

LA TELEDETECCIÓN. SUS BASES

Santiago Castaño Fernández

José Reyes Ruiz Gallardo

Alicia Vela Mayorga

Santiago Castaño Fernández. Doctor en Ciencias Geológicas.

José Reyes Ruiz Gallardo. Ingeniero Agrónomo

Alicia Vela Mayorga. Licenciada en Ciencias Geológicas.

Sección de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica. Instituto de Desarrollo Regional. Universidad de Castilla-La Mancha.

RESUMEN

Desde 1994, la Universidad de Castilla-La Mancha, cuenta en su Campus de Albacete con una sección de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.) que desarrolla sus actividades investigadoras en estudios agronómicos, hidrológicos, geológicos y medioambientales de especial interés para nuestra región.

La Teledetección y los S.I.G. se están convirtiendo en una herramienta imprescindible para el estudio del medio físico y la gestión racional de nuestro entorno. Por este motivo, con el presente artículo iniciamos lo que pretendemos que sea una serie de divulgación encaminada a que todas las personas interesadas en el estudio del medio físico conozcan un poco mejor el campo de la Teledetección y los S.I.G., sus fundamentos y sus aplicaciones.

En este primer artículo se describen los conceptos básicos de la Teledetección y sus bases físicas, así como los principales tipos de sensores utilizados en la actualidad.

FUNDAMENTOS FÍSICOS DE LA TELEDETECCIÓN

LA palabra «teledetección», proviene de la traducción dada por los franceses «*télé-détection*» en 1967 al término anglosajón «*remote sensing*» y puede definirse como «*la adquisición de información sobre un objeto a distancia, es decir, sin que haya contacto material entre el objeto o sistema observado y el observador*» (López M. J. et al., 1991).

Es una técnica que presenta numerosas ventajas con respecto a los métodos tradicionales, de las cuales podemos destacar tres:

1. Se realiza una cobertura periódica de la superficie, lo que permite estudios de evolución temporal.
2. Permite una visión global de grandes espacios (una imagen Landsat abarca 34.000 km²), lo que homogeneiza la toma de datos.
3. Permite obtener información sobre regiones no visibles del espectro electromagnético, registrando datos inaccesibles al ojo humano.

Algunos autores, especialmente los franceses, incluyen la fotografía aérea dentro de los sistemas de teledetección, aunque admiten que no son una representación cuantitativa de la energía recibida, ya que la restitución de las densidades de colores depende de muy diversos parámetros, de orden natural o técnico, que no siempre son dominados en el momento de su adquisición (Scanvic, 1989).

Desde el punto de vista de su aplicación, la teledetección tiene como objetivo el reconocimiento de las características de la superficie terrestre y de los fenómenos que en ella se producen a partir de los datos registrados por el sensor, basándose en que los materiales de la superficie terrestre tienen una respuesta espectral propia, a partir de la cual podemos identificarlos, apoyándonos en una serie de leyes y principios físicos básicos que pueden resumirse en los siguientes puntos:

- la radiación electromagnética como fuente de energía,
- la interacción de la energía electromagnética con la atmósfera,
- la interacción de la energía electromagnética con los objetos de la superficie terrestre,
- la recogida de la información mediante sensores.

Para que la observación desde satélite sea posible y de acuerdo con la definición de teledetección y las citadas leyes y principios, es necesario que exista algún tipo de interacción entre los objetos y el sensor. Es por ello que los tres elementos principales en todo sistema de teledetección son el sensor, el objeto observado y el flujo energético que permite poner a ambos en relación. Este flujo energético es el que pone en contacto superficie y sensor y por ello gran número de los principios de la teledetección están directamente relacionados con las propiedades de esta radiación, ya que es la fuente de información que utiliza el sensor.

De las distintas formas que esta radiación puede tomar, se utilizan principalmente dos: la **reflexión** y la **emisión**.

