripción general

WORLDVIEW-2 es un satélite comercial norteamericano de muy alta resolución operado por la compañía *DigitalGlobe*. Su lanzamiento, el 8 de octubre de 2009, marca un hito al ser el primer satélite comercial capaz de captar 8 bandas espectrales con una resolución de 2 m/píxel. El satélite se encuentra a 770 km de altura, una órbita un poco más elevada que la de otros satélites de características similares.

Su predecesor, WORLDVIEW-1, no descrito en este documento, proporciona una única banda pancromática con una resolución de 0,5 m/píxel. Junto con WORLDVIEW-2 y QUICKBIRD, forman parte de una constelación que puede acometer pedidos conjuntamente.

Sensores

WORLDVIEW-2 posee un sensor multispectral con 8 bandas y 1,84 m/píxel de resolución espacial y uno pancromático de 0,46 m/píxel. Sin embargo, el gobierno norteamericano no permite la comercialización a esas resoluciones en la actualidad* **.

La posibilidad de tomar imágenes con un ángulo de visión de hasta 45° con respecto a la vertical le permite cubrir cualquier punto en una franja de 1.355 km bajo la línea de paso del satélite. Además, durante una sola pasada es capaz de cubrir una superficie contigua de 96 x 110 km, a pesar de que su ancho de barrido es de solamente 16,4 km.

Las características del sensor se describen en la Tabla 20.

Banda	Región espectral	Ancho de banda (nm)	Resolución (m)
	Pancromático	450-800	0,46 (en la vertical)* 0,52 (a 20° de la vertical)
1	Coastal	400-450	1,84 (en la vertical)** 2,08 (a 20° de la vertical)
2	Azul	450-510	
3	Amarillo	585-625	
4	Verde	510-580	
5	Rojo	630-690	
6	Red Edge	705-745	
7	NIR 1	760-900	
8	NIR 2	860-1040	

Tabla 20: Bandas espectrales del satélite WORLDVIEW-2.

*La resolución se rebaja a 0,50 metros en la entrega de las imágenes para su uso comercial.

**La resolución se rebaja a 2 metros en la entrega de las imágenes para su uso comercial.

Imágenes

WORLDVIEW-2 suministra tres tipos de imágenes:

- **PAN:** Imagen pancromática de 0,5 m/píxel de resolución espacial.
- **MS:** Imagen multispectral (se pueden solicitar 4 u 8 bandas), de 2 m/píxel de resolución espacial.
- **PS:** Una fusión de las imágenes **PAN** y **MS**, que consigue una imagen de 3 ó 4 bandas con una resolución espacial de 0,5 m.

El tipo de imágenes, atendiendo al grado de procesado, es el mismo que los descritos para el satélite QUICKBIRD: **Basic**, **Estándar** y **Orto**, por lo que remitimos al lector a este satélite para consultar esta información.

• **Basic:** Este producto sólo puede adquirirse por escenas de 16 x 14 km y los precios por encargo varían desde los 9.520 \$/escena para un pedido de prioridad normal, que incluya las 8 bandas, hasta los 21.216 \$/escena para un pedido de máxima prioridad que incluya las 8 bandas más la imagen pancromática.

• **Estándar:** Los precios en este caso varían para las imágenes de encargo entre los 35 \$/km² y los

78\$/km² dependiendo de la prioridad del pedido. El pedido mínimo varía entre los 1.800 \$ y los 10.000 \$, que depende igualmente de la prioridad.

• **Orto:** El precio de estas imágenes es igual al de las imágenes estándar aunque con un incremento de 10 a 14 \$/km² dependiendo de la escala a la que se sirve el producto. El pedido mínimo es de 100 km².

• **Estéreo-imágenes:** Los precios por encargo varían entre los 40 y 49 \$/km² dependiendo del tipo de producto con el que se elabore la estéreo-imagen. El pedido mínimo en este caso es de 210 km².

El porcentaje máximo de nubes en las imágenes es por defecto inferior al 15 %. Un menor porcentaje puede ser solicitado a cambio de un incremento en el coste de la imagen.

Comercialización

Las imágenes de *DigitalGlobe* (QUICKBIRD, WORLDVIEW-1, WORLDVIEW-2) son distribuidas en Europa por e-GEOS <http://www.e-geos.it> y por *European Space Imaging* (EUSI) www.euspaceimaging.com, con su red de distribuidores nacionales.



