



**Unach**  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

*en movimiento*

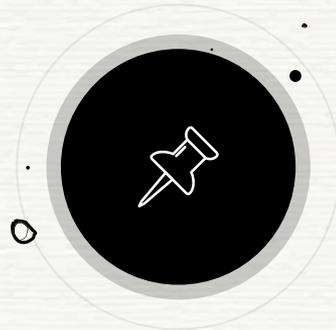
# FACULTAD DE INGENIERIA CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL

---

## TELEDETECCIÓN

---

Periodo 2025-1S





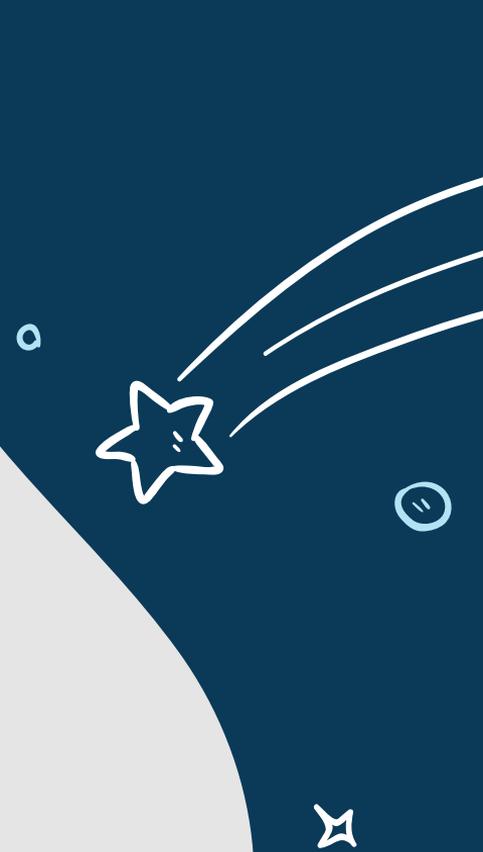
## DESCRIPCIÓN E INTENCIÓN<sup>+</sup> FORMATIVA DE LA ASIGNATURA

---

La asignatura de **Teledetección** corresponde a la unidad básica de la carrera de Ingeniería Ambiental del tercer semestre, es de carácter obligatorio, el curso es de naturaleza teórico práctico, comprende el estudio de los principios fundamentales de teledetección, las principales plataformas de sensores remotos ópticos y su aplicabilidad usando diferentes técnicas para generar información biofísica y ambiental del territorio.

A satellite with solar panels and a dish antenna is shown in the top left corner. Below it are several circular icons: a small white circle, a blue circle with a white equals sign, and a blue circle with a white spiral pattern.

## RESULTADO(S) DE APRENDIZAJE DEL PERFIL DE EGRESO DE LA CARRERA A LO(S) QUE APORTA LA ASIGNATURA

- Maneja instrumentos, equipos científicos y sistemas de información geográfica para el manejo de cuencas hidrográficas
  - Genera soluciones ambientales y económicamente viables para la industria, en donde se garantice la preservación y el uso racional de los recursos para las futuras generaciones.
  - Aplica sistemas de información geográfica y teledetección para la adecuada gestión del territorio
- 
- A large white comet with a long tail is shown on the right side. Below it are several circular icons: a blue circle with a white equals sign, a blue circle with a white equals sign, and a blue circle with a white equals sign. A white star is also visible in the bottom right corner.

# UNIDADES CURRICULARES:

## 1.-Fundamentos Físicos de Teledetección

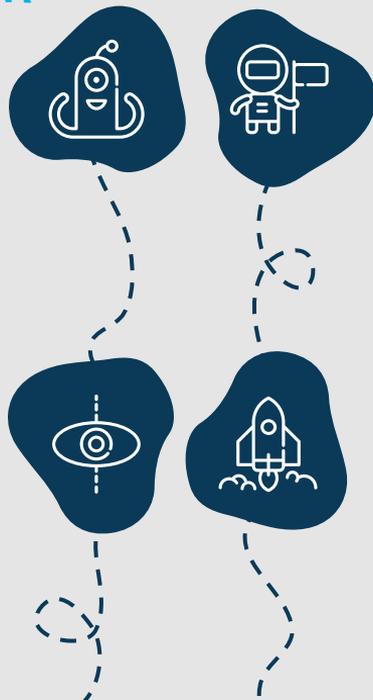
Interpreta los principales conceptos físicos que se utilizan en Teledetección necesarios para realizar el procesamiento de datos provenientes de sensores remotos.

## 3.-Análisis digital de imágenes

Realiza análisis digital de imágenes satelitales utilizando procedimientos estandarizados para generar información de variables ambientales

## 2.-Plataformas de sensores remotos

Aplica los principales conceptos de plataformas de teledetección para adquirir y realizar el procesamiento elemental de imágenes satelitales.