Cualquier objeto cuya temperatura esté por encima del 0 absoluto (-273° C) emite energía, y la intensidad de esta **emisión** es función de la temperatura. Se define como emisor perfecto a aquel objeto (teórico) que absorbe y emite toda la energía que recibe. También se habla de cuerpos blancos o reflectores perfectos cuando no absorben nada de la energía incidente, sino que la reflejan por completo.

La **reflexión** se deriva directamente de la luz solar, principal fuente de energía en nuestro planeta y constituye por tanto la forma más importante de teledetección. El sol ilumina la superficie terrestre, la cual refleja esa energía en función del tipo de cubierta presente sobre ella. El sensor recoge ese flujo reflejado, transmitiéndolo posteriormente a las estaciones receptoras. La atmósfera es un elemento que se interpone entre la superficie y el sensor, dispersando y absorbiendo parte de la señal original.

Los cuerpos más frecuentes en la naturaleza son los **radiadores selectivos**, es decir, aquellos que absorben o reflejan la energía incidente en función de su longitud de onda.

LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Cualquier objeto, como consecuencia de su interacción con las fuentes de energía propias o externas, emitirá y/o reflejará una radiación electromagnética. Cada objeto o sistema posee una respuesta espectral propia, en términos de energía reflejada y energía emitida, y que se conoce como **signatura espectral** (Fig. 1). El objeto de la teledetección es la identificación de los materiales y los fenómenos que tienen lugar en la superficie terrestre a través de su signatura espectral.

La radiación electromagnética más fácil de entender para nosotros es aquella para la que el ser humano está dotado naturalmente de sen-

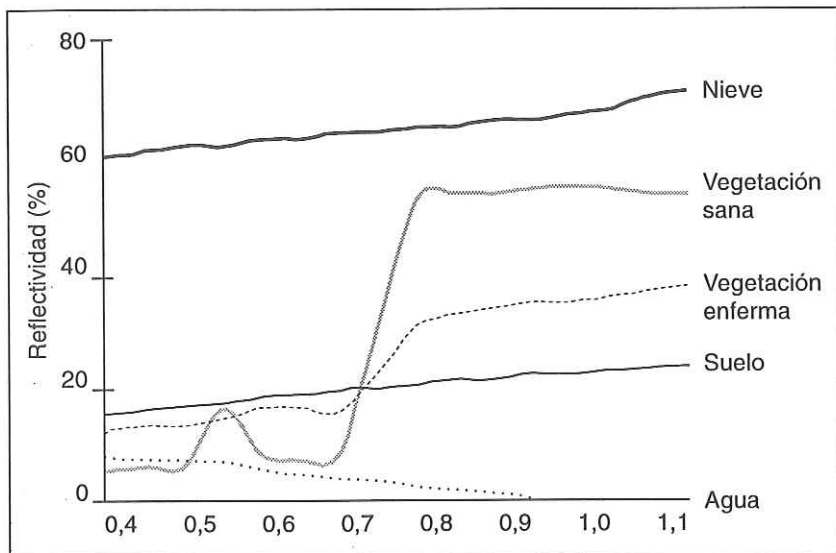


FIGURA 1.
Signaturas espectrales de las distintas cubiertas. (Chuvieco, 1990).

sores, es decir, la luz visible. El ojo humano es capaz de apreciar un reducido intervalo de longitudes de onda que va de los 0,4 a 0,78 μm aproximadamente ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{m}$), lo que es el conocido como «espectro visible» es decir, la secuencia de colores del rojo, naranja, amarillo, verde, azul, índigo y violeta, que no representa más que una minúscula parte del espectro electromagnético.

Los rayos X se encuentran en unas longitudes de onda comprendidas entre 0,3 y 300 \AA (1\AA (1 Amstrong) = 10^{-10}m); el ultravioleta se sitúa entre 13-400 μm ; el infrarrojo entre 0,78-15 μm ; las microondas entre 1 mm y 10 cm y las ondas hertzianas comienzan a los 10 cm hasta 1 km. Dentro de estas últimas, se utiliza para el radar las longitudes comprendidas entre 1 cm y 1 m. De esta gama de longitudes de onda (Fig. 2), la teledetección utiliza esencialmente la parte que va desde el visible a las microondas (López, M. J. *et al.*, 1991).

