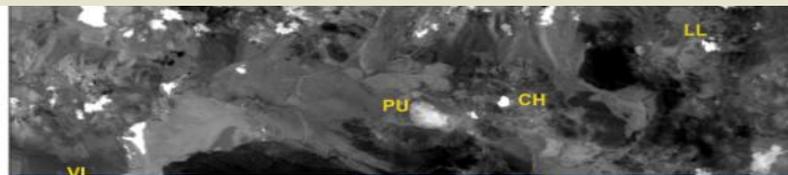
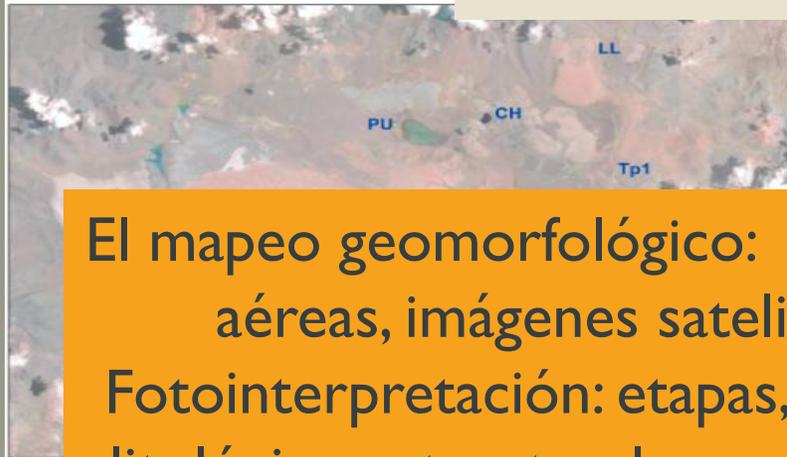
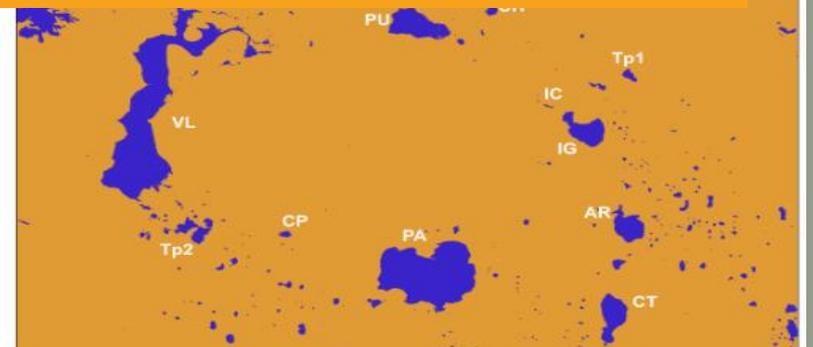
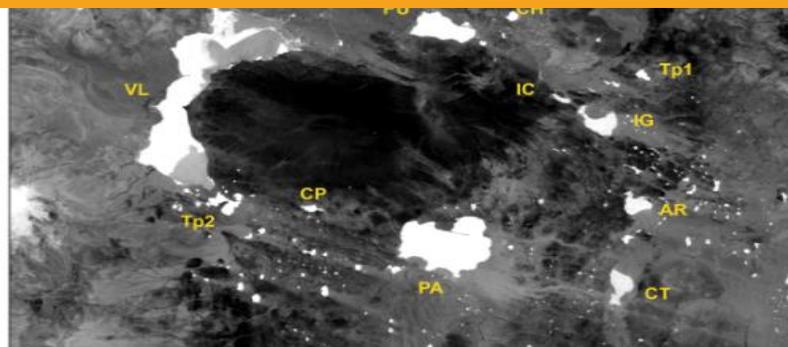


## Trabajo Práctico N° 2



El mapeo geomorfológico: Interpretación de imágenes de sensores remotos: Fotografías aéreas, imágenes satelitales. Principales características de las fotografías aéreas. Fotointerpretación: etapas, fotoelementos. Fotogeología: Criterios para la identificación litológica, estructural y geomorfológica. Mapa base. Medición y ubicación relativa de las geoformas. Cálculo de escala en fotografías aéreas



## ¿Qué es la teledetección o la detección remota?

La teledetección *es la adquisición de información a pequeña o gran escala de un objeto o fenómeno por medio de instrumentos de grabación o de escaneo en tiempo real que no están en contacto directo con el objeto.*

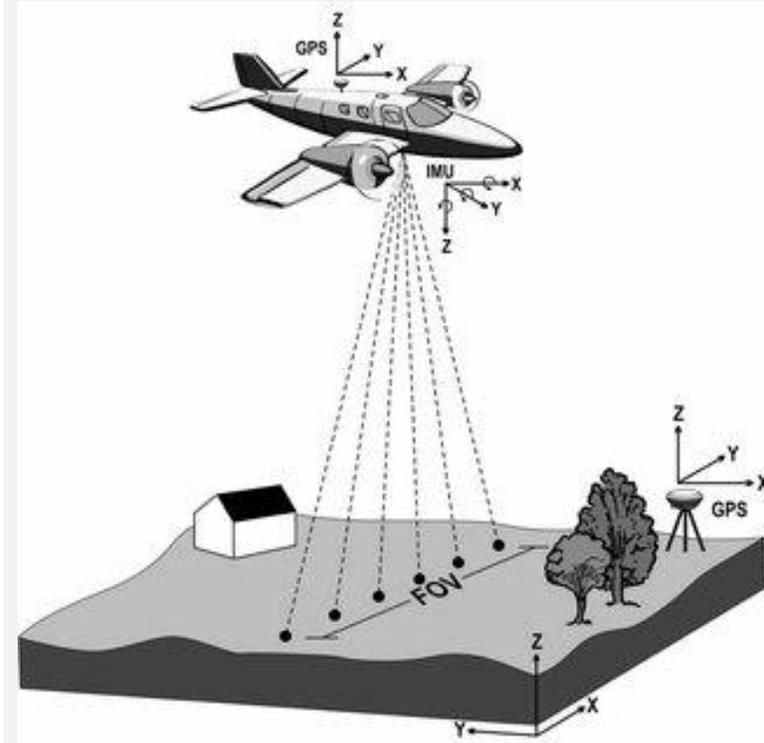
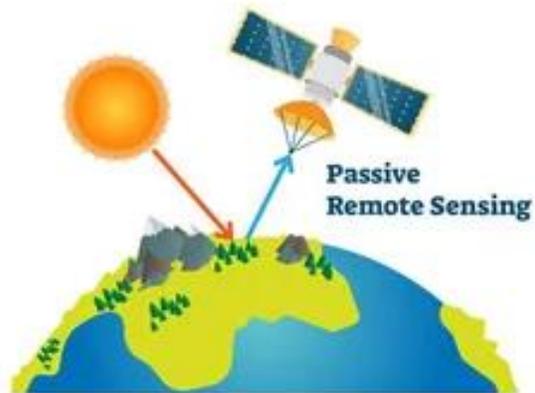
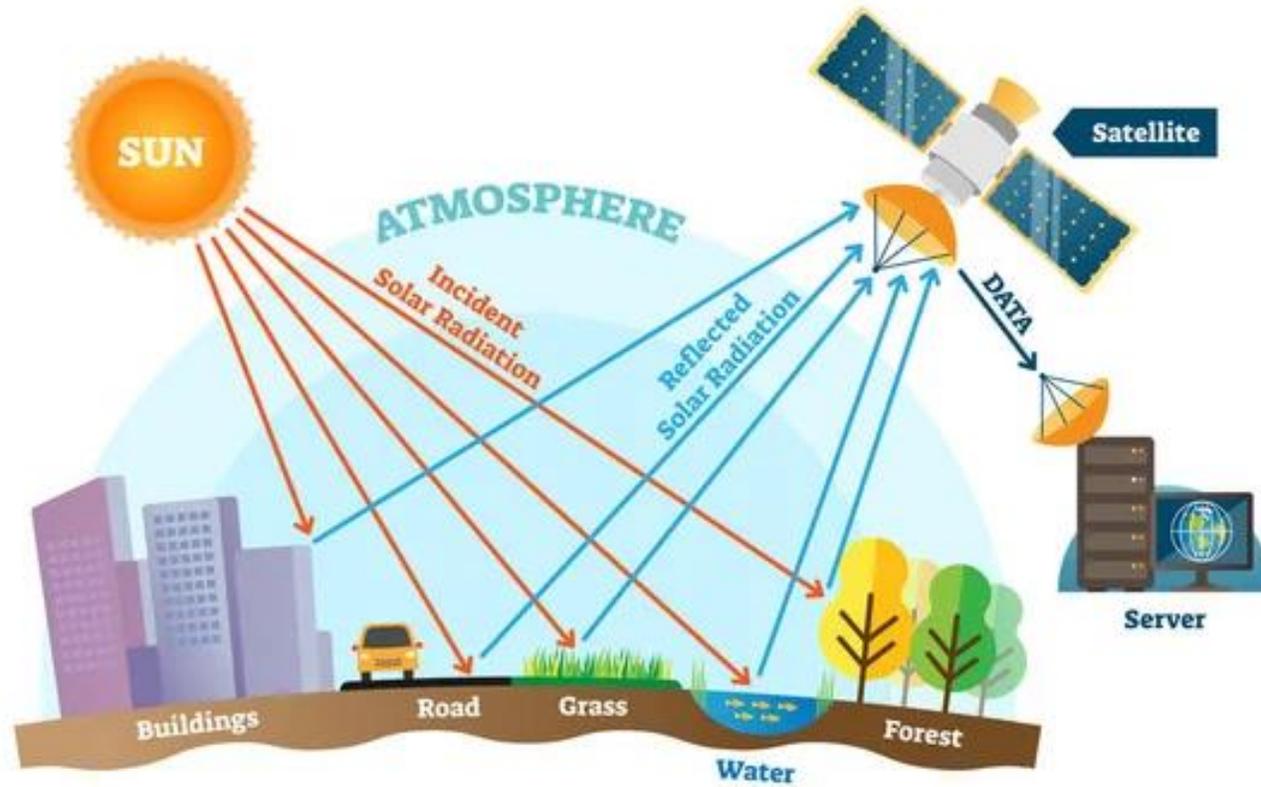
Aplicado al análisis del terreno, involucra a aquellas observaciones de la superficie terrestre (y regiones subsuperficiales) llevadas a cabo por medio de aparatos o sensores llevados a bordo de aviones, satélites, barcos, etc. (algunos ejemplos: la observación terrestre o los satélites meteorológicos, las boyas oceánicas y atmosféricas, las imágenes por resonancia magnética, la tomografía por emisión de positrones, los rayos-X, las sondas espaciales).

Se puede diferenciar entre:

**Teledetección pasiva:** se detecta la radiación natural emitida o reflejada por el objeto o área circundante que está siendo observada. La luz solar reflejada es uno de los tipos de radiación más comunes medidos por esta clase de teledetección. Ejemplos: fotografías aéreas, rayos infrarrojos, radiómetros.

**Teledetección activa:** se emite energía para poder escanear objetos/áreas, de manera tal que un sensor (o teledetector) mide la radiación reflejada del objetivo. Por ej. los radares: miden el tiempo que tarda una emisión en ir y volver de un punto, estableciendo así la localización, altura, velocidad y dirección de un objeto determinado.

# REMOTE SENSING



## FOTOGRAFÍAS AÉREAS

***Definición:*** Es la fotografía de una parte de la superficie terrestre con el objetivo de obtener información o medidas de las entidades geográficas, para finalidades cartográficas y análisis de medida.

Una fotografía aérea es una proyección en perspectiva de un área del terreno, realizada desde un centro de proyección elevado, de manera tal que los puntos están desplazados y tiene una escala decreciente desde el nadir. Según la relación entre la estación de cámara y la escena, la fotografía aérea puede ser vertical, oblicua u horizontal.