Fuentes: DigitalGlobe <http://worldview2.digitalglobe.com> - e-GEOS <http://www.e-geos.it>

MISIONES FUTURAS

PLEIADES

Constelación de 2 satélites, fruto de la colaboración franco-italiana, que será operada por *EADS Astrium*. Asimismo, PLEIADES complementará la oferta de imágenes de los satélites SPOT, aportando una mayor resolución espacial. El periodo de revisita será de 1 día (con un ángulo máximo de visión lateral de 43°). Dispondrá de un canal pancromático con una resolución de 0,5 a 0,7 metros/píxel. También ofrecerá imágenes multiespectrales (4 bandas) con una resolución de 2 a 2,8 metros. PLEIADES-1 fue lanzado con éxito el 17 de diciembre de 2011, mientras que PLEIADES-2 se lanzará a mediados de 2012. Más información en el sitio web <http://smc.cnes.fr/PLEIADES>.

GEOEYE-2

Satélite norteamericano que complementará la oferta de su antecesor GEOEYE-1, mejorando las resoluciones de éste (en pancromática se alcanzarán resoluciones de hasta 0,25 metros). Las imágenes comerciales tendrán una resolución de 0,50 metros. Junto con GEOEYE-1 e IKONOS conformará una constelación de satélites que permitirá a la compañía que los opera aumentar notablemente la capacidad de revisita actual. El lanzamiento de GEOEYE-2 está previsto para el año 2013. <http://www.geoeeye.com>.

SPOT-6 / SPOT-7

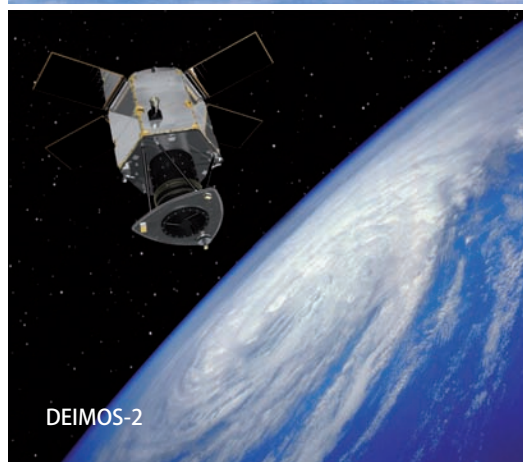
Constelación de satélites continuadores de los actuales SPOT. La órbita de SPOT-6 y SPOT-7 irá sincronizada con la de PLEIADES. Ofrecerá una resolución de 1,5 metros en pancromático y 6 metros en multiespectral (4 bandas: azul, verde, rojo y NIR). El lanzamiento de SPOT-6 está previsto para septiembre de 2012 y SPOT-7 para enero de 2014. <http://www.spotimage.com>.

FORMOSAT-5

Satélite taiwanés continuador de FORMOSAT-2 desarrollado por NSPO (*National Space Organization*). El sensor a bordo aportará imágenes pancromáticas a 2 metros de resolución espacial y 4 metros en multiespectral. El lanzamiento está previsto para 2014. <http://www.nspo.org.tw/en>.



PLEIADES



DEIMOS-2



SENTINEL-2



LDCM

The image shows the SPOT-6 satellite in orbit above the Earth's surface. The satellite is yellow and black with large solar panels. The Earth's blue and white clouds are visible in the background.

SPOT-6

SENTINEL-2

Conjunto de dos satélites de teledetección de la ESA (*European Space Agency*), que obtendrán datos equivalentes a SPOT y LANDSAT, dentro del programa europeo GMES (*Global Monitoring Environmental and Security*). El sensor a bordo captará información en 13 bandas del espectro (visible, infrarrojo e infrarrojo cercano). Cuatro de sus bandas tendrán una resolución espacial de 19 metros, 6 a 20 metros y 3 a 60 metros, con un ancho de barrido de 290 km. El periodo de revisita será de 5 días en el ecuador y de 3 días en latitudes medias. El primero de los satélites está previsto que se ponga en órbita en 2013. <http://www.esa.int>.

The image shows the GEOEYE-2 satellite in orbit. It has a grey body and large solar panels. The Earth's horizon is visible on the left side of the frame.

GEOEYE-2

DEIMOS-2

Satélite que complementará la labor de DEIMOS-1, con cuatro bandas multispectrales y una en pancromático, a 10 metros y 1 metro de resolución espacial respectivamente. Está previsto que su lanzamiento sea en 2013. <http://www.deimos-imaging.com>.