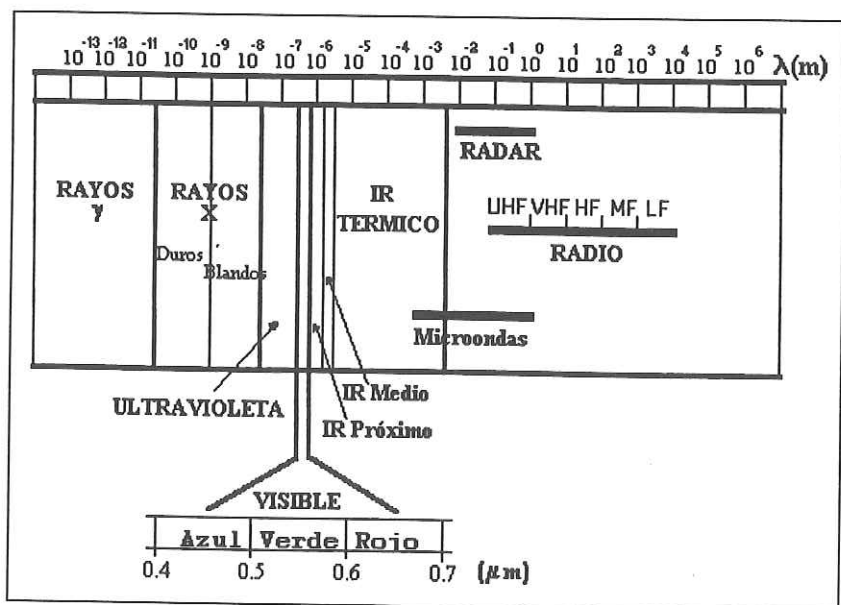


FIGURA 2.
Espectro electromagnético. (Modificado de Pinilla, 1995).

LAS TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN

Las técnicas de teledetección, según el origen de la señal utilizada, se pueden agrupar en dos categorías (López, M. J., *et al.*, 1991):

1. **Métodos pasivos:** Están basados en la detección de las características radiactivas o reflectantes del sistema observado. La

fuente energética es el Sol o la Tierra y la misión del sensor es únicamente la de captar la señal que le llega. Existen dos tipos de sensores de estas características: electro-ópticos y de microondas.

2. **Métodos activos:** En este caso, el sensor tiene una doble función: por un lado, actúa activamente produciendo una señal de características conocidas que será recogida después de interactuar con el sistema observado. La información se obtiene de la comparación entre la señal emitida y la reflejada. El más conocido es el radar, radiómetro activo de microondas que barre entre 0.1 y 100 cm.

CARACTERÍSTICAS DE LOS SENSORES

Para que la teledetección pueda llevarse a cabo, es necesario contar con instrumentos capaces de registrar la radiación procedente de la Tierra (sensores) y de transformarla en una señal susceptible de ser manejada de forma analógica (productos fotográficos) o de forma digital (cintas magnéticas compatibles con ordenador, CCTs, CD Rom, etc.).

Los sensores pueden definirse como instrumentos susceptibles de detectar la señal electromagnética (radiación reflejada o emitida) que les llega de la Tierra y la atmósfera, en un determinado intervalo de longitud de onda, y convertirla en una magnitud física que pueda ser tratada y grabada (señal analógica o digital).

Las características espaciales del sensor hacen referencia a la porción de la superficie terrestre de la cual obtiene información (López, M. J., *et al.*, 1991) y se determinan por magnitudes tales como:

- **Campo de visión instantánea (IFOV)**, que depende de la apertura del dispositivo óptico del sensor y determina las dimensiones máximas de la superficie terrestre que puede observarse en cada instante desde el sensor. Se expresa en radianes, aunque se suele usar la longitud que sobre la superficie terrestre corresponde a ese ángulo, lo que coincide con las dimensiones del píxel.
- **Campo total de observación:** se define para los sensores de barrido y depende del ángulo de oscilación o de rotación del espejo y de la duración de la pasada. En función de la altitud del satélite, se obtiene la longitud de la línea de barrido, que se expresa en m o km.
- **Píxel** (contracción del término anglosajón *picture element*): Determina el tamaño de la muestra. La señal de salida del detector

sufre un muestreo a una frecuencia que depende del sistema de adquisición de los datos, esto es, de la velocidad de barrido.