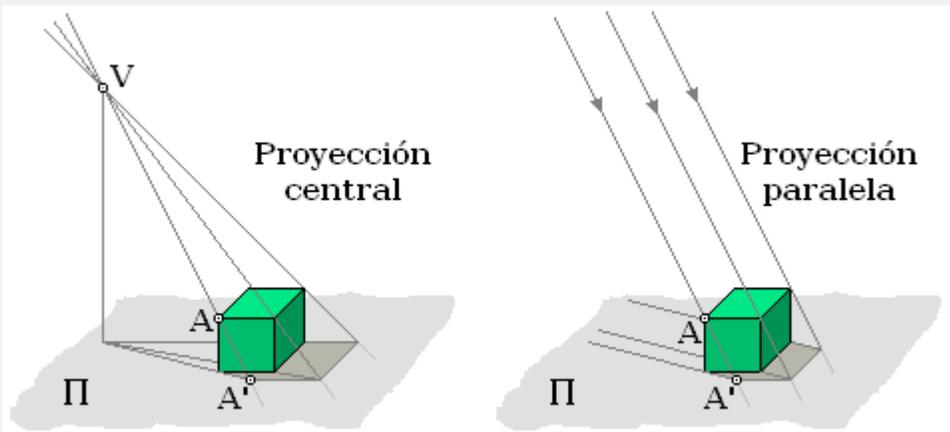
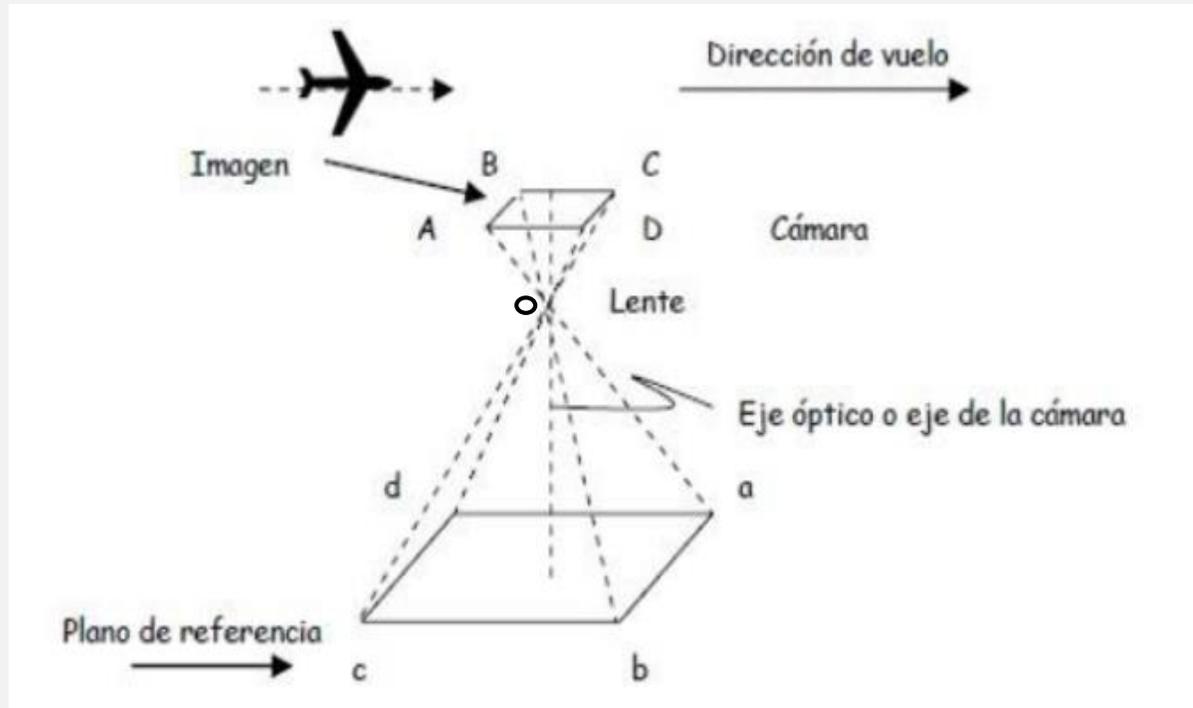
**Ortofoto:** es una fotografía con escala constante y propiedades de una proyección ortogonal, formada a partir de una fotografía en proyección central mediante rectificación diferencial. Los objetos ocupan sus posiciones horizontales reales. Si la rectificación ha sido analógica, no se ha corregido el desplazamiento de las superficies verticales.

**Fotografía orbital:** permite obtener imágenes de altura muy superior a las de las fotografías aéreas, mediante aparatos fotográficos situados sobre vehículos espaciales o satélites artificiales en órbita en torno a la Tierra.

## Tipos de proyección:

**Proyección Central:** la proyección se hace desde un punto propio "o", llamado centro de perspectiva o centro de proyección, de forma tal que todos los rayos que proyectan los vértices ABCD de la figura pasan por el centro de proyección.

**Proyección Paralela u Ortogonal:** La proyección se hace tomando como centro el punto impropio de una recta. Según sea la dirección de esta recta, oblicua o perpendicular al plano sobre el cual se proyecta, se tendrá una proyección paralela u oblicua.



*Una fotografía aérea se toma con una proyección cónica con deformaciones angulares, si corregimos estas deformaciones obtenemos un ortofotomapa ya que el proceso de corrección consiste en el paso a una proyección ortogonal. **Las deformaciones son máximas hacia los bordes de la fotografía***

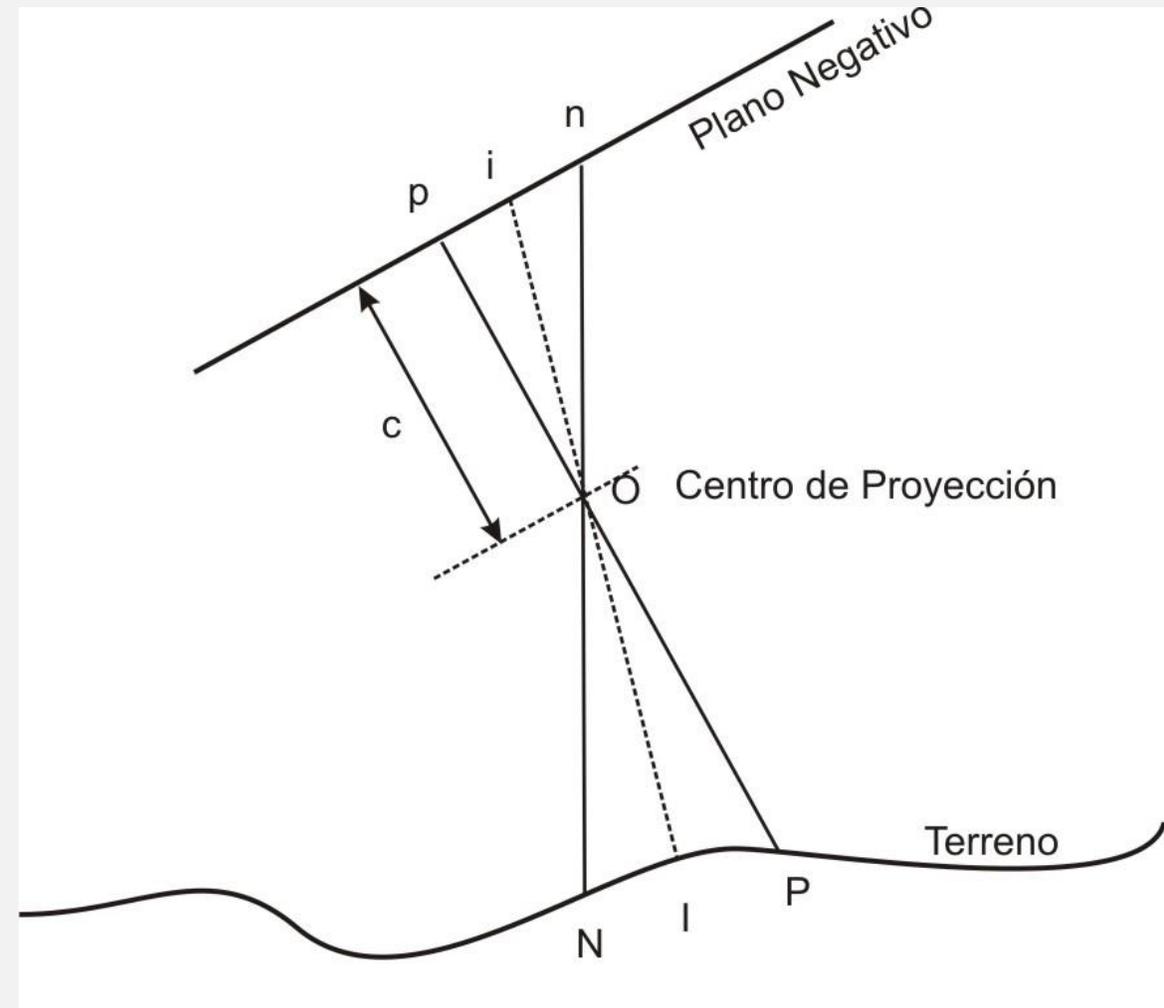
## Elementos de las Fotografías Aéreas

\* **Punto Nadir:** intersección entre la vertical que pasa por el centro de proyección y el plano del negativo. Se indica con “N” en el terrero y “n” en la foto.

\* **Punto Principal:** es la proyección ortogonal del centro de proyección sobre el plano de la fotografía. Se indica con “P” en el terrero y “p” en la foto.

\* **Isocentro:** es el punto en que la bisectriz del ángulo determinado por la perpendicular al plano del negativo y la vertical que pasan por el centro de proyección, cortan al plano del negativo. Se indica con “I” en el terrero y “i” en la foto.

\* **Distancia Principal:** es la distancia ente el centro de proyección al plano del negativo. Se indica con “c” en la figura.



## Escala de Fotografías Aéreas:

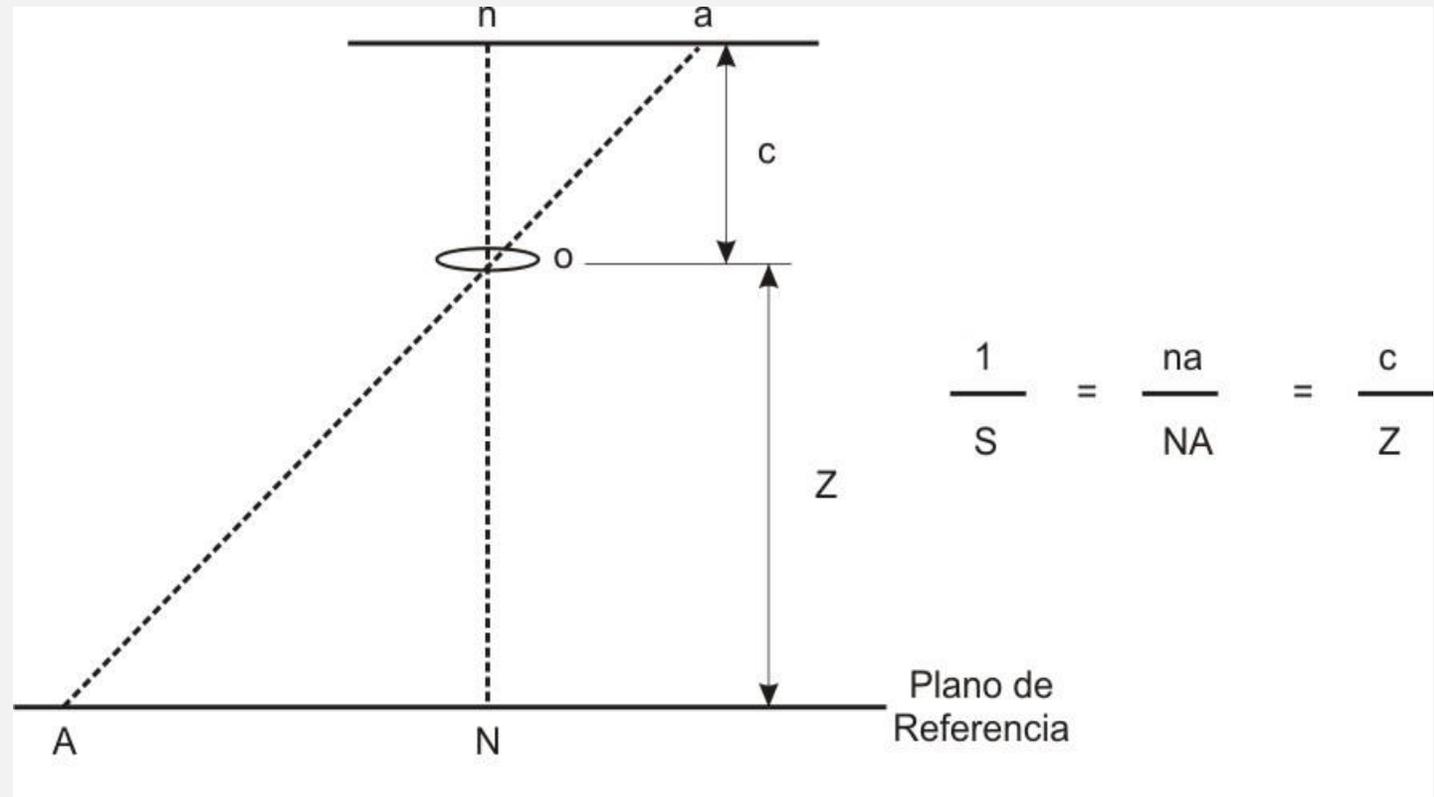
Es la relación que existe entre las distancias  $na$  medida en la foto y  $NA$  del terreno:

$$\frac{1}{E} = \frac{na}{NA}$$

\* Si la fotografía es exactamente vertical, entonces su escala es constante para un mismo plano horizontal.

\* Se define la escala aérea como la relación entre la distancia principal ( $c$ ) y la altura de vuelo sobre el terreno ( $Z$ ):

$$\frac{1}{E} = \frac{c}{z}$$



**Desplazamiento debido al relieve:** para un plano de referencia es la distancia entre la posición de un punto “a” en la fotografía y la posición que éste tendría en la misma fotografía si en punto estuviese sobre el plano de referencia “a<sub>1</sub>”.

## Series de fotogramas aéreos: sus elementos

En un fotograma aéreo aparecen una serie de elementos que facilitan la interpretación y la corrección:

**1)** Existen 4 marcas en las esquinas de la foto llamadas **marcas fiduciales**: si trazamos dos líneas diagonales pasando cada una por dos de estas marcas, estas se cruzarán en el centro de la foto que debe coincidir con el nadir (punto de la superficie terrestre perpendicular al plano focal), lo cual *sólo es así si el avión volaba sin inclinación*, en este último caso el punto central de la foto se desvía respecto al nadir. Por ello en el fotograma aparece una pequeña fotografía del nivel del avión, si la burbuja esta razonablemente en el centro podemos inferir que no se han introducido distorsiones.

**2)** El reloj nos informa de la hora y el altímetro de la altura a la que se tomo la foto.

**3)** Suele aparecer información acerca del organismo que ha obtenido la foto, fecha, escala, posición.

**4)** Puesto que la altura focal es constante, y debe ser suministrada junto a la fotografía aérea, podemos recalcular la escala dividiendo la altura de vuelo (que puede variar de un fotograma a otro) menos la altura del terreno entre la distancia focal:  **$E=(H-h)/f$**

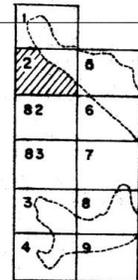
*Evidentemente la escala no va a ser constante, no sólo entre fotografías de un vuelo sino tampoco dentro de la misma fotografía, sino que va a depender de la altitud de cada punto. Si en el área fotografiada existen diferencias de altitud importantes, en necesario tener en cuenta su efecto sobre la escala.*



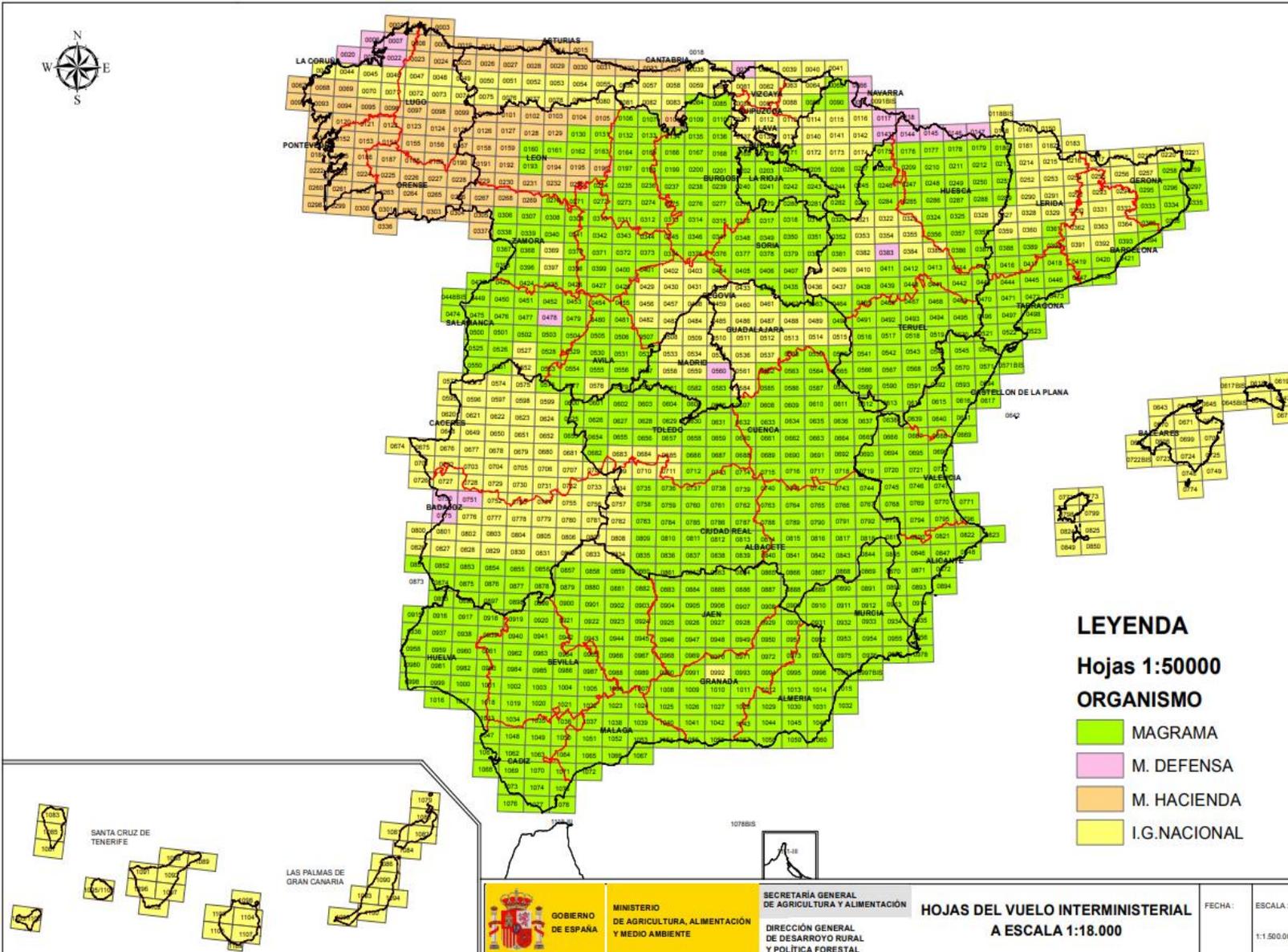
Marcas fiduciarías:  
"X"

Información del vuelo: corrida, banda o barrido al cual pertenece la fotografía

FECHA DEL CONTRATO : 10 - X - 66



FECHA DE FOTOGRAFIA : AÑO 1963



Una **serie de fotogramas** es el conjunto de fotogramas que cubren dicho espacio y que normalmente tienen un solapamiento longitudinal de un 50 o 60%, que permite la visión estereoscópica; y un solapamiento latitudinal de 20-30% para asegurar que no quede espacio por cubrir.

A la hora de planificar un vuelo se tiene en cuenta que si el sol está excesivamente alto se pueden producir reflejos, mientras que si está muy bajo pueden producirse sombras excesivas; sin embargo algunas aplicaciones pueden beneficiarse de la presencia de sombras.

La época más adecuada para realizar un vuelo es primavera y otoño y la mejor hora el mediodía. Con ello se minimizan las sombras y los efectos de reflexión del sol en superficies de agua.

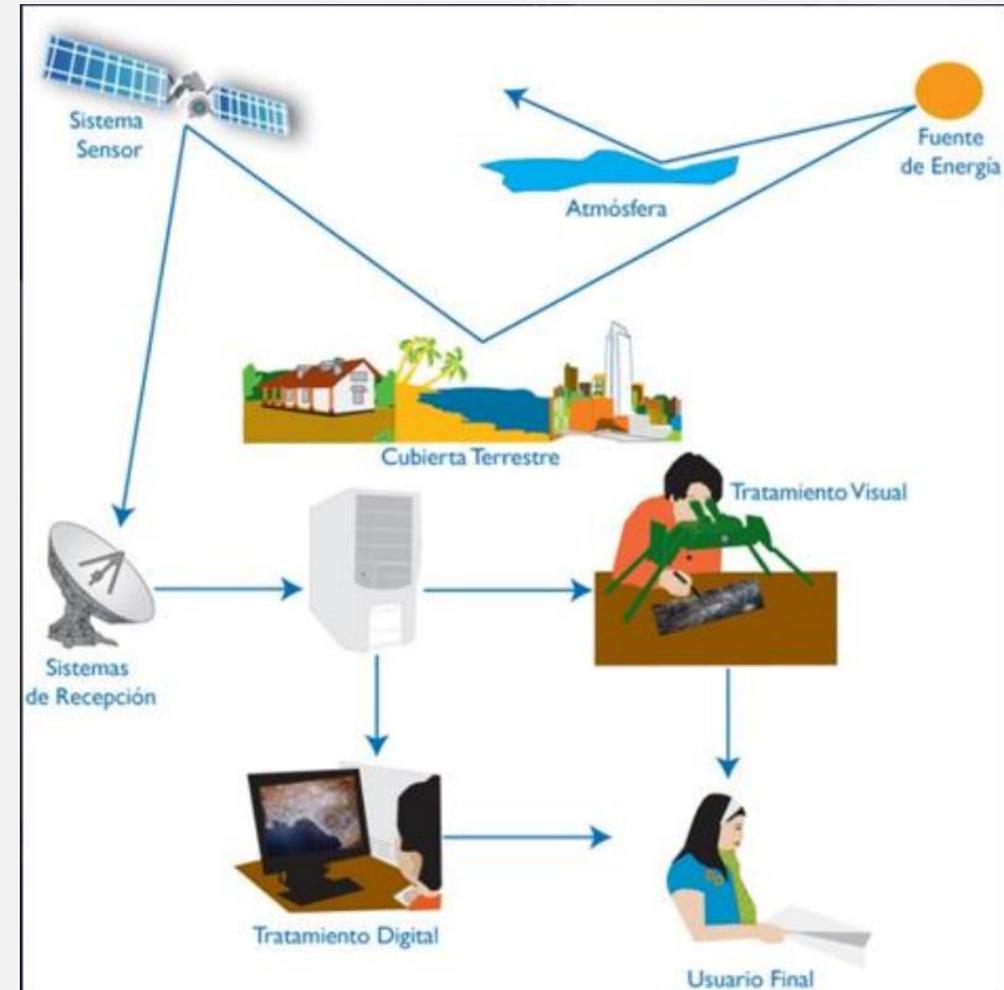
MAPA	FOTOGRAFÍA AÉREA
Representación geométrica correcta	Representación geométrica no correcta debido a: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Desplazamiento causado por el relieve;</li> <li>- Desplazamiento causado por la inclinación de la fotografía</li> <li>- Distorsión de la lente de la cámara</li> </ul>
Proyección ortogonal	Proyección Central
Selección de objetos (o elementos). Todos los objetos, incluso los no visibles son factibles de ser representados	Abarca solamente a todos los objetos/elementos visibles
Es una representación abstracta en que la leyenda es indispensable	Es una representación real de la superficie terrestre. Como la representación tiene cierta distorsión en la escala, la leyenda reduce el valor
Suele ser necesario re-dibujarlo para cambiar y adecuar la escala	Fotográficamente se puede ampliar o reducir la escala, aunque sólo dentro de ciertos límites