# Evaluación

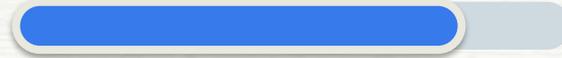
Componente  
Docencia

**3,5 puntos**



Componente  
prácticas de  
aplicación y  
experimentación

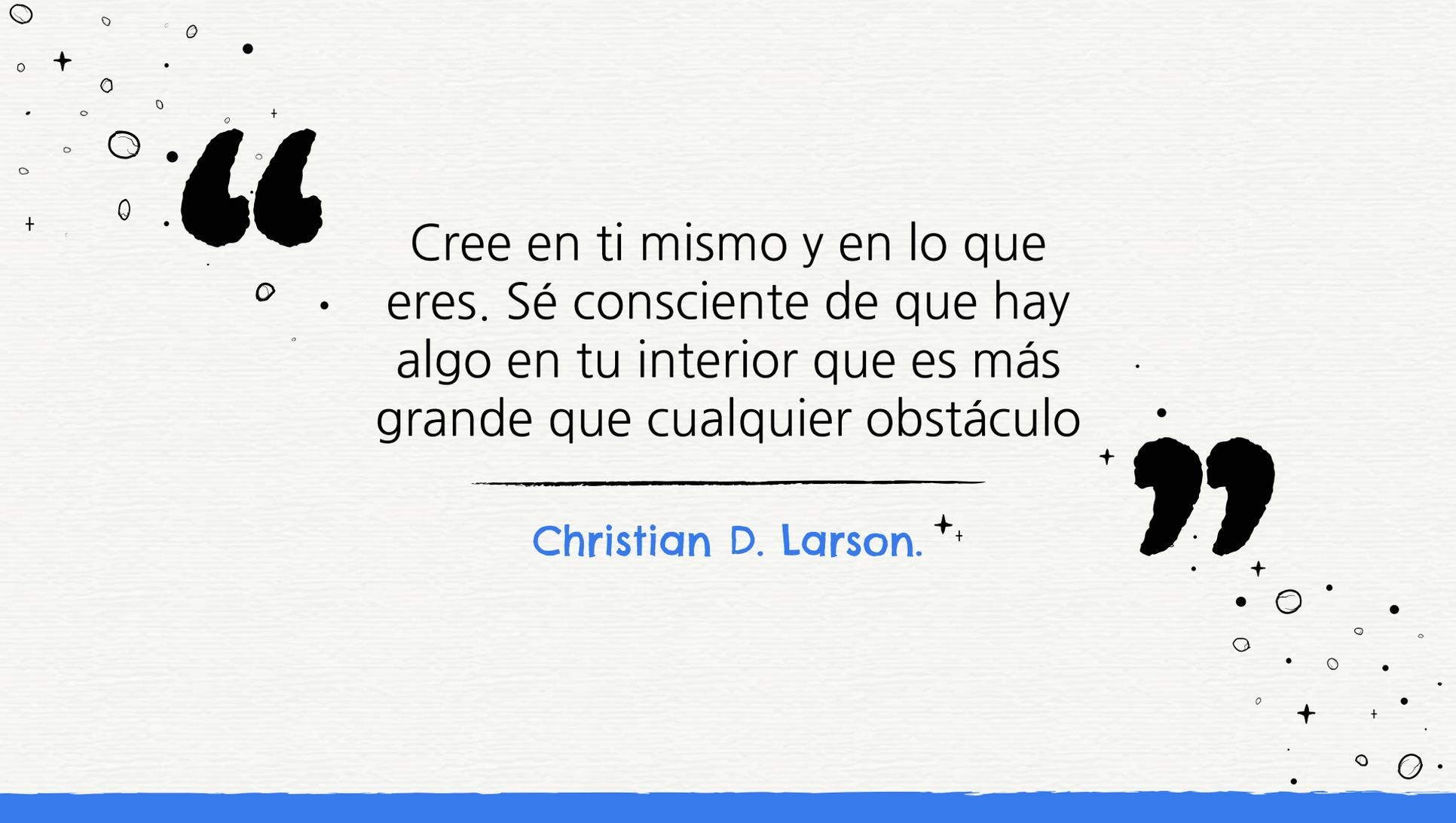
**3,5 puntos**



Componente  
actividades de  
aprendizaje  
autónomo

**3 puntos**





Cree en ti mismo y en lo que eres. Sé consciente de que hay algo en tu interior que es más grande que cualquier obstáculo

---

Christian D. Larson. <sup>+</sup><sub>+</sub>

# EVALUACIÓN DE DIAGNOSTICO

¿Qué es la teledetección y cuál es su objetivo principal?

Menciona tres aplicaciones de la teledetección

¿Cómo ayuda la teledetección en la gestión de desastres naturales?

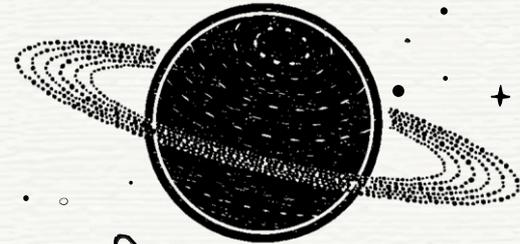
¿Qué es una resolución espacial en el contexto de la teledetección?

# Capítulo 1

## Fundamentos Físicos de Teledetección

---

-Interpreta los principales conceptos físicos que se utilizan en Teledetección necesarios para realizar el procesamiento de datos provenientes de sensores remotos.



# 1. ¿Qué es la Teledetección?

La **teledetección** es la técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales. La interacción electromagnética entre el terreno y el sensor, genera una serie de datos que son procesados posteriormente para obtener información interpretable de la Tierra. (Sobrino, J. A. 2001).

La teledetección está especialmente recomendada cuando el objeto que queremos observar está demasiado lejos como para hacer una medición directa (como en la astronomía), cuando se pretende no alterar el objeto de estudio (como sucede en la arqueología o con las obras de arte), y cuando se ha de hacer una observación a distancia a propósito (como para detectar las condiciones meteorológicas de los próximos días).

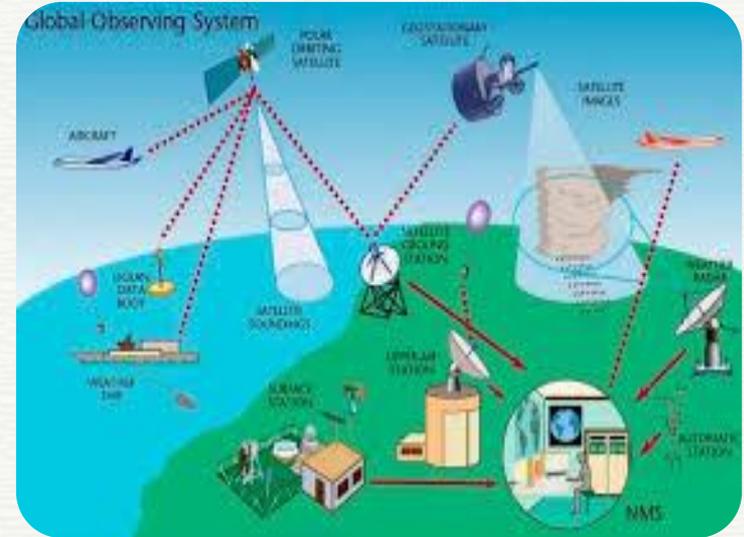


La **teledetección** (también conocida como detección o percepción remota) es la obtención de información sobre un objeto desde una distancia.

La fotografía es una forma muy común de teledetección. Hay diferentes formas de recolectar datos y se utilizan diferentes sensores dependiendo de la aplicación.

Algunos métodos recopilan datos a nivel del suelo, otros desde el aire o el espacio.

- ¿Qué información se necesita? ¿Cuánto detalle? ¿Cuán frecuentemente se necesitan los datos?



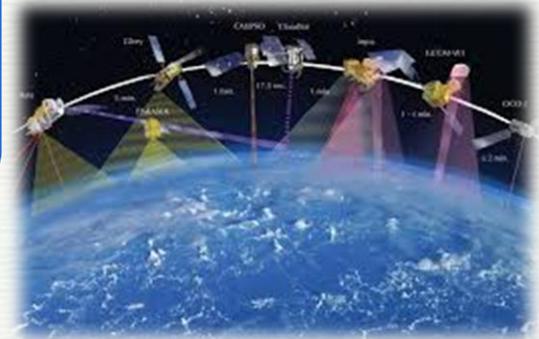
La teledetección es una técnica que permite obtener información sobre la superficie terrestre sin necesidad de un contacto directo, mediante la captura y análisis de datos desde dispositivos ubicados a distancia, como satélites, drones o aviones.



Se utiliza en áreas como la **meteorología**, **la agricultura**, **la gestión ambiental**, **la cartografía** y **la vigilancia de desastres naturales**.



Funciona detectando la radiación electromagnética reflejada o emitida por los objetos y superficies, lo que permite identificar características como temperatura, humedad, vegetación, composición del suelo, y cambios en el terreno.



# En teledetección hay tres elementos esenciales. Éstos son:

- una **plataforma** para sostener el instrumento
- un **objeto** que se va a observar
- un **instrumento** o sensor para observar el objetivo

Por ejemplo, cuando tomas una foto de tu casa, tú eres la plataforma, la cámara es el sensor y la casa es el objeto.