INGENIO

Satélite español de teledetección para uso civil cuyo lanzamiento está previsto para 2013. Proporcionará imágenes pancromáticas y multispectrales (4 bandas) de 2,5 y 10 m/píxel de resolución espacial respectivamente. El ancho de barrido será de aproximadamente 60 km y el periodo de revisita medio de 3 días. <http://www.eoportal.org>.

The image shows the INGENIO satellite in orbit. It has a black body and large solar panels. The Earth's horizon is visible on the left side of the frame.

INGENIO

LDCM (*Landsat Data Continuity Mission*)

Satélite norteamericano continuador del programa LANDSAT cuyo lanzamiento está previsto para finales de 2012. El satélite llevará a bordo el sensor OLI (*Operational Land Imager*), para recabar información multispectral (8 bandas) a 30 metros de resolución espacial y un canal pancromático a 15 metros, así como el sensor TIRS (*Thermal InfraRed Sensor*), que ofrecerá 2 bandas con 100 metros de resolución espacial. <http://landsat.usgs.gov>.

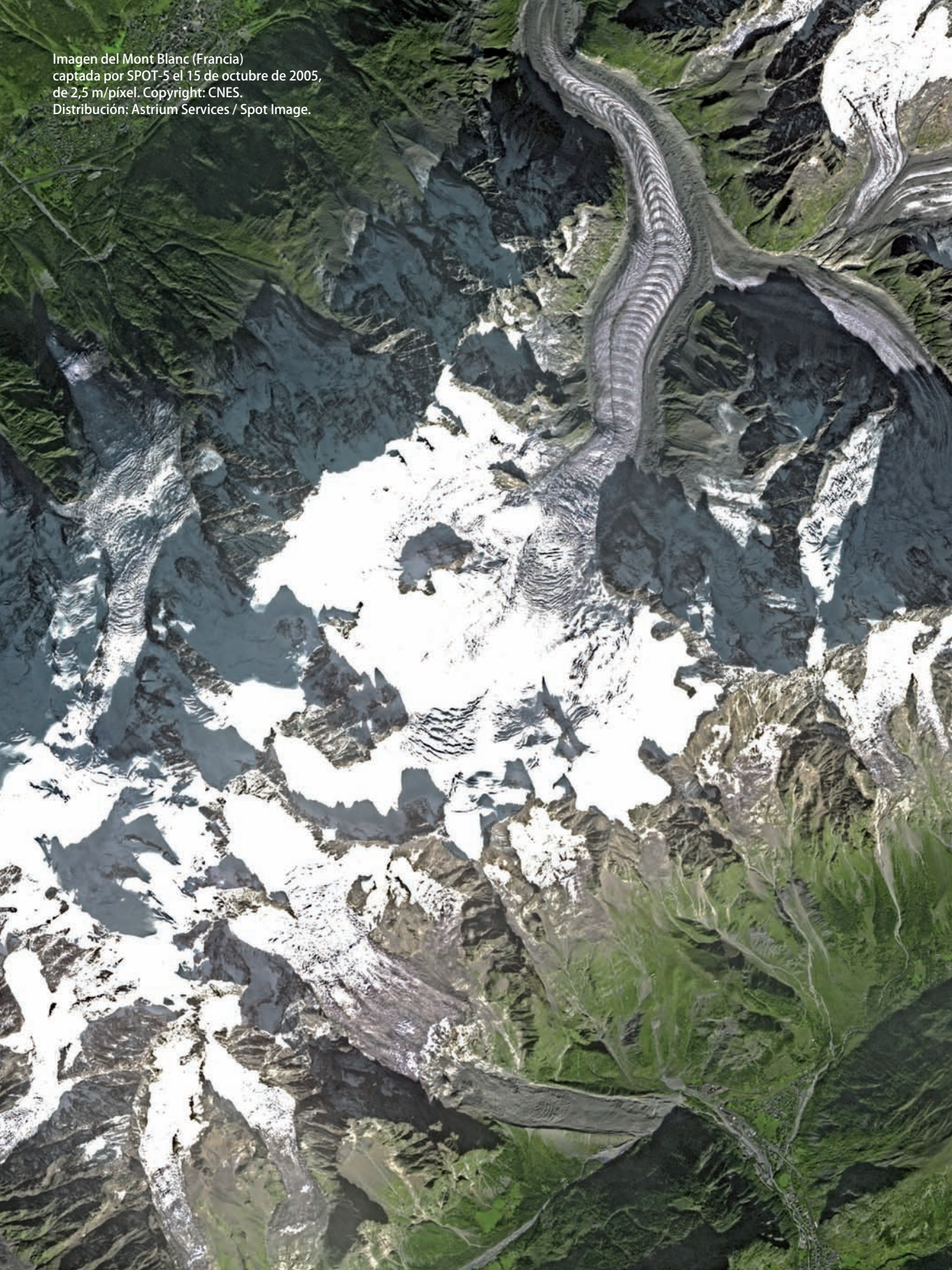
The image shows the WORLDVIEW-3 satellite in orbit. It has a grey body and large solar panels. The Earth's horizon is visible on the left side of the frame.