## IMÁGENES SATELITALES

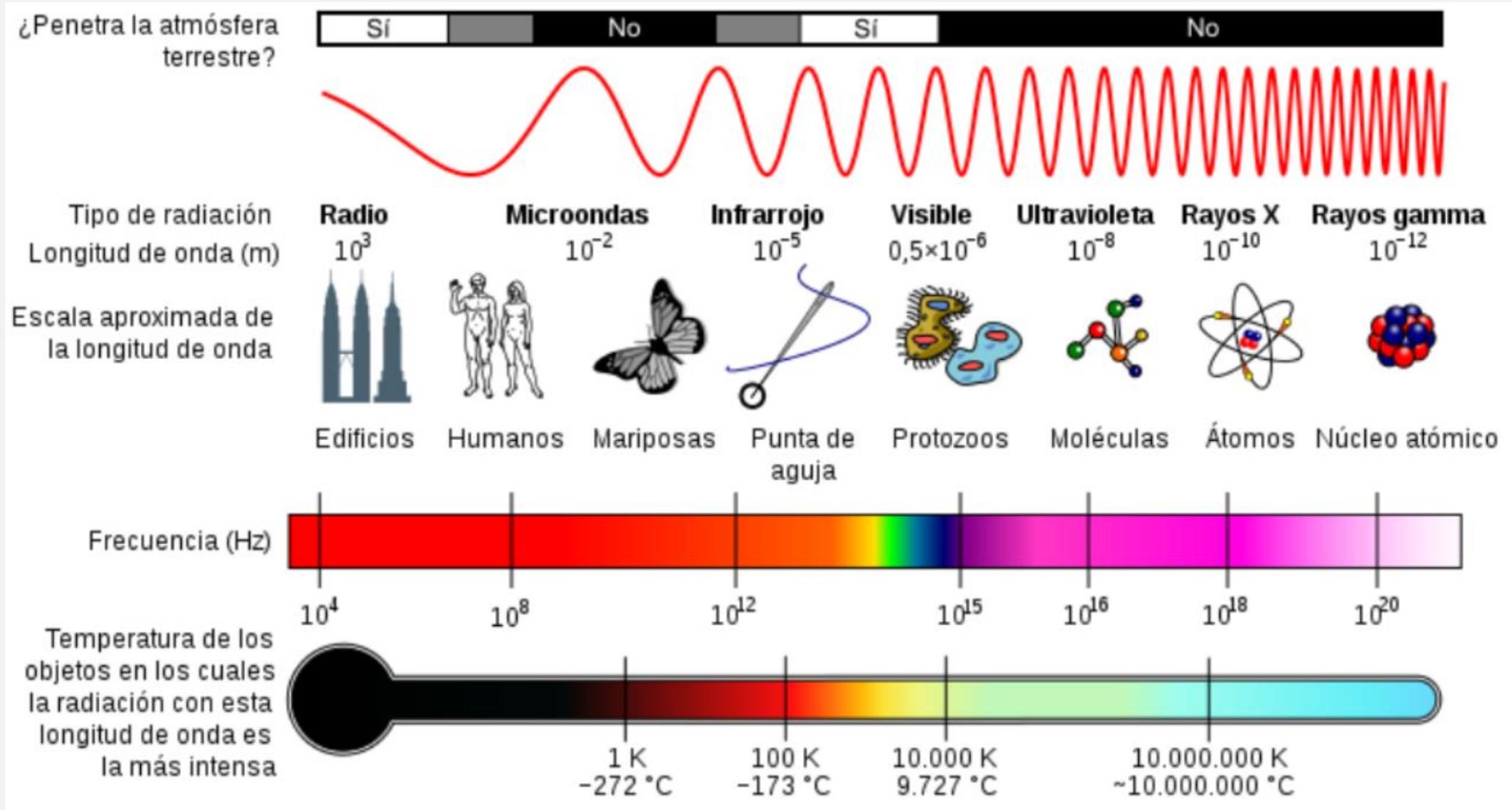
Es la representación visual de la información capturada por sensor/es montado/s en un satélite artificial. Estos sensores recogen la información reflejada por la superficie de la Tierra que luego es enviada de regreso a ésta y es procesada convenientemente.

Dichos sensores registran la **radiación electromagnética** (i.e. *radiación transmitida a través del espacio en forma de ondas eléctricas y magnéticas*).

El empleo de distintos tipos de radiación en teledetección depende de la opacidad de la atmósfera, es decir de en qué medida cada tipo de radiación (y su longitud de onda) puede atravesar la atmósfera e interactuar con la superficie terrestre, produciendo una respuesta que es luego captada por el sensor a bordo del satélite.



**Espectro electromagnético:** rango de radiaciones que se extiende desde los rayos cósmicos hasta las ondas de radio.



En teledetección se emplean principalmente, las siguientes gamas del espectro:

**Visible:**  $0,4 \leq \lambda \leq 0,7 \mu\text{m}$  (micrones)  $\rightarrow$  lo que percibe el ojo humano; brinda información sobre los que refleja la radiación solar sobre los objetos.

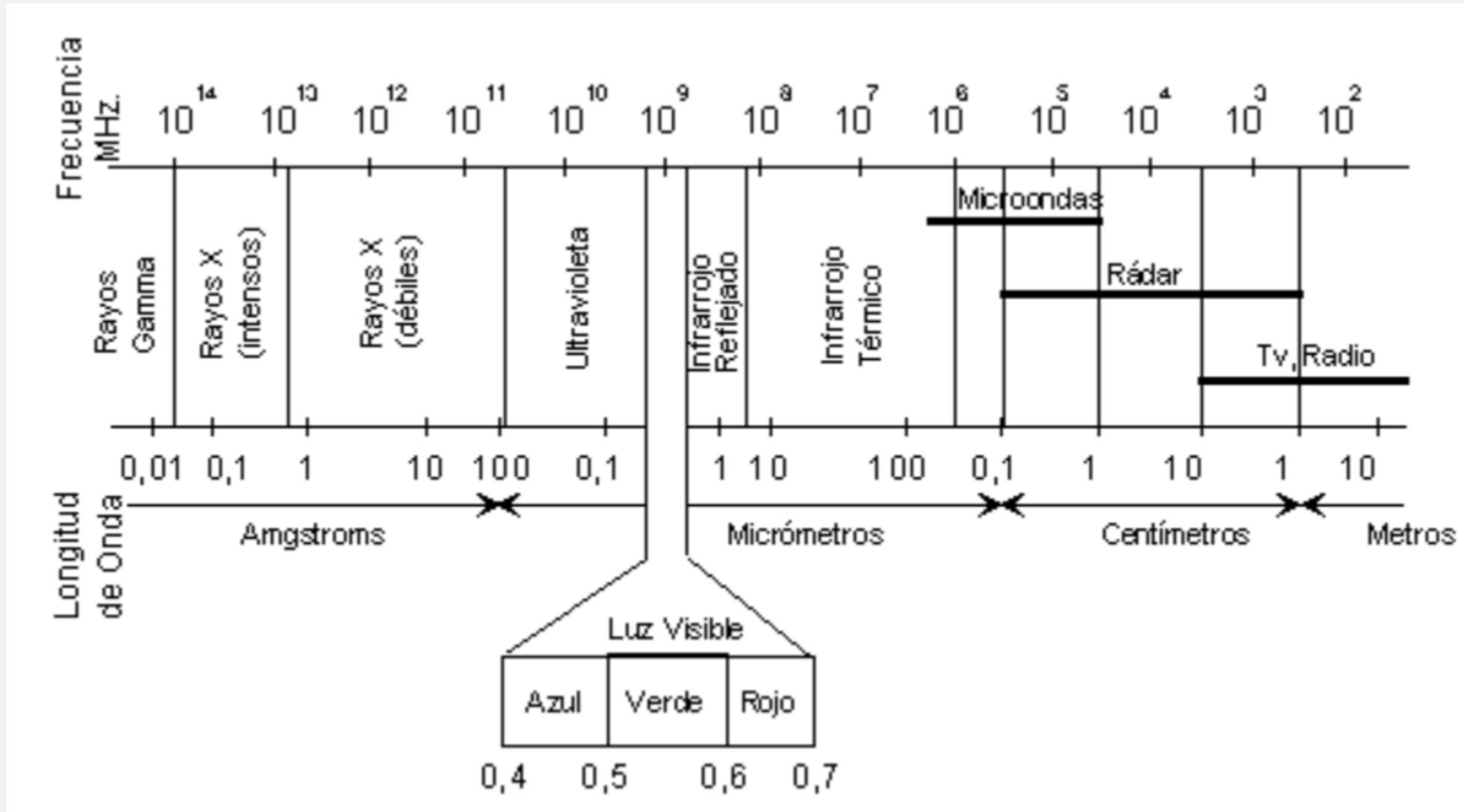
**Infrarrojo:** da información sobre la energía térmica emitida por los objetos. Se subdivide en:

**Cercano (NIR):** se extiende desde 0,7 a 1,3 micrones. Se utiliza para la observación del estado de la vegetación y de concentraciones de humedad

**Medio (SWIR):** se desarrolla entre 1,3 y 8  $\mu\text{m}$ . En esta región se entremezclan los procesos de reflexión de luz solar y de emisión radiación de la superficie terrestre.

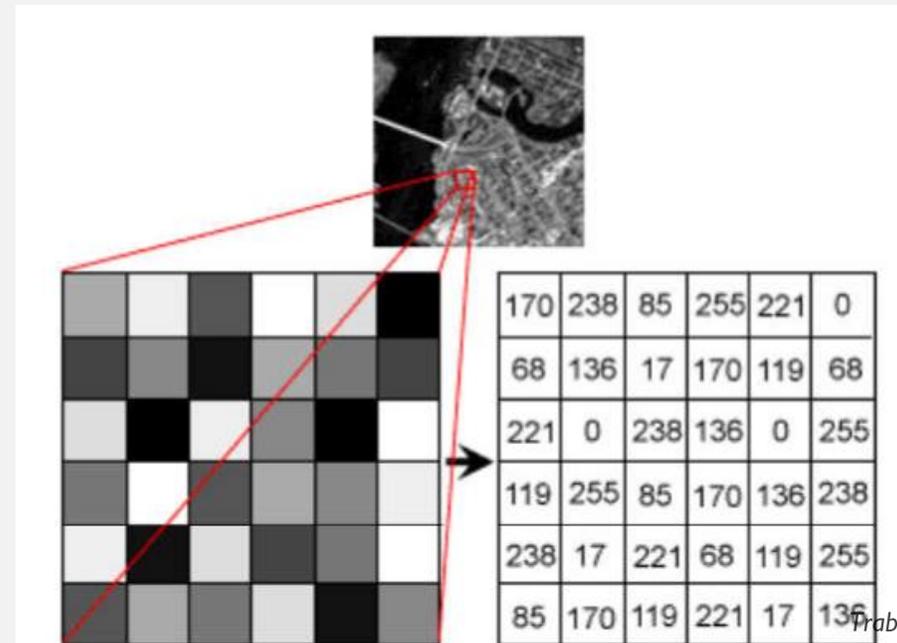
**Lejano o térmico (IR thermal):** se encuentra entre 8 y 14  $\mu\text{m}$ . Puede detectar procesos de transferencia de calor, ya que en esta banda se sitúa la máxima emitancia para las temperaturas habituales de la superficie terrestre. En consecuencia en esta banda se observa la energía que emiten los objetos, y no la que reflejan de la luz solar, por lo que es posible utilizar esta banda en observaciones nocturnas.