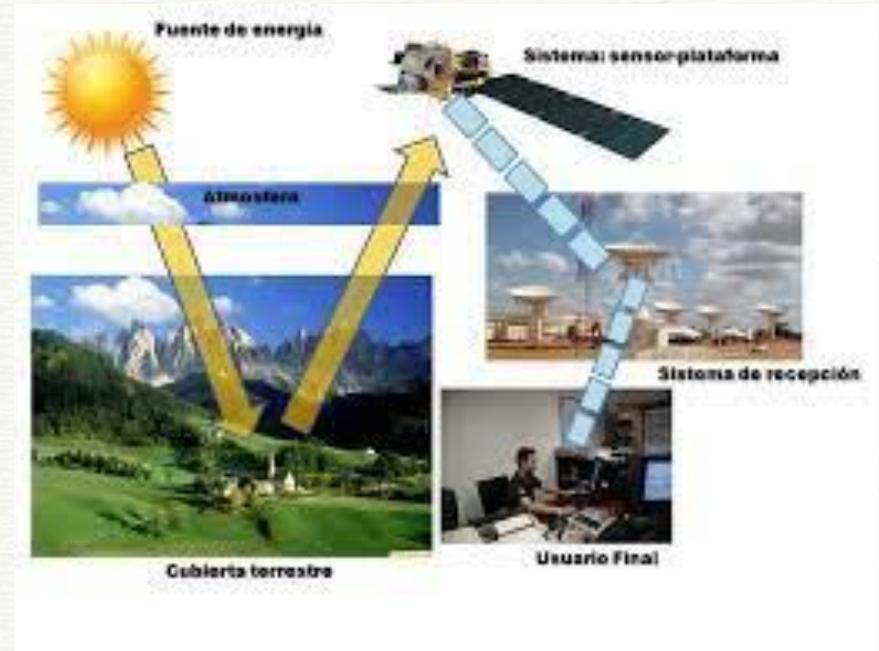


**DEBER: Diferencia entre Satélites y Sensores**

# Otro elemento importante es:

La **información** que se obtiene con los datos de la imagen y cómo se emplea y almacena esta información.

En el ejemplo de la foto de tu casa, la información obtenida es todo lo que puedes identificar en la foto acerca de tu casa. (por ejemplo: el color de las persianas, un agujero en el techo, una ventana abierta).

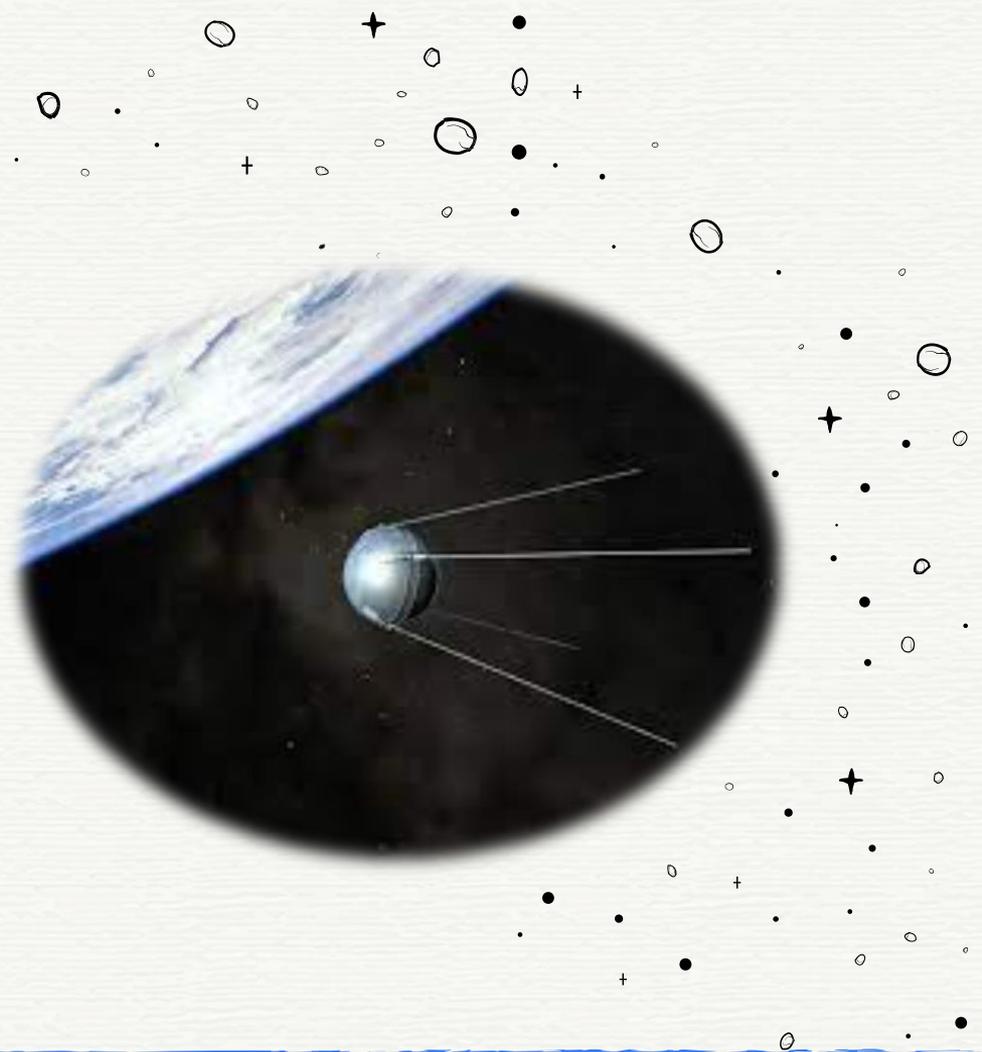




## Primer satélite

---

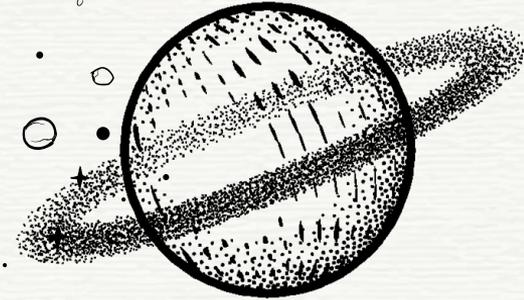
El primer satélite de observación de la Tierra fue lanzado al espacio por EEUU en el año 1972, iniciándose entonces técnicas de **Teledetección**, poco utilizadas hasta hace unos años debido al alto coste que suponía trabajar con imágenes de satélite



# + Teledetección en la actualidad

Hoy en día, gracias a la disponibilidad de imágenes y al desarrollo de nuevas tecnologías, son cada vez más las empresas y organismos públicos que incorporan el uso sistemático de imágenes en sus distintos proyectos, ya que pueden resultar muy ventajosas para un gran número de aplicaciones:

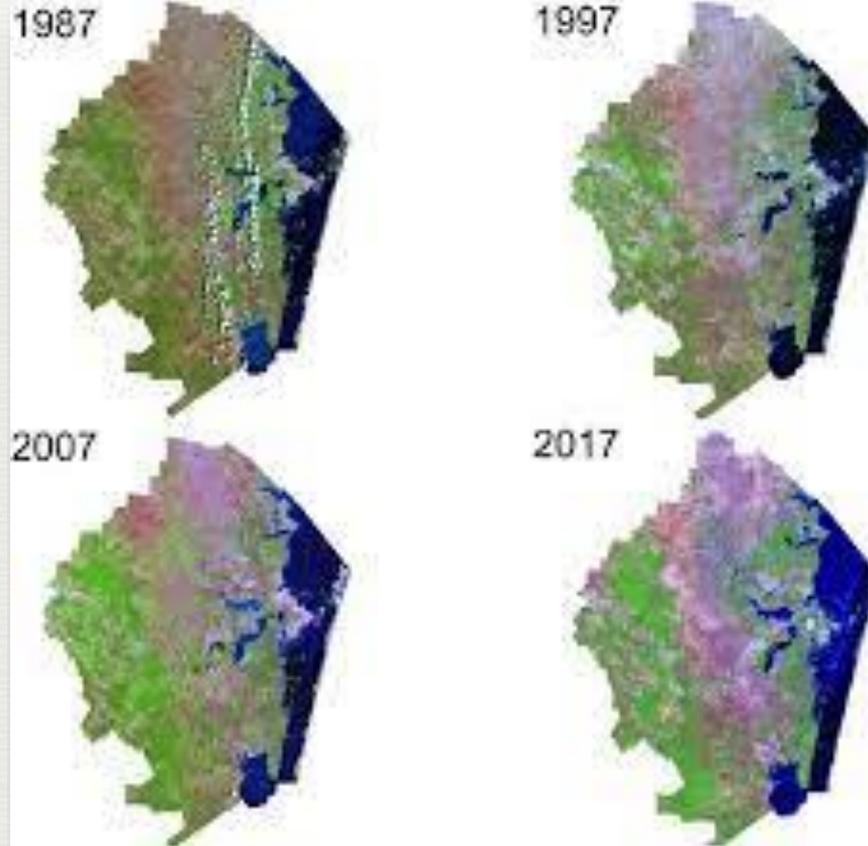
- Extracción de información,
  - Detección de cambios,
  - Agricultura (rendimiento de cultivos),
  - Vulcanología,
  - Monitorización de desastres naturales...etc.
- Sobrino, J. A. (2001).



# Imágenes satelitales Ecuador

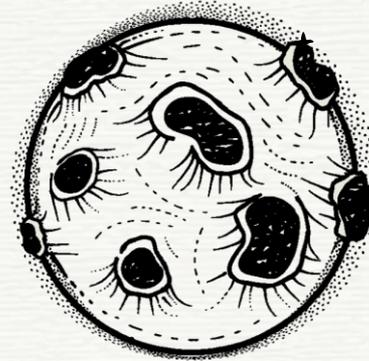


# Análisis multitemporal con imágenes satelitales



# Introducción a la observación de la Tierra

La observación de la Tierra es fundamental para comprender los problemas medioambientales y analizar el cambio climático, además para lograr objetivos de un desarrollo sostenible satisfaciendo las necesidades de agua y alimentos de una población mundial en constante crecimiento, con el fin de adaptarse al ritmo de vida actual, para crear una sociedad resiliente.



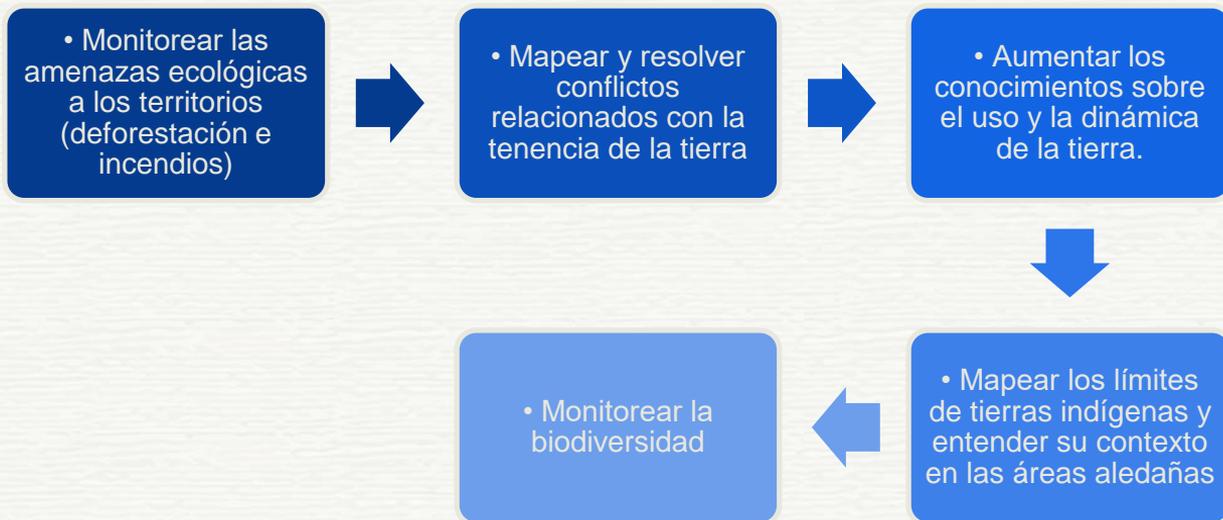
# Evolución tecnologías digitales

- En los últimos decenios, la rápida evolución de las tecnologías digitales y de teledetección, como la nube, la Web e Internet de las cosas, ha cambiado radicalmente nuestra forma de vivir y trabajar. La transformación digital está revolucionando nuestra capacidad de monitorización del planeta y transformando la forma en que accedemos, procesamos y explotamos los datos de Observación de la Tierra desde satélites.



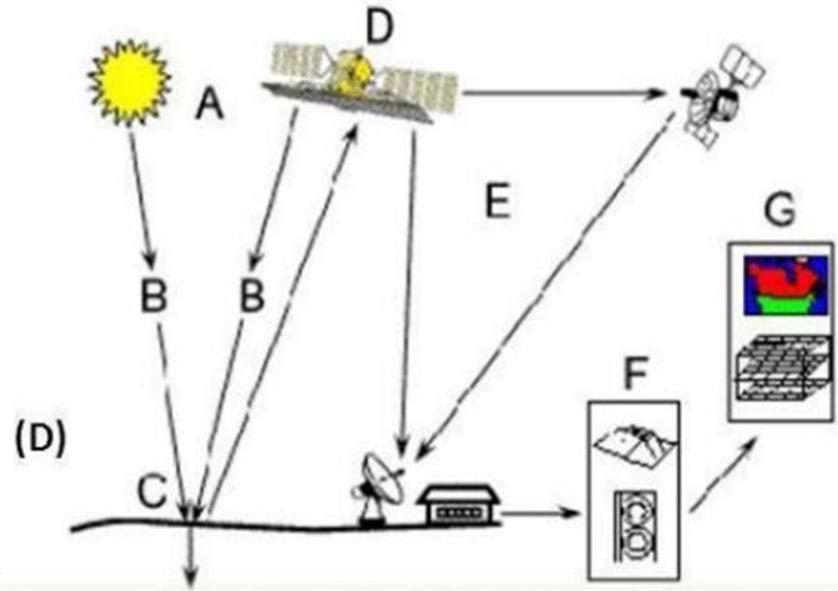
# La importancia de la observación de la Tierra