WORLDVIEW-3

WORLDVIEW-3

Ball Aerospace & Technologies Corp. construirá para *DigitalGlobe* y *ITT Corp.* el siguiente satélite de la serie WorldView. Se encuentra actualmente en fase de desarrollo y tiene previsto su lanzamiento para finales del año 2014. Las características serán muy similares a las de su predecesor, el WORLDVIEW-2, aunque se mejorarán varios aspectos relacionados con los costes, riesgos y rapidez de entrega de las imágenes. <http://www.digitalglobe.com>.

Imagen del Mont Blanc (Francia)
captada por SPOT-5 el 15 de octubre de 2005,
de 2,5 m/píxel. Copyright: CNES.
Distribución: Astrium Services / Spot Image.



Parámetros básicos para adquirir una imagen de satélite

El satélite y sensor que mejor se adecúe a nuestras necesidades vendrá determinado principalmente por la resolución espacial y espectral que requiera nuestro trabajo o estudio, sin olvidar lógicamente el presupuesto disponible. Una vez definidos, el siguiente paso será realizar el pedido de la imagen a través de alguna empresa suministradora, para lo cual habrá que definir todos, o al menos algunos de los parámetros que se describen a continuación.

• **Zona de estudio.** Se define generalmente por un polígono georreferenciado, en formato *shape* o similar. Habrá que tener en cuenta el tamaño mínimo del pedido que permite el satélite/sensor. Cuando la imagen se sirva únicamente como escenas completas habrá que solicitarla de tal forma que cubra nuestra área de interés.

• **Ventana de adquisición.** Por medio de la misma se define el marco temporal en el que la imagen debe ser adquirida. Generalmente las ventanas estándar suelen ser de dos meses. También existe la opción de reducirlas, con un sobrecosto, con el fin de adquirir las imágenes en un intervalo más corto de tiempo.

• **Prioridad de pedido.** Algunos satélites ofrecen la posibilidad, siempre con un incremento en el precio, de priorizar el pedido de una imagen. Esta opción puede ser interesante en zonas con una alta demanda de imágenes de otros usuarios y que por lo tanto puedan entrar en competencia.

• **Porcentaje de nubes.** El precio ofertado por los distribuidores incluye el suministro de imágenes con un porcentaje máximo de nubes que oscila entre el 10 y el 20%, en función del satélite. Este porcentaje se puede reducir a cambio de un sobrecosto de las imágenes.

• **Ángulo máximo.** Este parámetro indica el mayor ángulo de adquisición con que se puede tomar la imagen con respecto a la vertical del satélite. A mayor ángulo menor será el tiempo de revisita del satélite, con lo que aumentan las posibilidades de adquisición exitosa de la imagen. Por el contrario, una imagen tomada con un ángulo excesivamente oblicuo, tiene una menor resolución espacial y precisión de localización. En terrenos muy abruptos como Canarias, puede llegar además a perderse información en zonas de excesiva pendiente. No todos los satélites tienen la opción de definir el ángulo máximo.

• **Resolución radiométrica.** Esta característica puede ser definida por el usuario sin un coste extra. Una mayor resolución radiométrica proporciona más precisión en la información espectral. Por contra estas imágenes ocupan más memoria y se necesitan equipos más potentes para manejarlas. No siempre existe la opción de elegir este parámetro.