**Microondas:** comprende las longitudes de onda mayores de 1mm. El interés de esta banda es que resulta prácticamente transparente a la cubierta nubosa, lo que la hace idónea para el estudio donde las nubes se dan de manera casi permanente. Los sensores que las captan son diferentes.

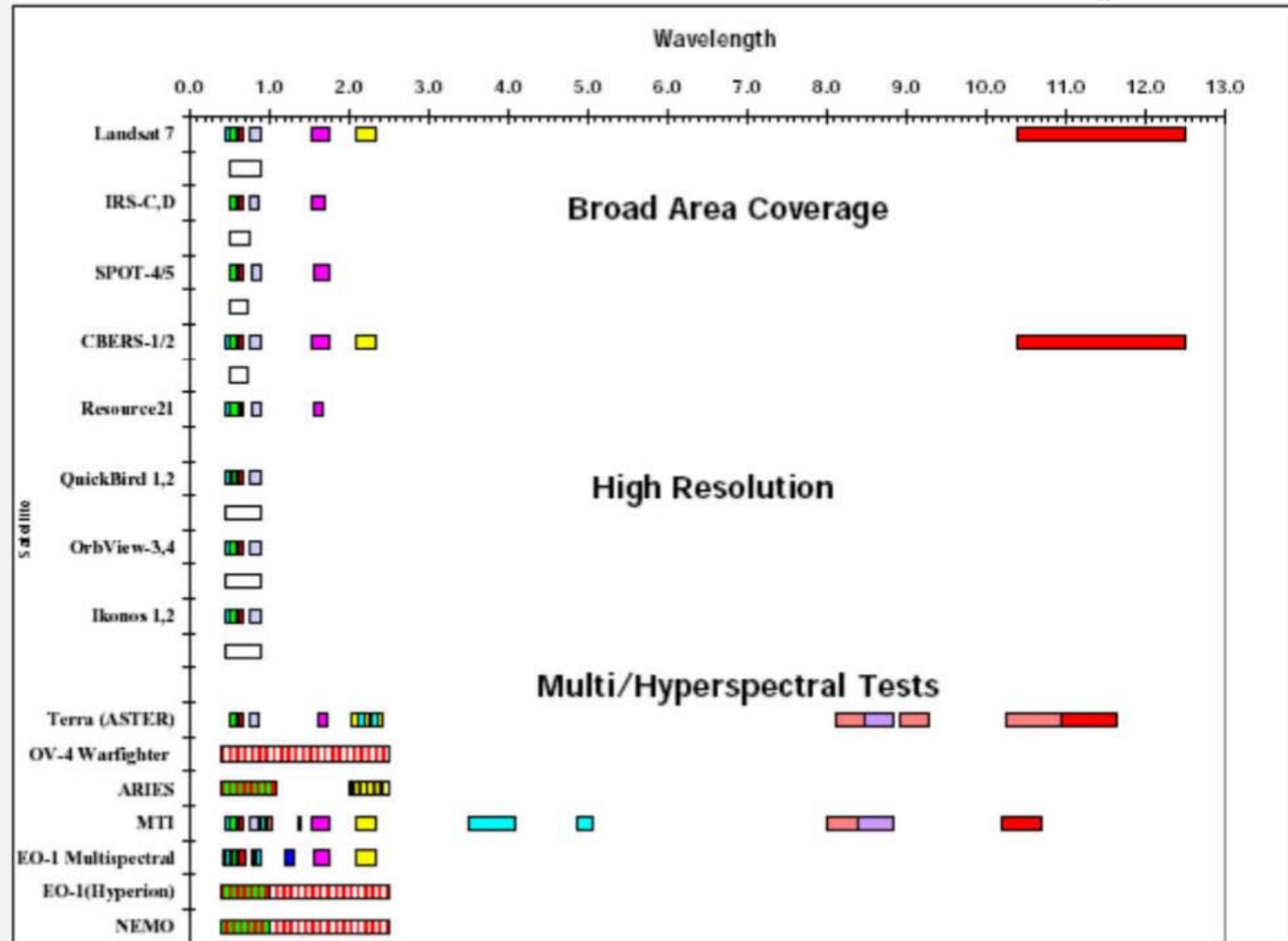


## Fotografías aéreas versus Imágenes Satelitales

- \* A diferencia de las fotografías, las imágenes satelitales registran la energía electromagnética de manera electrónica desde el inicio.
- \* Las imágenes satelitales están conformadas por cuadrillos del mismo tamaño, llamados **píxeles**, y que reflejan la brillantez de cada cuadrillo correspondiente al terreno mediante un valor numérico o número digital (que representa la variación en el voltaje de la radiación que capta el sensor). El conjunto de píxeles o cuadrillos de una imagen forman una malla o **ráster**. En la mayoría de las imágenes satelitales el rango de valores del número digital de los píxeles va desde 0 hasta 255, correspondiendo al rango de intensidades de la brillantez de cada pixel.
- \* Una fotografía puede también ser mostrada en formato digital si se subdivide la imagen en píxeles, como comúnmente se hace con un sistema de barrido o scanner, pero a veces se pierde detalle en la conversión. Las imágenes satelitales están en formato digital desde el inicio, y no hace falta conversión alguna.
- \* Otra diferencia entre imágenes satelitales y fotografías es que los píxeles que conforman una imagen satelital son de un tamaño fijo, el cual corresponde a un área fija en el terreno (en gral. en m<sup>2</sup>). El número digital de cada píxel es el promedio de la brillantez reflejada en cada una de estas áreas fijas (pueden ser de 25 x 25m, 1 m x 1 m, etc., dependiendo de la resolución espacial del sensor). El tamaño de los píxeles de una fotografía escaneada viene dado por la película, la capacidad del scanner utilizado, y las preferencias del usuario a la hora de escanearla.



\* La característica más importante de los sensores de imágenes satelitales es que **obtienen información dentro de rangos específicos de longitud de onda dentro del espectro electromagnético**. Esta información es registrada en distintos canales o bandas espectrales. Para visualizar las imágenes satelitales, podemos combinar y visualizar las distintas bandas digitales mediante los tres colores primarios (azul, verde y rojo, conocido como RGB, red-green-blue) que capta el ojo humano.



## Características generales de los sistemas satelitales

**1) Resolución espacial:** relacionada con el tamaño del rasgo más pequeño que puede ser distinguido en una imagen, y dado por **el pixel**. Mide la menor separación angular o linear entre dos objetos. Si una resolución es de 30 mts., como el sensor TM de Landsat, significa que objetos están distanciados entre hasta 30 metros. A menor resolución espacial del sistema, mayor será su poder de distinguir entre objetos muy cercanos.

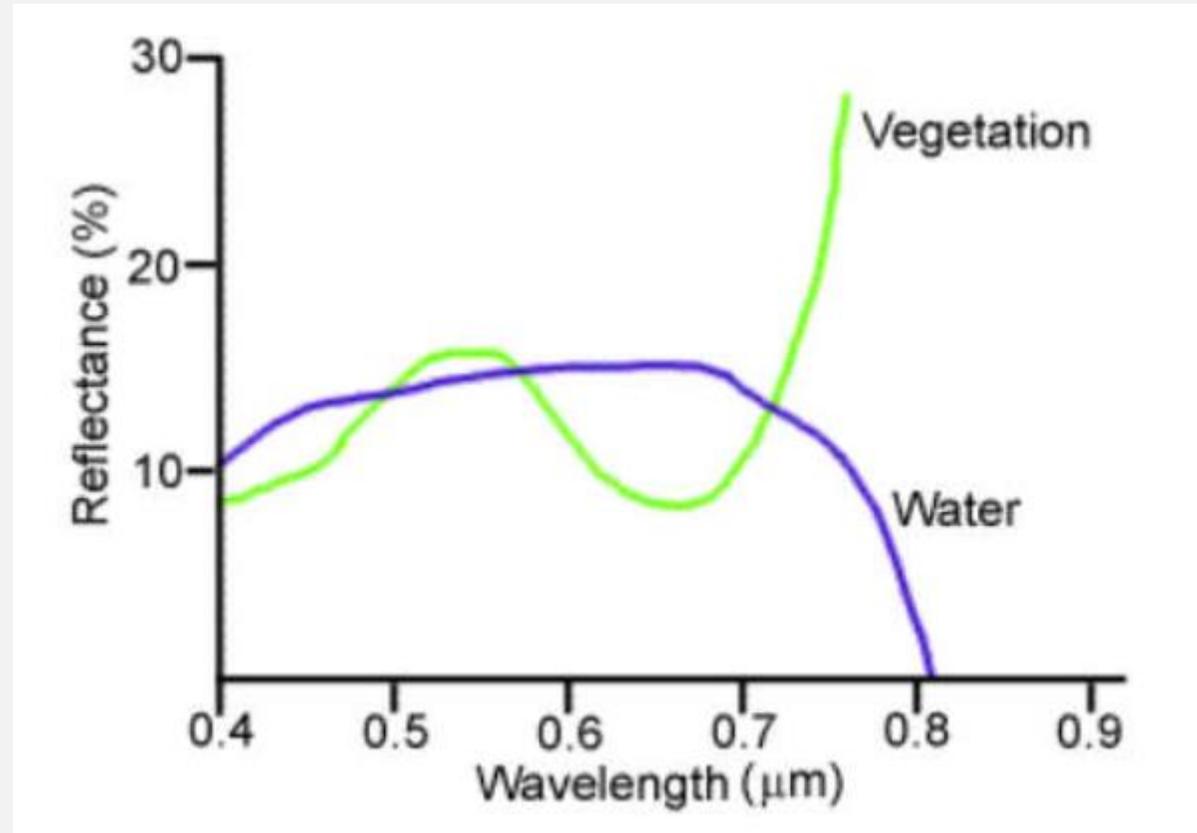
**2) Resolución espectral:** habilidad de un sensor de discriminar la radiancia reflejada en cada  $\lambda$  del espectro electromagnético. Los instrumentos de los sensores se diseñan para medir la energía radiante en cualquier parte del espectro: ondas ultravioletas, infrarrojo, termal y microondas. *La resolución espectral queda definida por el número de bandas que el sensor puede captar y por el ancho de cada banda. Así, un sensor será tanto más sensible cuanto mayor sea el número de bandas del que disponga, lo que facilita la caracterización espectral de distintas coberturas.*

**3) Resolución radiométrica:** es la capacidad del sensor para discriminar niveles o intensidades de radiancia espectral, utilizándose desde 128 hasta 1024 niveles. Lo más común es utilizar 256 valores (0-255) ya que generalmente aporta suficiente detalle sin sacrificar demasiado espacio de almacenamiento en el computador.

**4) Resolución temporal:** periodicidad con que el sensor puede adquirir una nueva imagen del mismo punto de la Tierra. Viene dada por la velocidad en que el satélite realiza su órbita alrededor de la Tierra, a menos que sea geoestacionario (enfocado fijamente en un punto del planeta). Ej. satélites meteorológicos (resolución temporal es de 30 minutos o 12 horas; Meteosat o GOES, NOAA, respectivamente) vs satélites de recursos naturales (entre 16 y 31 días; LANDSAT y ERS, respectivamente).