Mejorar la gestión sostenible de la tierra mediante la observación de la Tierra es fundamental para:



# ¿Cuáles son los componentes del proceso de teledetección?

1. Fuente de energía o iluminación (A)
2. Radiación y la atmósfera (B)
3. Interacción con el objeto (C)
4. Registro de energía por el sensor (D)
5. Transmisión, recepción y tratamiento (E)
6. Interpretación y análisis (f)
7. Aplicación (G)



# 1. Fuente de energía o iluminación.

## Componentes de la radiación de la Tierra.

La energía incidente del Sol es:

- reflejada (energía solar reflejada)
- transmitida
- absorbida





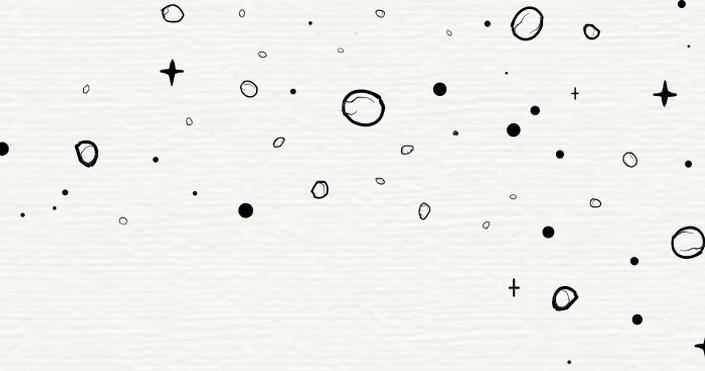
## 2. Radiación y la atmósfera

### La atmósfera

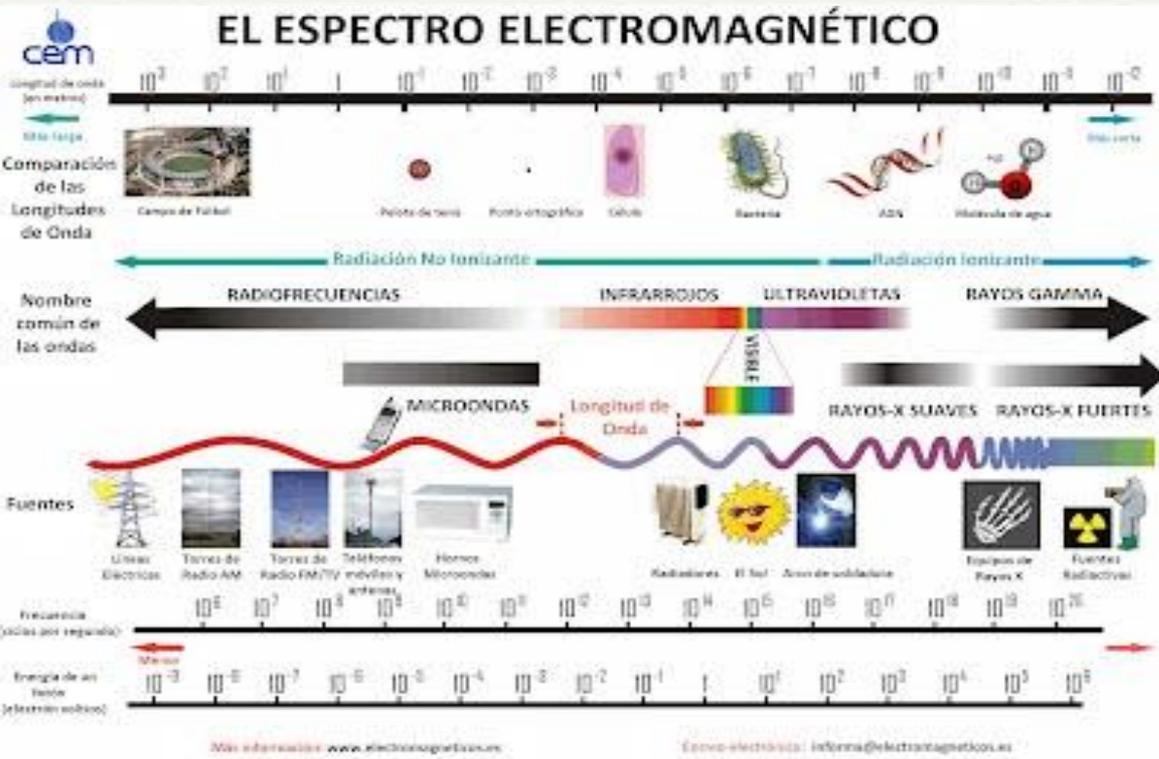
- Las nubes reflejan la radiación solar visible, emiten radiación infrarroja al espacio y brindan una medida indirecta de precipitaciones
- Se utilizan frecuencias de microondas para observar las precipitaciones

# 3. Interacción con el objeto

## El espectro electromagnético



- Los satélites en órbita llevan sensores o instrumentos.
- Los sensores se calibran para detectar diferentes longitudes de onda en el espectro electromagnético, incluyendo muchas veces la luz visible



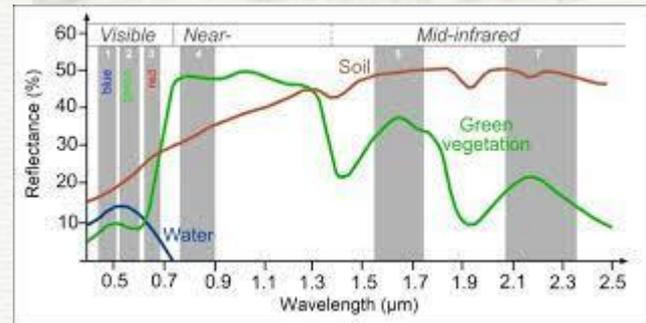
# 3. Interacción con el objeto

## La vegetación

La vegetación sana absorbe longitudes de onda rojas y azules pero refleja las verdes y las infrarrojas.



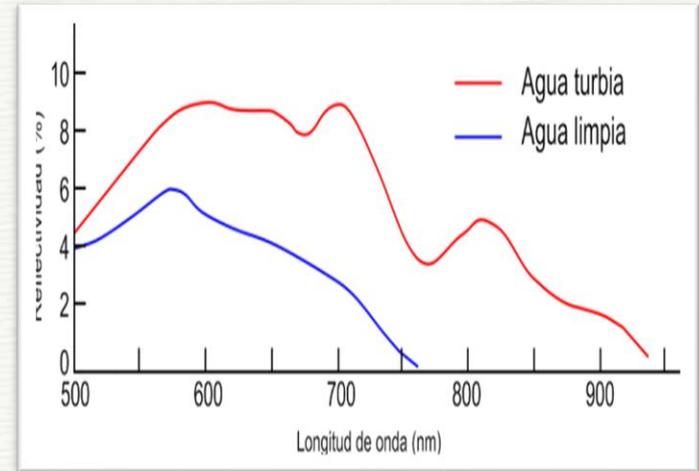
Debido a que no podemos ver la radiación infrarroja, la vegetación sana se ve verde