• **Nivel de procesado.** Este parámetro hace referencia a las correcciones de tipo radiométrico, geométrico y de georreferenciación que pueden aplicarse a la imagen por parte de la empresa distribuidora. Cada distribuidor tiene sus niveles específicos de procesado, no siendo coincidentes para todas las plataformas satelitales. Se puede adquirir desde una imagen de nivel 0, donde no se incluye corrección alguna, hasta una imagen corregida radiométrica y geométricamente y ortorrectificada. Entre ambas opciones pueden existir varios niveles, aunque siempre se suministra la información y archivos necesarios para que los usuarios puedan procesar la imagen a un nivel superior. Generalmente un mayor nivel de procesado redundará en un mayor precio de la imagen.



Vilaflor, Tenerife (Islas Canarias).
Imagen MS de GeoEye-1 de 2 m de
resolución espacial, adquirida el 3 de
octubre de 2010.
Fuente: SATELMAC.

Glosario

Banda espectral o canal espectral: Cada uno de los intervalos de longitudes de onda que es capaz de detectar un sensor.

Banda sintética: Banda espectral obtenida por medio del procesamiento de otras, normalmente con el fin de mejorar la representación visual de una imagen que carece, originalmente, de una banda espectral determinada.

Binario: Sistema de representación numérica con dos elementos, el 0 y el 1.

Bit: Unidad básica de información digital, puede tomar valor 0 o 1.

Bundle: Hace referencia a un paquete de dos imágenes de una misma zona, una multiespectral y otra pancromática, adquiridas simultáneamente por el mismo satélite y que se suministran de forma conjunta. Este tipo de producto es muy habitual en satélites de alta resolución que llevan sensores multiespectrales y pancromáticos como GEOEYE-1, QUICKBIRD, KOMPSAT, WORLDVIEW-2, etc.

Cobertura nubosa: Se refiere a la proporción de la imagen que está ocupada por nubes. En los casos en que las nubes no son compactas y dejan entrever parte del terreno, este porcentaje no es sencillo de calcular.

Constelación: Grupo de satélites que operan de forma conjunta y coordinada. Por ejemplo, RAPIDEYE.

Corrección geométrica: Corrección de las distorsiones que se producen durante el proceso de adquisición de una imagen debidas a la rotación y curvatura de la Tierra, al ángulo de visión o a variaciones de la posición del satélite.

Corrección radiométrica: Toda modificación que altere los valores originales registrados por el sensor, con el fin de corregir los po-

sibles efectos que producen en la imagen la atmósfera, la geometría de observación o las características físicas del propio sensor.

Datum: Conjunto de parámetros y puntos de control usados para definir con precisión la forma tridimensional de la Tierra. Cada datum se define en función de un elipsoide y por un punto en el que el elipsoide y la Tierra son tangentes.

Escala: Relación entre las dimensiones de las entidades de un mapa y los mismos objetos geográficos que se representan en la Tierra, normalmente expresada como una fracción o una proporción.

Escena: Imagen que capta un sensor de un satélite de forma regular, con un ancho y largo determinados.

Espectro electromagnético: Es el intervalo total de longitudes de onda o frecuencias de radiación electromagnética. Abarca desde los rayos cósmicos a las ondas de radio.

Firma espectral: Curva que representa la variación de la reflectancia de un objeto en función de la longitud de onda.

Frecuencia: Número de oscilaciones por unidad de tiempo de una onda electromagnética. Es inversamente proporcional a la longitud de onda.

Grado o nivel de procesamiento: Cantidad de procesamiento que se aplica a una imagen desde el momento de su captura hasta que la visualizamos en nuestro ordenador. Puesto que las imágenes de todos los sensores remotos requieren un procesamiento similar antes de que se puedan utilizar, las empresas de distribución han establecido un conjunto de niveles de procesamiento que describen los tipos de tratamiento realizados antes de ser entregadas.

Imagen de archivo: Imagen captada por un sensor remoto en un tiempo pasado. La frontera temporal para considerar una imagen como de archivo es variable, pero suele ser de unos pocos meses. Una imagen de archivo posee un precio menor que una imagen de nueva adquisición o reciente.

Imagen estéreo o estereoscópica: Se refiere a dos imágenes de la misma área tomadas con ángulos de visión diferentes que permiten una reconstrucción tridimensional de la escena observada.

Imagen fusionada (Pan-Sharpened): Imagen producto de la fusión de una imagen pancromática y su equivalente multispectral por medio de una serie de algoritmos matemáticos. La imagen resultante tiene la resolución espacial de la pancromática y las bandas espectrales de la MS.

Imagen hiperespectral: Imagen captada mediante un sensor que mide la energía simultáneamente en muchas bandas espectrales, normalmente más de cien.