## Firmas Espectrales

Todos los materiales u objetos emiten energía (radiación) en rangos específicos de longitud de onda, que son normalmente conocidos como su espectro o **firma espectral**. Cuando la radiación (energía) incidente desde el espacio interactúa con la materia, parte de aquella es absorbida y la restante es reflejada. *Todos los tipos de cobertura que existen sobre la superficie terrestre (i.e. tipos de suelo, de roca, agua, vegetación, etc.) absorben y reflejan radiación de una parte del espectro electromagnético, lo que da un **firma de radiación electromagnética reflejada**, dentro del rango visible del espectro, y **emitida**, dentro del rango infrarrojo.*



Gracias al conocimiento de cuáles tipos de radiación son absorbidas por determinados objetos, y las cantidades reflejadas por cada uno, podemos analizar las imágenes satelitales e identificar distintos materiales presentes en la superficie terrestre aún a grandes distancias. Por ejemplo, se pueden diferenciar distintos tipos de vegetación y grado de humedad de ellas, agua y distintas profundidades en los cuerpos de agua, nieve, distintas formaciones rocosas (a causa de la distinta composición mineral), etc.

## Tipos de sensores

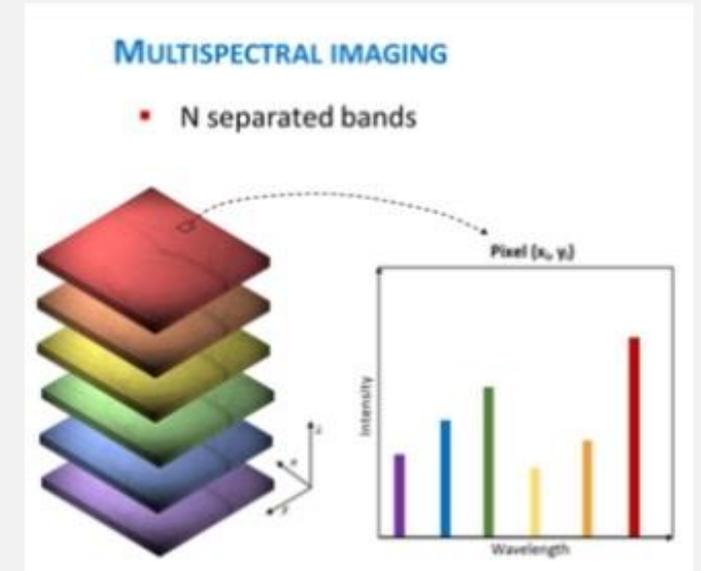
**Sensores ópticos, pasivos:** conforman gran parte de los satélites comerciales. Son aquellos que sólo pueden recibir radiación, ya sea solar reflejada o infrarroja emitida.

**Sensores de radar (SAR), activos:** generan y emiten radiación en la región del espectro de las microondas, que interactúa con la superficie terrestre o del objeto de estudio, que rebota y es posteriormente recibida y medida por el sensor. La ventaja sobre los sensores ópticos es que atraviesan las nubes. La desventaja es que la señal recibida por el sensor es muy compleja, lo que dificulta el tratamiento posterior y la cuantificación e interpretación de la información recibida.

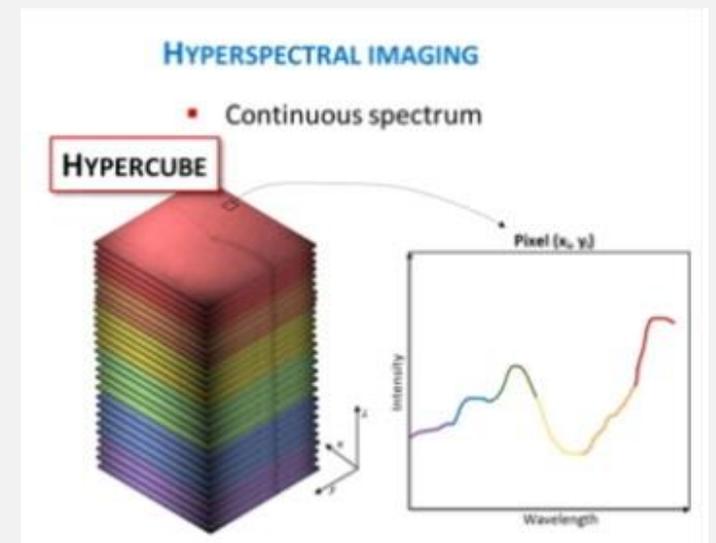
## Tipos de imágenes en función de los sensores satelitales

\* **Imágenes Pancromáticas:** son captadas por un sensor digital que mide la reflectancia de energía en una amplia parte del espectro electromagnético que abarca parte del espectro visible y del infrarrojo cercano. Actualmente suele presentarse como una única banda por medio de imágenes en blanco y negro. Aplicación: centros poblados, catastro rural, infraestructura, hidrología. Ej. Banda 8 de LANDSAT 7 ETM+ y LANDSAT 8, con 15 m de resolución, lo que permite explorar la superficie terrestre con un mayor grado de detalle que el resto de las bandas.

\* **Imágenes multispectrales:** captadas por sensores digitales que miden la reflectancia en muchas bandas. Ej. algunos detectores miden energía en el rango rojo del espectro visible, mientras que otro grupo de detectores miden energía del infrarrojo cercano. Estos valores distintos de reflectancia se combinan para crear imágenes de color. Los satélites con sensores multispectrales miden la reflectancia simultáneamente en un número de bandas distintas (entre 3 y 14). Ejemplos de estas imágenes son: LANDSAT, MODIS, SPOT. La combinación y/o operaciones con distintas bandas permite destacar, diferenciar y obtener distintos rasgos particulares de la superficie terrestre. Esas operaciones suelen denominarse índices. Por ej. índices de extracción de cuerpos de agua (MNDWI, NDWI, AWEI), índice de vegetación (NDVI), etc.



\* **Imágenes hiper-espectrales:** derivan de un sensor espectral que mide la reflectancia en muchas bandas, a un nivel de cientos de bandas. Este método se basa en que la medición de la reflectancia en numerosas franjas estrechas del espectro, lo que permite detectar características y diferencias muy sutiles entre los rasgos de la superficie, en especial en suelos, rocas y vegetación.



Existen varios proyectos que permiten captar imágenes satelitales hiperespectrales:

**EO-1 Hyperion**: misión que se llevó a cabo entre los años 2000 y 2007. Hyperion recopila 220 canales espectrales únicos que van desde 0,357 a 2,576 micrómetros con un ancho de banda de 10 nm.

**Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean (HICO)**: entre los años 2009 y 2014, es el primer espectrómetro de imágenes espacial optimizado para monitorear el océano costero, que tiene una resolución espectral de aproximadamente 5 nm y una resolución espacial terrestre de 90 m.

**PROBA-1 (ESA)**: desde el 2001 y en funcionamiento actualmente. Obtiene imágenes con una resolución espacial de 17 m en hasta 62 bandas.

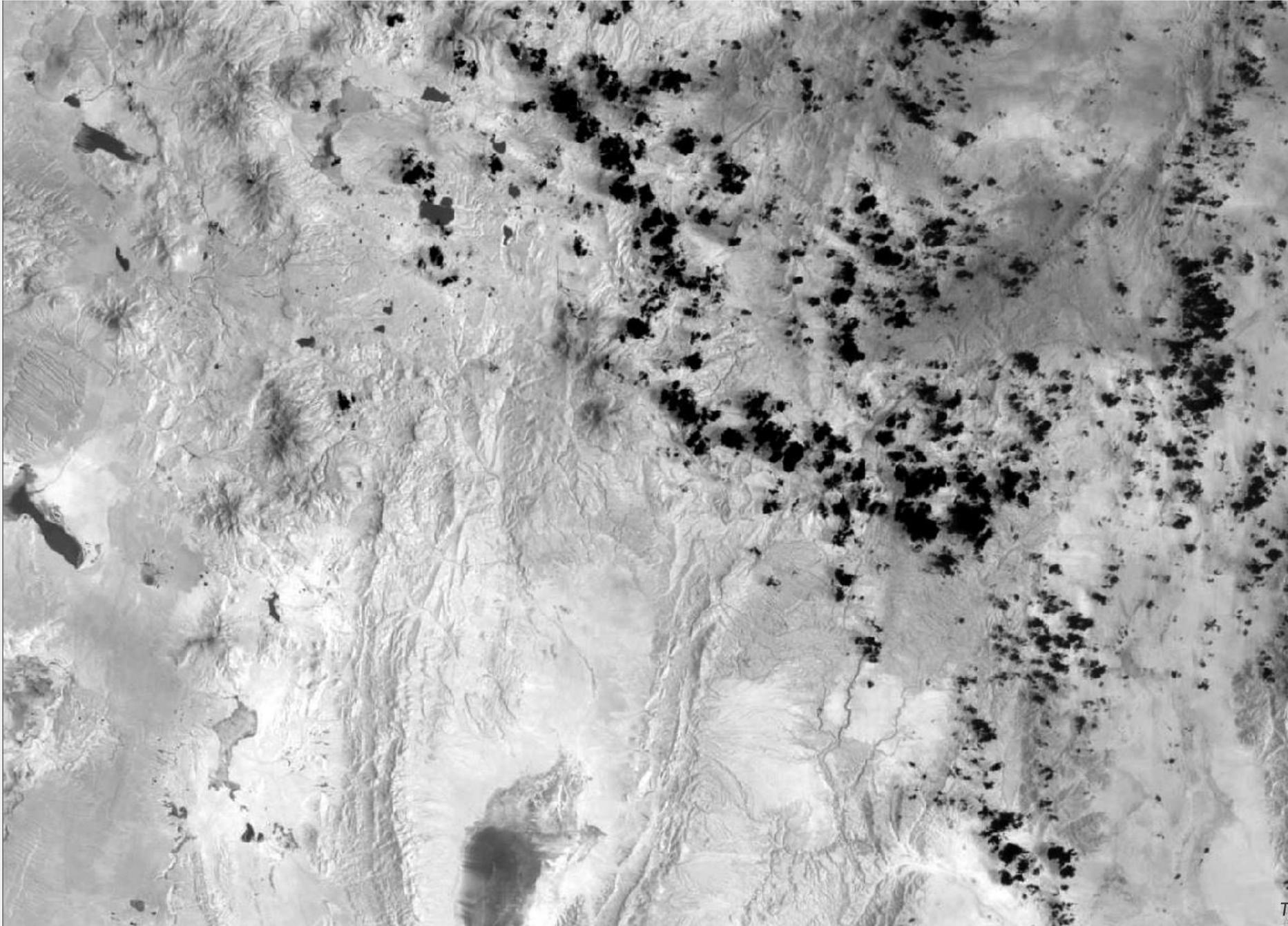
**HISUI (Japón)** desplegado en el año 2019, obtiene imágenes con 185 bandas , con cobertura espectral de 0,4  $\mu\text{m}$ -2,5  $\mu\text{m}$  y resolución espacial 20 m-30 m

**Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS)**: este sensor está incorporado en plataformas aéreas como Jet NASA ER-2, Twin Otter International Turboprop, Scaled Composites Proteus y NASA WB-57. Obtiene 224 bandas espectrales continuas con longitudes de onda de 400 a 2500 nanómetros.