# 3. Interacción con el objeto

## El agua

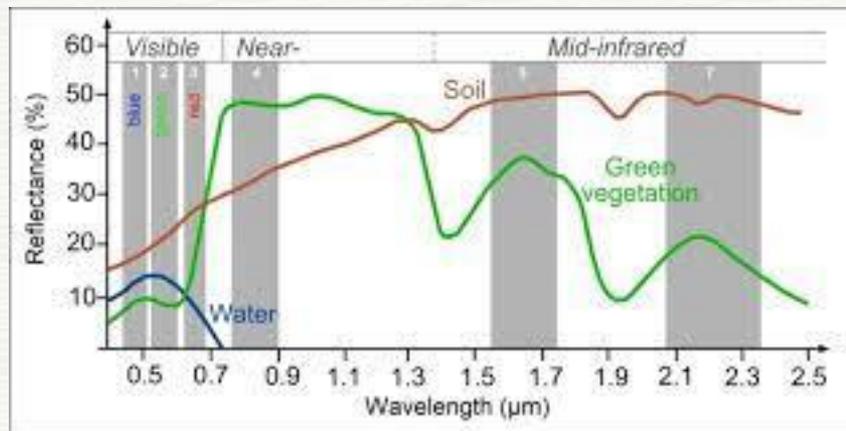
- El agua absorbe más las longitudes de onda visibles más largas (verdes y rojas) y la radiación infrarroja cercana que las longitudes de onda visibles más cortas (azules).
- El agua se ve azul o azul-verde generalmente.
- Sedimentos en las capas superiores del agua aumentarán la reflectancia y el agua se verá más brillante.



# 3. Interacción con el objeto

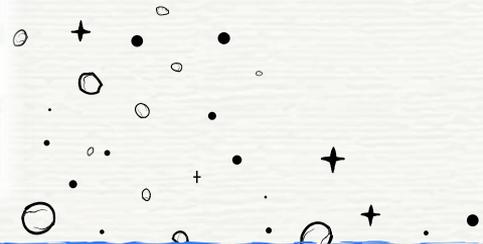
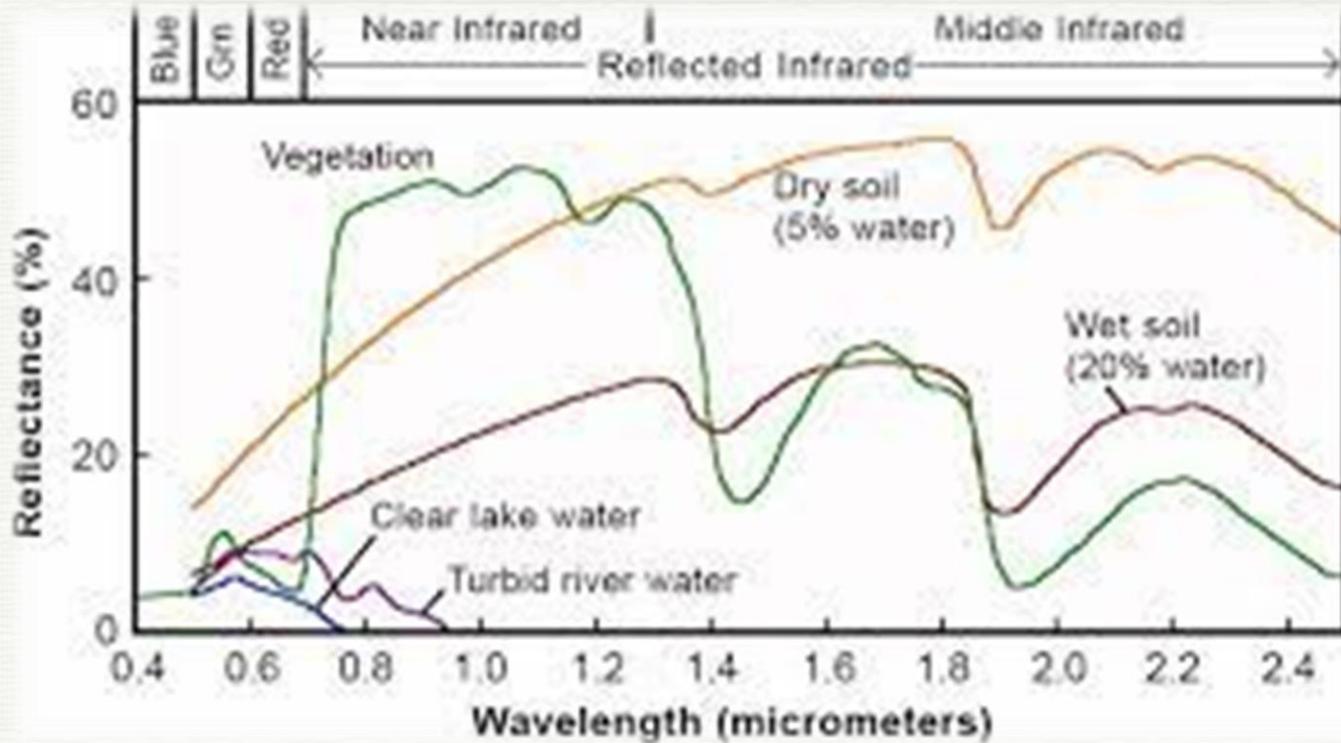
## El suelo

- La firma espectral del suelo es bastante constante en todo el rango de las longitudes de onda.
- La reflectancia se ve afectada por la humedad, la textura y el contenido mineral