Imagen multispectral (MS): Imagen captada mediante un sensor que mide la energía simultáneamente en dos o más bandas espectrales.

Imagen pancromática (PAN): Imagen captada mediante un sensor que mide la energía en una amplia zona del espectro electromagnético, abarcando usualmente la parte del visible y en algunos casos también la del infrarrojo próximo.

Influencia atmosférica: Efecto que producen los gases y partículas de la atmósfera sobre la radiación que alcanza el sensor de un satélite.

Longitud de onda: Distancia entre dos máximos sucesivos de una onda electromagnética. Se suele expresar en nanómetros (nm) o micrómetros (μm).

Nadir: Punto sobre la superficie terrestre definido por la vertical de paso de un satélite.

Nivel Digital (ND): En inglés DN (*Digital Number*), es el valor numérico asociado a cada píxel de una imagen. Cuando un sensor registra una imagen, este valor es proporcional a la cantidad de energía electromagnética que detecta.

Metadatos: Documentos que almacenan información descriptiva adicional sobre la información geográfica. Suelen incluir la fuente de los datos, su fecha de creación, formato, proyección, escala, resolución, etc.

Modelo de elevación del terreno: Conjunto de datos que representan puntos sobre la superficie del terreno cuya ubicación geográfica está definida por coordenadas "x" e "y" a las que se les agrega un valor de "z" que corresponde a la elevación.

Off-Nadir: Término que hace referencia a la capacidad de visión oblicua de un sensor más allá de la vertical de paso de un satélite.

Órbita: Trayectoria que describe un satélite en el espacio alrededor de la Tierra.

Órbita cuasi-polar: Órbita que pasa próxima a los polos permitiendo al satélite cubrir, con sus sensores, la mayor parte de la superficie terrestre.

Órbita geoestacionaria: Órbita alrededor de la Tierra donde el satélite se desplaza de oeste a este a una altura aproximada de 36.000 km y a la misma velocidad angular que la rotación de la Tierra, por lo que siempre permanece en la misma posición relativa respecto a esta.

Ortorectificación: Proceso computacional por el que se eliminan las distorsiones de las imágenes, principalmente debidas al relieve, otorgándoles las mismas cualidades que un mapa.

Periodo de revisita: Intervalo de tiempo mínimo que tarda un sensor a bordo de un satélite en adquirir dos imágenes sucesivas de una misma porción de la superficie terrestre.

Píxel: Cada uno de los elementos que componen una imagen, dispuestos matricialmente en filas y columnas.

Prioridad de pedido: Opción al solicitar una imagen de satélite que permite que un pedido sea atendido antes que otros con los que pueda entrar en competencia.

Puntos de control: Puntos del terreno de coordenadas conocidas que pueden ser localizados en una imagen y que por lo tanto se pueden utilizar como apoyo en los procesos de georreferenciación y ortorrectificación de una imagen.

Quicklook: Versión simplificada a menor resolución de una imagen cuya finalidad es permitir una visualización rápida de la misma. En archivos de imágenes satelitales suelen estar disponibles para que el usuario se pueda hacer una idea del producto antes de adquirirlo.

Radiación electromagnética: Energía que se propaga en el espacio a la velocidad de la luz como una combinación de campos eléctrico y magnético.

Ráster: Formato de representación de datos espaciales ordenados según una estructura matricial de celdas o píxeles, donde cada uno de ellos viene representado por sus coordenadas horizontal (x) y vertical (y).

Reflectancia: Relación entre la cantidad de radiación reflejada por una superficie y la que incide sobre ella. Suele expresarse en % o con valores entre 0 y 1.

Resolución espacial: Es una medida de la distancia angular o lineal más pequeña que puede captar un sensor remoto de la superficie de la Tierra, y viene determinada por el tamaño que representa un píxel en la superficie terrestre.

Resolución espectral: Define el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar un sensor.

Resolución radiométrica: Hace referencia a la cantidad mínima de energía que es capaz de detectar un sensor para variar el valor de un píxel en un nivel digital.

Resolución temporal: (ver periodo de revisita).

RPC (Rational Polynomial Coefficient): Es un modelo matemático que relaciona cada píxel de la imagen con las coordenadas sobre el terreno, basándose principalmente en la posición y ángulo de visión del satélite. Se suministra conjuntamente con las imágenes y junto a un modelo de elevación del terreno puede ser usado para ortorrectificar las imágenes de satélite.