Imagen  
Pancromática.  
Banda 8,  
LANDSAT 8-  
OLI-TIRS



Imagen  
Thermal.  
LANDSAT 8-  
OLI-TIRS



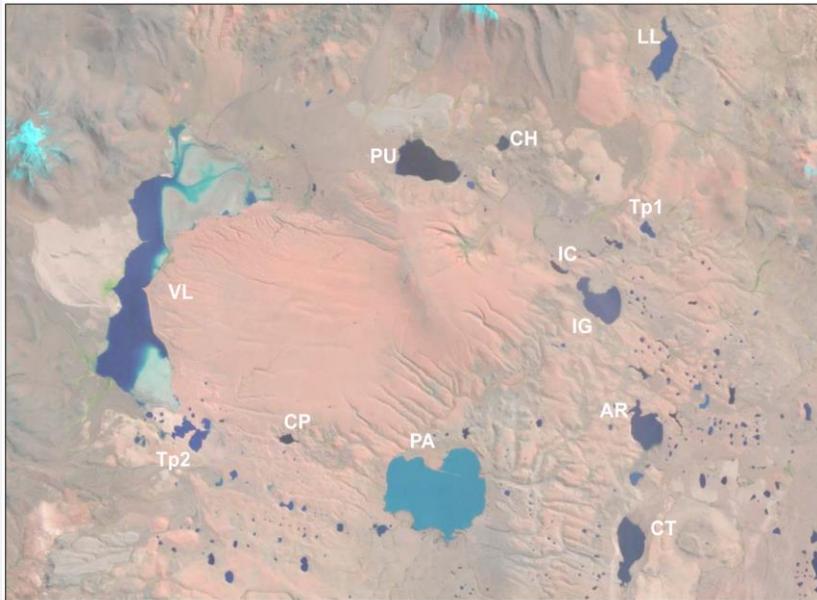


Imagen color natural o RGB

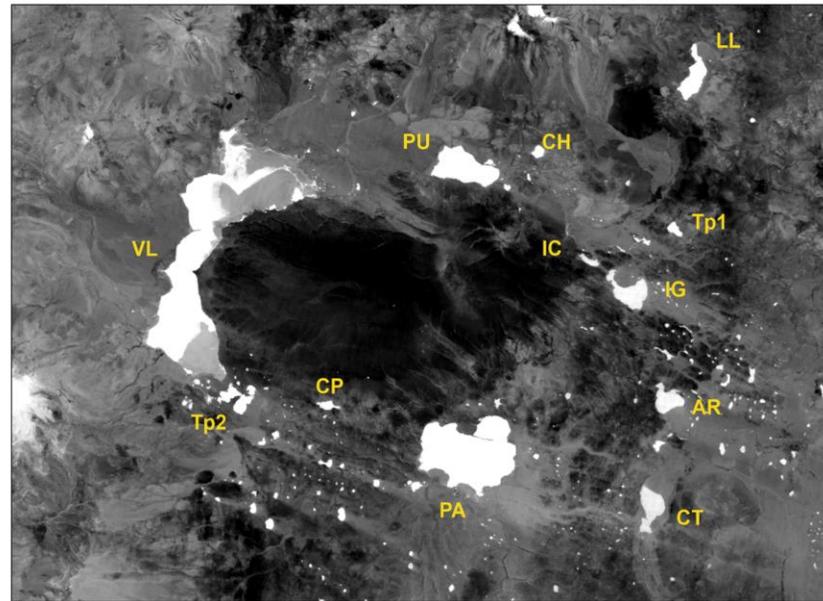


Imagen ráster resultante de aplicar un índice de extracción de cuerpos de agua:

$$MNDWI = \frac{(green - MIR)}{(green + MIR)} = \frac{B2 - B5}{B2 + B5}$$

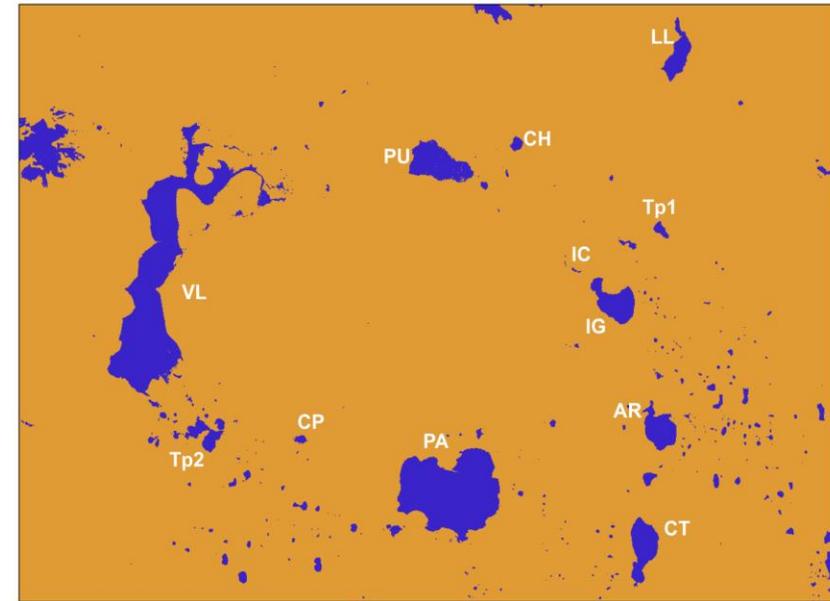


Imagen ráster resultante de clasificar los píxeles dentro de un umbral de valores concretos

## Ventajas y desventajas de las imágenes satelitales

Ventajas	Desventajas
<p>Rapidez, tanto en la periodicidad de la adquisición de nueva información, como en la obtención de la misma por el usuario</p>	<p>Es posible que se necesite calibrar la imagen satelital o realizar correcciones de distintos tipo (por ej. geométrica, mediante re-proyección, para que se adapte al relieve y al esferoide de la tierra; atmosférica; radiométrica; nubosidad)</p>
<p>Bajo costo, ya que en general, las imágenes satelitales son más baratas que la toma de fotos aéreas o levantamientos topográficos extensos en el campo.</p>	<p>En ocasiones pueden confundirse fenómenos diferentes en la imagen que tengan las mismas características espectrales (por ej. Arena blanca con un techo blanco)</p>
<p>Acceso a lugares remotos, de escasa a nula accesibilidad desde el terrero. No se limitan a captar la luz visible, por lo que se habilitan incluso estudios subsuperficiales</p>	<p>A veces, puede haber confusión causada por fenómenos que no se querían muestrear (por ej. la presencia de nubes y/o polvo; las sombras pueden generar confusiones en las formas naturales del relieve)</p>
<p>Se pueden combinar con otras capas de sistemas de información geográfica (SIG)</p>	<p>En general, las imágenes gratuitas no resultan apropiadas para estudios de alta resolución o detalle, ya que suelen tener baja resolución.</p>
<p>Repetición en el tiempo. Cada satélite vuelve a pasar por el misma área cada cierto tiempo, (periodo orbital) permitiendo hacer estudios comparativos a lo largo del tiempo</p>	<p>Existen imágenes de alta resolución (por ej. LIDAR, 1 m, o RADAR) pero son pagas y/o con un costo.</p>

## Algunos de los sistemas satelitales más importantes:

### **NOAA-AVHRR (National Oceanic Atmospheric Administration- U. S. Government)**

Satélites pasivos de observación meteorológica y oceanográfica. Resolución temporal de ~12 hs. El NOAA 14 orbita a 870 km de altura, está equipado por varios sensores, de los cuales se destaca el AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), con 5 bandas de resolución espectral. Toma datos de dos maneras: LAC (Local Area Coverage) de 1,1 x 1,1 km de resolución espacial y cuadrantes de 2700 km<sup>2</sup>; y GAC (Global Area Coverage), con 4,4 x 4,4 km de resolución espacial y cuadrantes de 4000 km<sup>2</sup>. <https://www.noaa.gov/satellites>

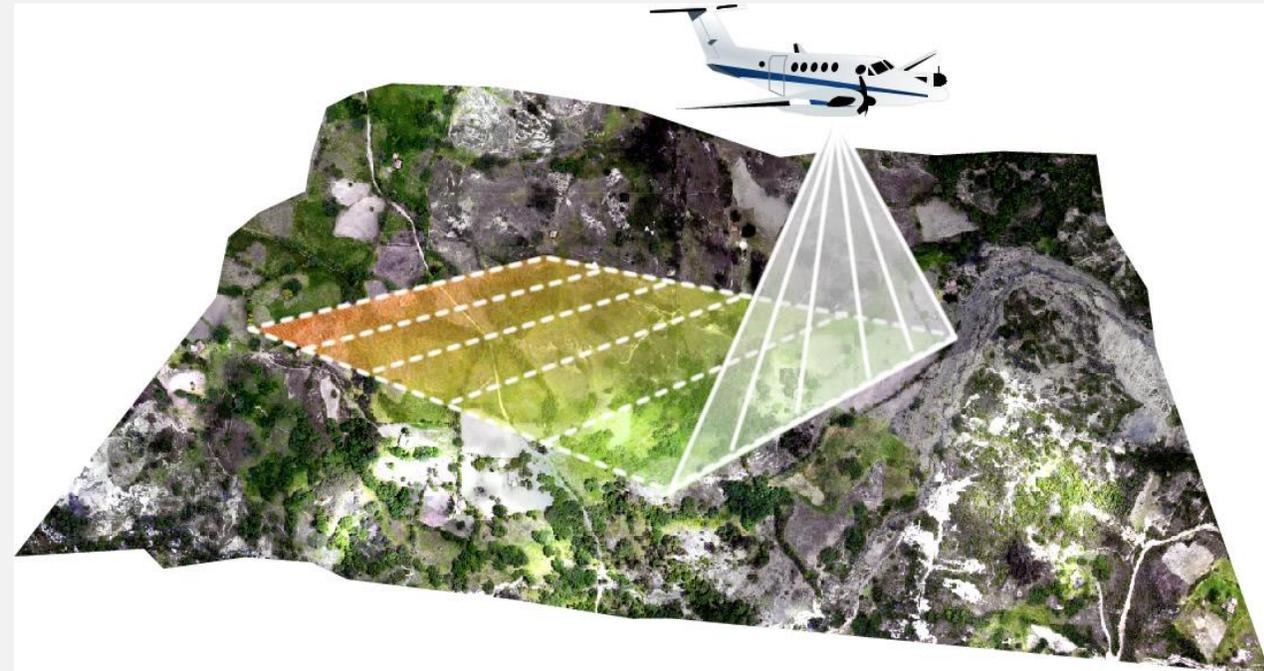
### **ERS**

Satélites activos de radar ERS (European Remote Sensing Satellite). Se convirtió en el primer satélite de observación de la Tierra lanzado por la Agencia Espacial Europea (ESA), lanzado en 1991, a una órbita polar síncrona con el sol a una altura de entre 782 y 785 km. Sensores: altímetro radar operando en la banda Ku; radiómetro infrarrojo de cuatro canales para medir temperaturas en la superficie del mar y en la cima de las nubes; emisor de microondas; radar de apertura sintética; escaterómetro para el estudio de vientos. El ERS-2, lanzado en 1995, es igual al ERS-1 pero con la suma del sensor GOME (Global Ozone Monitoring Experiment) y un espectrómetro de absorción. El sucesor el ERS-2 es el Envisat. La resolución temporal de los ERS está entre 3 y 176 día, según las zonas. <https://earth.esa.int/eogateway/missions/ers>

## LiDAR (Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging)

Es un sistema que permite obtener una nube de puntos del terreno tomándolos mediante un escáner láser aerotransportado (airborne light scanner, ALS). Para realizar este escaneado se combinan dos movimientos. Uno longitudinal dado por la trayectoria del avión y otro transversal mediante un espejo móvil que desvía el haz de luz láser emitido por el escáner. la nube de puntos de un LIDAR no se compone únicamente de puntitos con valores X Y Z. Una nube de puntos se crea a partir de retornos con una serie de características y atributos que hacen cada retorno prácticamente único. Algunos de estos campos son: Coordenadas, Valores RGB, Intensidad, Angulo de escáner, Numero de retorno, Tiempo GPS, ID del barrido LIDAR.