De entre las cualidades de un sistema sensor, hay que destacar la **resolución**, que es una medida de la capacidad de un sistema óptico para distinguir señales que están espacialmente cercanas o que son espectralmente similares.

Las dimensiones del píxel definen la aptitud de un sensor para distinguir los objetos en el plano espacial, y es lo que nos da la **resolución espacial** del sensor. Sin embargo, esta resolución no depende exclusivamente del tamaño del píxel sino que puede estar influida por el contenido de la imagen y por otros factores como: geometría y contraste del objeto, resolución radiométrica, iluminación, claridad de la atmósfera o el efecto de los píxeles vecinos.

Las características espectrales del sensor hacen referencia a su capacidad para registrar la radiación electromagnética, y determinan su **resolución espectral**, magnitud que expresa su aptitud para separar señales de longitudes de ondas diferentes. Depende del dispositivo de filtro óptico que separa la radiación incidente en bandas espectrales más o menos amplias.

Las características radiométricas del sensor definen la **resolución radiométrica**, que expresa su capacidad en una banda espectral considerada, para distinguir señales electromagnéticas de energía diferente. La resolución radiométrica está condicionada por los intervalos de digitalización de la señal. En el dominio del infrarrojo térmico, esta resolución se traduce en medidas de temperatura diferente (NEdT), mientras que en el visible, determina los valores de reflectividad.

Finalmente, si nos referimos a la periodicidad en la adquisición de las imágenes, definimos la **resolución temporal** que alude a la frecuencia de cobertura proporcionada por el sensor. El ciclo de cobertura está en función de las características orbitales del satélite, así como de las cualidades del sensor (ángulo de observación y de abertura).

Los sensores pueden ser instalados en distintas plataformas o medios de observación, teniendo cada uno de ellos características propias. Ordenando aquellos más importantes de menor a mayor distancia a la tierra, tenemos: el propio suelo, globos, aviones, cohetes y satélites artificiales.

Para la obtención de una visión global de regiones de gran extensión, las plataformas más adecuadas son los satélites artificiales. Se trata de máquinas que giran en el espacio alrededor de la Tierra, siguiendo una órbita específica, y diferenciándose de los cohetes en que pueden permanecer en órbita, facilitando una visión constante del planeta.

LOS SATÉLITES DE OBSERVACIÓN DE LA TIERRA

Desde los años 70 se han desarrollado diversos tipos de sensores y plataformas receptoras, aumentando su resolución radiométrica, espacial y temporal a medida que las tecnologías han ido avanzando. En la actualidad se dispone de una amplia variedad de sensores diseñados para tareas específicas, que van desde la exploración del Cosmos a los estudios climatológicos, oceánicos o medioambientales. Los satélites artificiales son la mejor plataforma de observación sobre la que instalar los sensores que captan la energía reflejada o emitida por la Tierra. Estos satélites se clasifican en tres grandes grupos en función de sus características orbitales (Fig. 3):

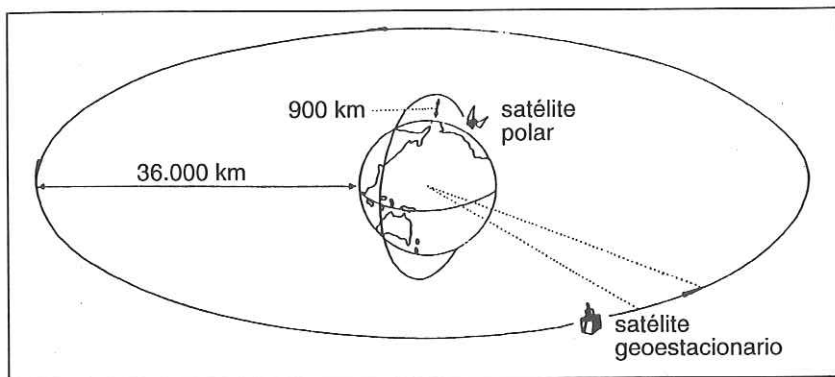


FIGURA 3.