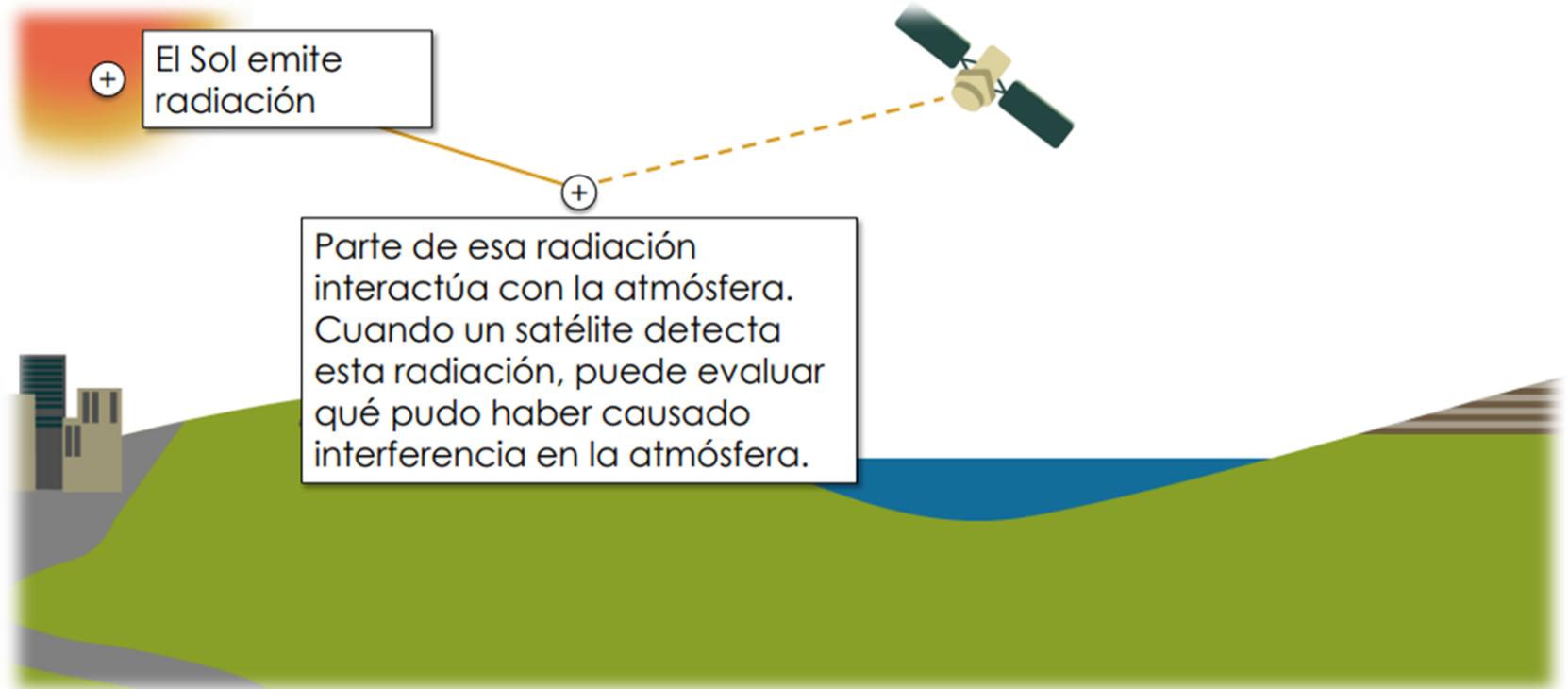


# 3. Interacción con el objeto

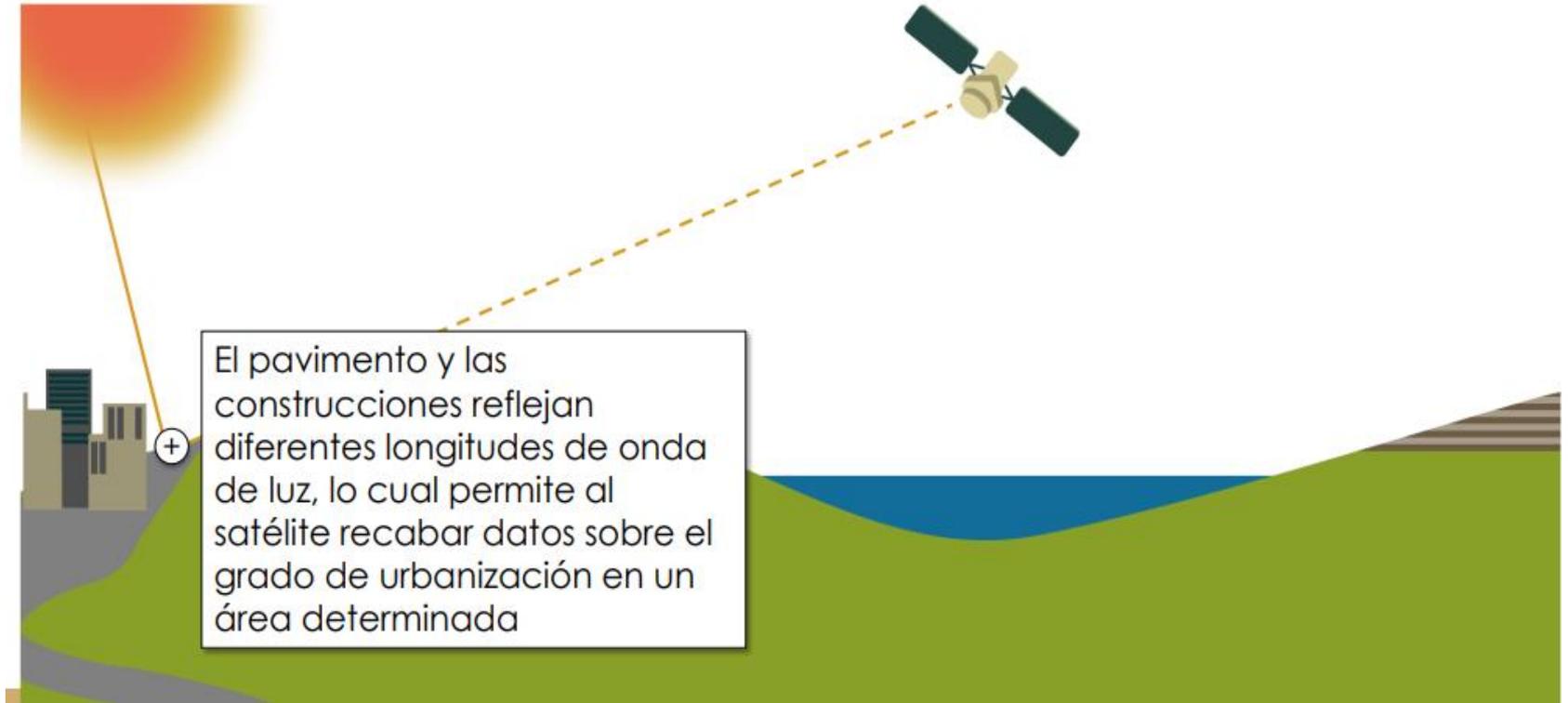
- Las firmas espectrales



## 4. Registro de energía por el sensor



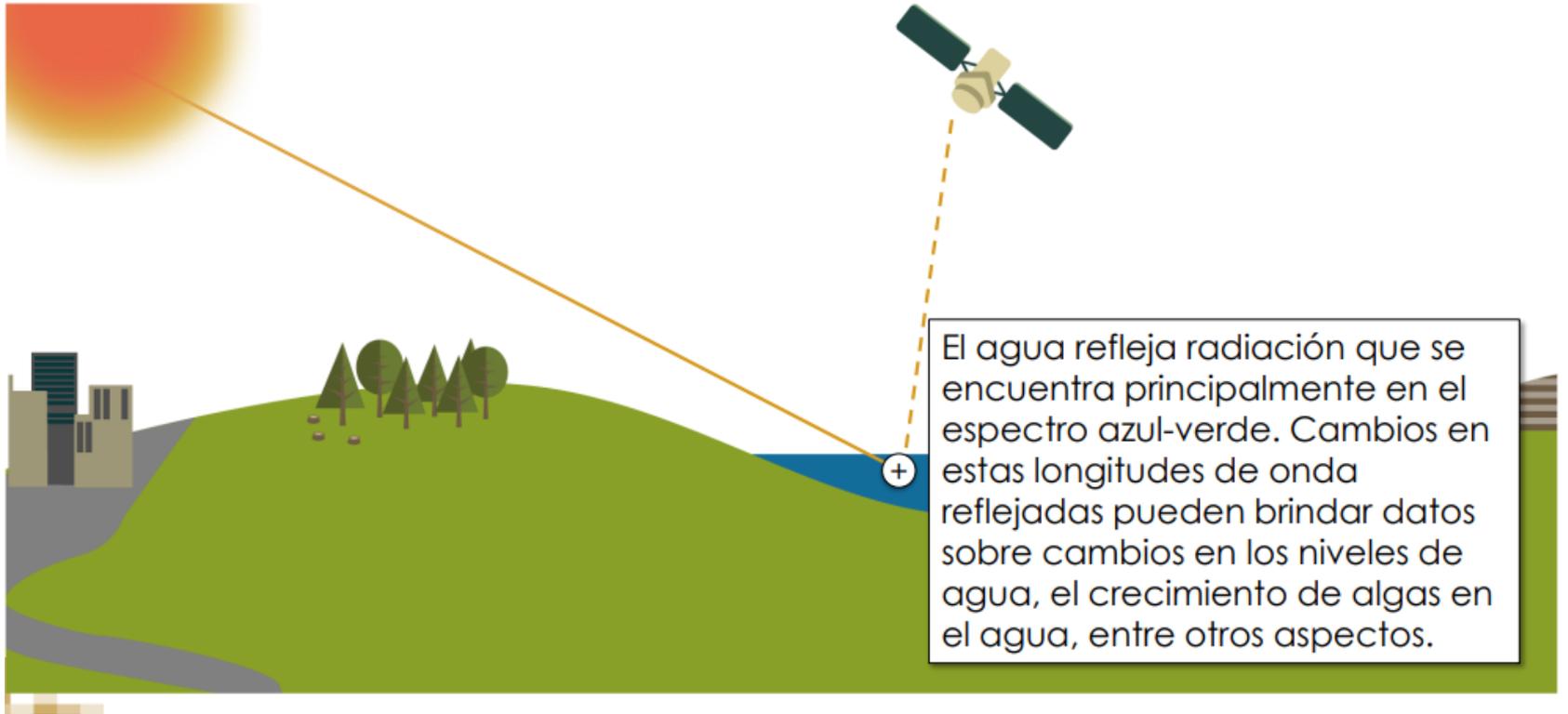
## 4. Registro de energía por el sensor



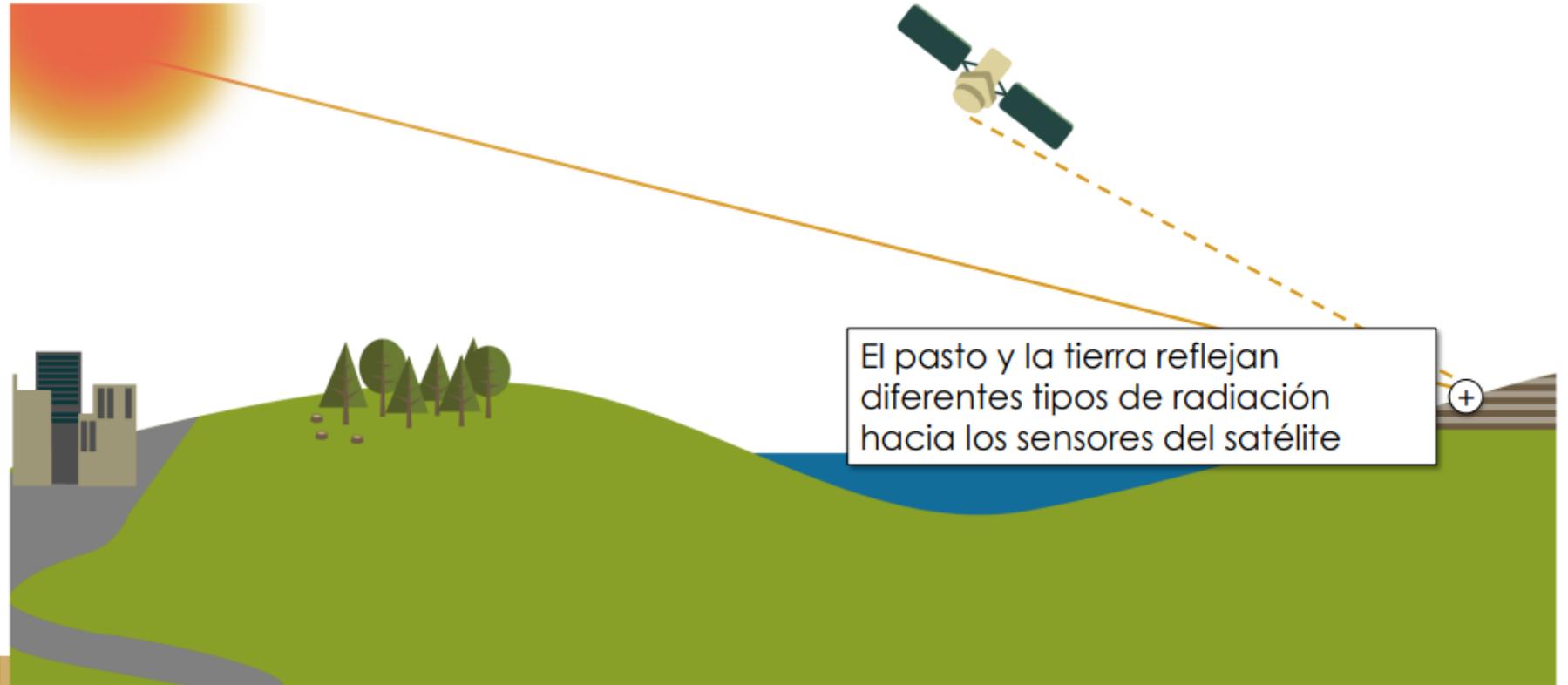
## 4. Registro de energía por el sensor



## 4. Registro de energía por el sensor



## 4. Registro de energía por el sensor



# 5. Tipos de teledetección

## PASIVA

La fuente de energía es el sol o la tierra



## ACTIVA

La fuente de energía es parte de los sensores remotos

# 6. Resolución

Cuando se refiere a la resolución de una imagen esto quiere decir la capacidad que tenemos de distinguir objetos cercanos en los detalles de la