**LÍDAR Aerotransportado:** Esta técnica se caracteriza porque el sistema se encuentra instalado en un avión tripulado o remoto que permite la captura y modelado de grandes áreas de terreno. Es ideal para: Generación de mapas de pendientes; Generación de MDT (Modelo Digital de Terreno), MDE (Modelo Digital de Elevación) y MDS (Modelo Digital de Superficie); Generación de Curvas de Nivel; Ortorectificación de Fotografías



## **IKONOS**

El satélite Ikonos (que significa en griego “imagen”) es el primer satélite de uso civil con imágenes de 1 metro de resolución espacial. Fue construido y lanzado un consorcio formado por varias compañías privadas, y es operado actualmente por una compañía llamada *Lockheed Martin Space*. Lanzado en 1999, continúa activo, opera a 681 km de altitud, y en pancromático la resolución espacial es de 1 m, mientras que en multi-espectral es de 4 mts.

## **SPOT**

(Système Probatoire d'Observation de la Terre), administrado por la Agencia Espacial Francesa. El SPOT 1 fue lanzado en 1986, y desde entonces se creó la sociedad Spot Image, que se encarga de la distribución comercial internacional de los productos SPOT. Una característica innovadora del satélite SPOT es que por primera vez se podían obtener pares de imágenes estereoscópicas mediante rotación del sensor (en posición “off nadir”). Orbitan a 832 km, con una cobertura de 60 x 60 km. Periodicidad de entre uno y varios días. Es de tipo multiespectral, con 3 bandas que abarcan la región visible e infrarroja cercana del espectro. El modo multibanda tiene una resolución espacial de 20 mts, mientras que en el modo pancromático es de 10 mts en las SPOT 1 y 2. Sin embargo, en las últimas SPOT las resoluciones espaciales aumentaron de forma considerable, como se ve en la imagen siguiente:

Satélite	Bandas	Tamaño del pixel	Rango espectral ( $\lambda$ )
Spot 5	Pancromática	2.5 m ó 5 m	0.48 - 0.71 $\mu\text{m}$
	B1: verde	10 m	0.50 - 0.59 $\mu\text{m}$
	B2: roja	10 m	0.61 - 0.68 $\mu\text{m}$
	B3: IR cercano	10 m	0.78 - 0.89 $\mu\text{m}$
	B4: IR onda corta	20 m	1.58 - 1.75 $\mu\text{m}$
Spot 4	Pancromática	10 m	0.61 - 0.68 $\mu\text{m}$
	B1: verde	20 m	0.50 - 0.59 $\mu\text{m}$
	B2: roja	20 m	0.61 - 0.68 $\mu\text{m}$
	B3: IR cercano	20 m	0.78 - 0.89 $\mu\text{m}$
	B4: IR onda corta	20 m	1.58 - 1.75 $\mu\text{m}$
Spot 1	Pancromática	10 m	0.50 - 0.73 $\mu\text{m}$
Spot 2	B1: verde	20 m	0.50 - 0.59 $\mu\text{m}$
Spot 3	B2: roja	20 m	0.61 - 0.68 $\mu\text{m}$
	B3: IR cercano	20 m	0.78 - 0.89 $\mu\text{m}$

Se deben añadir: **SPOT 6 y 7: resolución espacial** de 1,5 m en pancromático y color, y de 6 m en multiespectral. Resolución espectral: Pancromático (455 - 745 nm); Banda azul (455 – 525 nm); Banda verde (530 – 590 nm); Banda roja (625 – 695 nm); Banda Infrarrojo cercano (760 - 890 nm).

CONAE: <https://catalogos.conae.gov.ar/SPOT/>

## SENTINEL

La constelación Sentinel forma parte del componente espacio del Programa europeo de observación de la Tierra Copérnicus. Desde el año 2014 se viene poniendo en órbita una serie de misiones satelitales denominadas Sentinels. Estos satélites suministran, de manera continua, información acerca de agricultura de precisión, movimiento de suelos, monitorización de algas, gestión del agua, monitorización de bosques, monitorización del clima, etc. Los satélites empleados son las parejas de satélites Sentinel 1, 2 y 3.

Satélite	Datos	Polarización /Bandas	Lanzamiento	Resolución
<a href="#">Sentinel-1</a>	Radar	VV, HH, VV+VH, HH+HV	2014 y 2016	5-20 metros
<a href="#">Sentinel-2</a>	Multiespectral de alta resolución	10 bandas	2015 y 2017	10-20-60 metros
<a href="#">Sentinel-3</a> (Información referente al sensor Ocean and Land Colour Instrument - OLCI)	Multiespectral para análisis: atmósfera, océanos y terrestre	21 bandas	2016 y 2018	300 metros

## **TERRA (<https://terra.nasa.gov/>)**

Terra (EOS AM-1) es un satélite multinacional de la NASA y del Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón para investigación científica (para supervisar el estado de la Tierra del medio ambiente y los cambios climáticos). Funciona en una órbita polar alrededor de la Tierra sincronizada con el Sol (trayectoria que pasa por ambos polos, cada día aparece sobre un punto dado del ecuador siempre a la misma hora local). Lanzado en 1999, con toma de datos desde el año 2000. Terra lleva una carga útil de cinco sensores remotos:

**ASTER** (espacial avanzado de emisiones térmicas y reflexión Radiométrica)

CERES (nubes y la Tierra, energía radiante del sistema)

MISR (multiángulo de imágenes espectralradiométricas.)

**MODIS** (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer)

MOPITT (mediciones de la contaminación en la tropósfera)

**ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer):** Obtiene imágenes de alta resolución (de 15 a 90 metros cuadrados por píxel) de la Tierra en 14 longitudes de onda diferentes del espectro electromagnético, que van desde la luz visible hasta el infrarrojo térmico. Permite crear mapas detallados de la temperatura, la emisividad, la reflectancia y la elevación de la superficie terrestre. Es el único instrumento de alta resolución espacial de la plataforma Terra: sirve como lente de "zoom" para los demás instrumentos; es importante para la detección de cambios, la calibración/validación y los estudios de la superficie terrestre. A diferencia de los demás instrumentos TERRA, ASTER recogerá datos cada ~8 minutos por órbita. Dada su alta resolución y su capacidad para cambiar los ángulos de visión, ASTER produce imágenes estereoscópicas y modelos detallados de la altura del terreno.

**MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer):** Con su amplia franja de visión de 2.330 km, ve cada punto del mundo cada 1 ó 2 días, en 36 bandas espectrales discretas. Esta amplia cobertura espacial permite a MODIS, junto con MISR y CERES, ayudar a los científicos a determinar el impacto de las nubes y los aerosoles en el balance energético de la Tierra. Es ideal para supervisar los cambios a gran escala en la biosfera vinculados al ciclo global del carbono. Mide la actividad fotosintética de las plantas terrestres y marinas para obtener mejores estimaciones de la cantidad de gas de efecto invernadero que se absorbe y utiliza en la productividad de las plantas. Junto con las mediciones de la temperatura de la superficie del sensor, las mediciones de la biosfera ayudan a los científicos a rastrear las fuentes y los sumideros de dióxido de carbono en respuesta a los cambios climáticos. Resolución espacial: entre 250-1000 m (según la banda).

# LANDSAT

Fue el primer satélite de teledetección de la superficie terrestre. Fue puesto en marcha por la NASA de los Estados Unidos para obtener imágenes de la Tierra de manera global en 1972. Orbitan alrededor de la Tierra en órbita circular heliosincrónica, a 705 km de altura, con una inclinación de 98.2° respecto del ecuador y un período de 99 minutos. La órbita de los satélites está diseñada de tal modo que cada vez que estos cruzan el ecuador de norte a sur lo hacen entre las 10:00 y las 10:15 de la mañana hora local. Los Landsat están equipados con instrumentos específicos para la teledetección multispectral. El último de la serie es el Landsat 9, puesto en órbita el 27 de septiembre de 2021.

Satellite	Sensor	Swath	Bits	VNIR				SWIR		TIR	
L8	OLI	185km	12	30m	30m	30m	30m	30m	30m		
	TIRS			15m						100m	100m
Landsat 7	ETM+	185km	8	30m	30m	30m	30m	30m	30m	60m	
Landsat 4 & 5	MSS	185km	8	82m	82m	82m	82m				
	TM	185km	8	30m	30m	30m	30m	30m	30m	120m	
Landsat 1-2	RBV	183km		80m	80m	80m					
Landsat 3	RBV	183km			40m						
Landsat 1-3	MSS	183km	8	79m	79m	79m	79m			240m (L3 Only)	

Satélite	Lanzamiento	Baja	Sensor/es	Cantidad de bandas
LANDSAT-1 (ERTS-1)	1972	1978	<b>MSS</b> y RBV	4
LANDSAT-2	1975	1983	<b>MSS</b> y RBV	
LANDSAT-3	1978	1983	<b>MSS</b> y RBV	
LANDSAT-4	1982	1983	MSS y <b>TM</b>	7
LANDSAT-5	1984	en operación	MSS y <b>TM</b>	
LANDSAT-6	1993	1993	<b>ETM</b>	8
LANDSAT-7	1999	en operación	<b>ETM+</b>	
LANDSAT-8	2013	en operación	<b>OLI-1</b> y <b>TIRS-1</b>	11
LANDSAT-9	2021	en operación (aún no disponible)	<b>OLI-2</b> y <b>TIRS-2</b>	11

Sitios de descargas: USGS-EE.UU: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Banco de Imágenes de la DGI/INPE-Brazil: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/index.php>

Google Engine: <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/>

Landsat-7 ETM+ Bands ( $\mu\text{m}$ )			Landsat-8 OLI and TIRS Bands ( $\mu\text{m}$ )		
			30 m Coastal/Aerosol	0.435 - 0.451	Band 1
Band 1	30 m Blue	0.441 - 0.514	30 m Blue	0.452 - 0.512	Band 2
Band 2	30 m Green	0.519 - 0.601	30 m Green	0.533 - 0.590	Band 3
Band 3	30 m Red	0.631 - 0.692	30 m Red	0.636 - 0.673	Band 4
Band 4	30 m NIR	0.772 - 0.898	30 m NIR	0.851 - 0.879	Band 5
Band 5	30 m SWIR-1	1.547 - 1.749	30 m SWIR-1	1.566 - 1.651	Band 6
Band 6	60 m TIR	10.31 - 12.36	100 m TIR-1	10.60 - 11.19	Band 10
			100 m TIR-2	11.50 - 12.51	Band 11
Band 7	30 m SWIR-2	2.064 - 2.345	30 m SWIR-2	2.107 - 2.294	Band 7
Band 8	15 m Pan	0.515 - 0.896	15 m Pan	0.503 - 0.676	Band 8
			30 m Cirrus	1.363 - 1.384	Band 9

- Costero, agua poco profunda
- Agua profunda, atmósfera
- Vegetación
- Clorofila, veg, usos suelo
- Cuerpos de agua, geomorfología, geología, incendios
- Penetración nubes, humedad del suelo
- Infrarrojo termal
- Penetración mejorada nubes, humedad, vegetación
- Pancromática
- Nubes altas tipo cirrus

## ¿ y Google Earth?

Es un sistema de información geográfica (SIG) que muestra un globo terráqueo virtual que permite visualizar múltiple cartografía, basado en imágenes satelitales y además permite la creación de entidades de puntos líneas y polígonos, contando también con la posibilidad de crear mapas. Está compuesto por una superposición de imágenes obtenidas por imágenes satelitales, fotografías aéreas, información geográfica proveniente de modelos de datos SIG de todo el mundo y modelos creados por computadora.

La empresa ya lanzó su satélite GeoEye-1 en 2008, con el objetivo de brindar imágenes comerciales de alta resolución para empresas y organismos, y mejorar la calidad de Google Earth.

**Dynamic World**, es una iniciativa conjunta de Google y World Resources Institute. Es la primera base de datos del uso de la tierra con cobertura casi global, una resolución global de casi 10 metros y actualización casi en tiempo real. Es precisamente esta actualización la que proporciona una de sus principales utilidades para los investigadores, pues puedes por ejemplo ver cómo eventos como pudiera ser un desastre natural (o el cambio climático) afecta a la Tierra.

[https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/GOOGLE\\_DYNAMICWORLD\\_V1](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/GOOGLE_DYNAMICWORLD_V1)