Satélite de teledetección: Plataforma espacial en órbita alrededor de la Tierra que lleva a bordo sensores para su observación.

Satélite heliosíncrono: Aquel que describe una órbita que siempre pasa sobre el mismo punto de la superficie terrestre a la misma hora solar local.

Sensor: Instrumento que detecta radiación electromagnética y es capaz de convertirla en valores digitales para formar normalmente una imagen.

Shape: Formato vectorial de almacenamiento y representación de datos espaciales donde se guarda la localización de los elementos representados y los atributos asociados a ellos. Es un formato muy común desarrollado por la compañía ESRI.

Ventana de adquisición: Se refiere al marco temporal en el que la empresa suministradora se compromete a adquirir la imagen de satélite encargada.

Fuentes de información y bibliografía

Publicaciones utilizadas en la redacción de este documento:

- **Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio.** Emilio Chuvieco. Editorial Ariel Ciencias. 2010.
- **Teledetección.** Editor Jose A. Sobrino. Universidad de Valencia. 2000.
- **Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction.** Paul Mather y Magaly Koch. 4ª edición. Editorial John Wiley & Sons. 2011.
- **Remote sensing and image interpretation.** Thomas Lillesand, Ralph W. Kiefer y Jonathan Chipman. 6ª edición. Editorial Wiley. 2007.
- **Introduction to Remote Sensing.** James B. Campbell y Randolph H. Wynne. 5ª edición. Editorial The Guilford Press. 2011.
- **Guía didáctica de Teledetección y Medio Ambiente.** Editores Javier Martínez Vega y M. Pilar Martín Isabel. CCHS-IEGD. 2010. http://digital.csic.es/bitstream/10261/28306/2/guia_papel.pdf
- **Fundamentals of Remote Sensing.** http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/files/pdf/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals_e.pdf
- **Dr. Nicholas Short's Remote Sensing Tutorial.** <http://rst.gsfc.nasa.gov/>

Páginas web consultadas:

- DMC International Imaging Ltd - Remote Sensing Data Solutions. <http://www.dmcii.com>
- Small Satellites – Earth Observation - Surrey Satellite Technology Ltd (SSTL). <http://www.sstl.co.uk>
- Excelencia en Teledetección - Elecnor Deimos Imaging. <http://www.deimos-imaging.com>
- Astrium GeoInformation Services : Satellite maps & images - geospatial solutions <http://www.spotimage.com> - <http://www.astrium-geo.com/>
- USGS EO-1. <http://eo1.usgs.gov>
- ImageSat. <http://www.imagesatintl.com>
- NSPO (National Space Organization). <http://www.nspo.org.tw>
- GeoEye High Resolution Imagery, Earth Imagery & Geospatial Services. <http://www.geoeye.com>

- e-GEOS. <http://www.e-geos.it>
- KARI (Korea Aerospace Research Institute). <http://www.kari.re.kr/english>
- Landsat Missions. <http://landsat.usgs.gov>
- DigitalGlobe - Satellite Imagery and Geospatial Information Products. <http://www.digitalglobe.com>
- European Space Imaging (EUSI). <http://www.euspaceimaging.com>
- RapidEye: Delivering the world. <http://www.rapideye.de>
- ISRO - Indian Space Research Organization. <http://www.isro.org>
- Euromap. <http://www.euromap.de>
- Antrix Corporation. <http://www.antrix.gov.in>
- CNES - SPOT 5. <http://spot5.cnes.fr/gb/index2.htm>
- Ekodes Consultores Perú SIG. <http://www.ekodes.com>
- ERSDAC - Earth Remote Sensing Data Analysis Center. <http://www.ersdac.or.jp/eng/index.E.html>
- NASA: TERRA (EOS AM-1). <http://terra.nasa.gov>
- ASTER: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer. <http://asterweb.jpl.nasa.gov>
- GISTDA - GeoInformatics and Space Technology Development Agency. http://www.gistda.or.th/gistda_n/en/
- WorldView-2 - DigitalGlobe. <http://worldview2.digitalglobe.com>
- PLEIADES. <http://smc.cnes.fr/PLEIADES>
- ESA (European Space Agency) - Portal. <http://www.esa.int/>
- EO Portal: Sharing Earth observation resources. <http://www.eoportal.org/>



JEFE DE FILA



SOCIOS



COFINANCIACIÓN