Satélites de órbita polar y satélites geostacionarios. (Montesinos, 1990).

1. Satélites geostacionarios (o geosincrónicos)

En ellos, el período orbital, es decir, el tiempo que tarda en completar una órbita alrededor del planeta, es igual a la velocidad de rotación de la Tierra, por lo que aparecen como inmóviles, siempre en la misma posición respecto a un punto fijo de la superficie terrestre. La altura orbital de estos satélites es de unas 5 o 6 veces el radio terrestre y sus sensores se caracterizan por su baja resolución espacial y la alta repetitividad de sus observaciones (varias veces al día). Como ejemplo de satélites geostacionarios podemos citar el programa norteamericano GOES (Geostationary Operational Environmental Satellites) y el europeo METEOSAT, que realiza una observación de la Tierra cada 30 minutos. Su principal sensor es un radiómetro multispectral que trabaja en regiones del visible y del infrarrojo. Sus características quedan reflejadas en la Tabla 1.

TABLA 1.
Características del sensor VISRR-METEOSAT.

METEOSTAT SENSOR VISSR		
Canal	λ (μm)	Resolución espacial
Visible (VIS)	0,50-0,90	2,5 km
Vapor de agua (WV)	5,70-7,10	5 km
IR térmico (IRt)	10,50-12,50	5 km
IFOV	18° ■■■■ 0,065 mrad (VIS) y 0,14 mrad (IRt, WV)	
Velocidad de giro de plataforma	100 r.p.m.	
Líneas de la imagen	5.000 (VIS) y 2.500 (IRt, WV)	
Número de píxeles	25 Megapíx, (VIS) y 6.25 Megapíx. (IRt, WV)	

2. Satélites de órbita polar (o heliosincrónicos)

Estos satélites no permanecen sobre un mismo punto de la superficie terrestre, sino que describen órbitas circulares o ligeramente excéntricas, con dirección Norte-Sur, mientras la Tierra gira bajo ellos en sentido Oeste-Este. Suelen tener una altura orbital menor de 1000 Km. La relación angular entre el Sol y el plano orbital del satélite se mantiene constante (Widger, 1966; Petrie, 1970), por lo que el satélite pasa sobre el mismo punto de la tierra a la misma hora solar. La zona de la superficie terrestre que puede ser captada por el satélite viene limitada por su inclinación orbital, es decir, para que un satélite de órbita polar pudiera sobrevolar la totalidad de la superficie terrestre, debería tener una inclinación orbital de 90°. Como ejemplos de satélites de órbita polar tenemos los programas SPOT, NOAA y LANDSAT, que describiremos más pormenorizadamente.

Programa SPOT

(Système Probatoire d'Observation de la Terre)

Se sitúa a una altura de 832 km, con una inclinación orbital polar de 8° y un período orbital de 26 días. La posibilidad de mira lateral permite a SPOT adquirir pares de imágenes estereoscópicas, a la vez que aumenta la resolución temporal, pudiendo observarse cualquier punto de la superficie terrestre con una periodicidad de entre uno y varios días. Su aplicación es hacia el estudio de los usos de suelo, evolución del medio ambiente, evaluación de los recursos naturales, minería, tra-

bajos cartográficos a escala media (1: 100.000) y actualización frecuente de la cartografía topográfica (1:50.000). Porta dos sensores idénticos e independientes, el HRV1 y el HRV2 (Haute Résolution Visible), electroópticos de barrido electrónico que trabajan en modo pancromático (P) o multibanda (XS). Su resolución espacial es de 20 m en modo multibanda (3000 píxeles por línea) y de 10 m en modo pancromático (6000 ppl). Para ambos casos la longitud de mira de la imagen es de 60 km. En la Tabla 2 se resumen las principales características de estos sensores.

TABLA 2.
Características de los sensores HRV-SPOT.

BANDA (λ)	AMPLITUD (μm)	RESOLUCIÓN (m)
XS1	0.50-0.59	20
XS2	0.61-0.68	20
XS3	0.79-0.89	20
P	0.51-0.73	10

Programa NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration Satellite) (Tabla 3)

Su órbita se sitúa a 870 km de altura, cubriendo una imagen un área de 3.000 km de lado. Está equipado con varios tipos de sensores de aplicación fundamentalmente meteorológica, destacando por su interés el AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*), diseñado para proporcionar imágenes con una resolución de 1.1 km en el nadir, en 5 bandas del espectro. El objetivo de este programa es la observación meteorológica y oceanográfica. Es por ello que su ciclo es tan corto, de modo que cualquier punto de la tierra puede ser observado

TABLA 3.
Características del sensor AVHRR-NOAA.

BANDA (λ)	AMPLITUD (μm)	REGIÓN ESPECTRAL
1	0.58-0.68	Rojo
2	0.72-1.10	Infrarrojo cercano
3	3.55-3.93	Infrarrojo medio
4	10.30-11.30	Infrarrojo térmico
5	11.50-12.50	Infrarrojo térmico

cada 12 h, aunque en la práctica, esto se reduce a tan solo unas seis horas gracias a la sincronización del movimiento de los dos satélites de la serie que en están operativos simultáneamente.

Programa LANDSAT

De órbita polar heliosincrónica, comienza en 1972 con el lanzamiento del ERTS y constituye actualmente un proyecto de gran rendimiento en cuanto a explotación de información. La orientación de su diseño se dirigió fundamentalmente al inventario agronómico y previsión de cosechas, evaluación y control de zonas regables, planificación de los recursos hídricos en el contexto de la cuenca hidrográfica, cartografía de los usos del suelo, estudio de los recursos litorales, estudios geológicos y control de contaminantes en aguas y suelos.

La actual generación de satélites Landsat está representada por los Landsat 4 y 5. Se encuentran a una altitud de 706 km en una órbita polar de 98,2° de inclinación, lo que le permite completar el ciclo en 16 días, desarrollando 233 revoluciones. El solape lateral de las escenas varía con la latitud: las escenas registradas en latitudes del orden de las existentes en la Península Ibérica presentan un solape del 29%, lo que representa unos 50 km. (James et al, 1984, Taranik, 1978).

Los satélites de este programa, portan los siguientes sistemas sensores:

- Sistemas **RBV** (*Return Beam Vidicon*): Sistema de tres cámaras de televisión portadas por los LANDSAT 1 y 2, con una resolución equivalente a 80 m de resolución espacial y una resolución espectral de tres bandas del espectro visible. En el LANDSAT 3 se sustituyó el sistema por otro de dos cámaras con una equivalencia de 40 m de resolución espacial y una sola banda espectral como apoyo a las imágenes adquiridas con MSS. La anchura del campo de visión es igual a la del MSS.
- El sensor **MSS** (*MultiSpectral Scanner*) fue el primero con el que fueron equipados los satélites de esta serie. Incluso se han mantenido en los dos últimos para mantener la continuidad de las observaciones realizadas con el mismo. La imagen proporcionada por él consta de 2.340 líneas por 3.240 columnas y su resolución espacial corresponde a una celdilla de 79 m de lado. Detecta la escena en cuatro bandas con una resolución radiométrica de 256 niveles. La anchura del campo de visión es de 185 km. (Tabla 4).
- El sensor **TM** (*Thematic Mapper*), con una resolución espectral de 7 bandas, una resolución espacial de 30 m de lado para 6 de las bandas y de 120 m para el canal térmico (banda 6).

TABLA 4.
Características espectrales de los sensores MSS y TM de Landsat.

MSS		TM	
BANDA	λ (μm)	BANDA	λ (μm)
4	0,5-0,6	1	0,45-0,52
5	0,6-0,7	2	0,52-0,60
6	0,7-0,8	3	0,63-0,69
7	0,8-1,1	4	0,76-0,90
8	10,4-12,6	5	1,55-1,75
		6	10,40-12,5

Las aplicaciones principales del sensor Thematic Mapper quedan resumidas en la Tabla 5 (López, M. J. *et al.*, 1991).

TABLA 5.
Principales aplicaciones de cada una de las bandas TM de Landsat.

BANDAS	λ (μm)	APLICACIONES PRINCIPALES
1	0,45-0,52	Cartografía de aguas costeras. Diferenciación entre suelo y vegetación. Diferenciación entre vegetación y coníferas.
2	0,52-0,60	Medida de la reflectancia en la banda verde para el estado sanitario de la vegetación.
3	0,63-0,69	Diferenciación de especies vegetales gracias a la determinación de la absorción clorofílica.
4	0,76-0,90	Delineación de masas de agua. Inventarios de la biomasa.
5	1,55-1,75	Diferenciación entre nubes y cubierta de nieve. Medida de la humedad de la vegetación. Medida de la humedad del suelo.
6	10,40-12,5	Termografías. Información sobre el desecamiento de la vegetación. Datos térmicos en formaciones geológicas (complementa la información de las otras bandas).
7	2,08-2,35	Discriminación de tipos de rocas (mineral y petróleo). Cartografía hidrométrica.

3. Satélites de órbita general

No presentan órbita geosincrónica ni heliosincrónica. Como ejemplo de este tipo de satélites tenemos los programas:

- *SEASAT*, satélite lanzado por los EEUU y dedicado al estudio de los fondos oceánicos. Este satélite, ya desaparecido, transportaba un rádar de apertura sintética (SAR), un altímetro rádar (ALT), un dispersómetro y radiómetro de microondas (SMMR) y un radiómetro que trabajaba el visible e infrarrojo (VIRR)
- *ERS-1* primer satélite europeo de teledetección, lanzado el 17 de Junio de 1991. Esta plataforma presenta una órbita casi polar y circular, a una altura de 780 Km, con un período orbital de 3 días. Porta varios sensores, siendo los principales un SAR, un ALT, un radiómetro de exploración (ATSR), un retroreflector láser y un instrumento activo de microondas (AMI).

BIBLIOGRAFÍA

- CHUVIECO, E. (1990): *Fundamentos de Teledetección Espacial*. M. Ediciones Rialp. Madrid.
- JAMES, D. G.; ELLIOT, J. C.; YOUNG, D. y BISHOP, D. (1984): «Landsat D Prime». *NASA News*, n. 84-22. Florida. USA.
- LÓPEZ, M. J.; CASELLES, V. (1991): «Introducción a la Teledetección», en *La Teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Recursos renovables: Agricultura*. Universitat de Valencia. Valencia.
- MONTESINOS, S. (1990): *Cuantificación de la extracción de aguas subterráneas mediante proceso digital de imágenes Landsat TM. Aplicación al acuífero de la Llanura Manchega*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid.
- PETRIE, G. (1970): «Some consideration regarding mapping from Earth Satellites». *Photogrammetric Records*, 6. (pp. 590-624).
- PINILLA, C. (1995): *Elementos de Teledetección*. RA-MA Editorial. Madrid.
- SCANVIC, J. Y. (1989): *Teledetección aplicada*. Editorial Paraninfo. Madrid.
- TARANIK, J. V. (1978): «Radiation and instrumentation in Remote Sensing», en SWAN y DAVIS (Eds.): *Remote Sensing: The Quantitative Approach*. Mc Graw & Hill. New York.
- WIDGER, W. K. (1966): «Orbits, altitude, viewing geometry, coverage and resolution pertinent to satellite observations of the Earth and its atmosphere». *Proceedings of the 4th Symposium on Remote Sensing of Environment*. (pp. 484-537).