imagen. Para los instrumentos de teledetección, varios factores influyen en la resolución resultante, por lo que se dividen en cuatro resoluciones diferentes las cuales de discutirán a continuación

A. Resolución espacial: se refiere al tamaño del área u objeto más pequeño que puede percibir un sensor remoto.

B. Resolución espectral: habilidad de un sensor para distinguir la reflectividad en

intervalos cortos de energía electromagnética o grabar la información de un rango del espectro en particular y definir largo de ondas finos.

C. Resolución temporal: periodo de tiempo en que el instrumento colecciona datos sobre la misma área de la superficie terrestre.

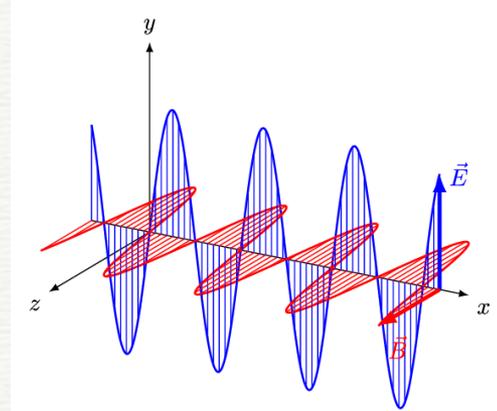
D. Resolución radiométrica: habilidad del sensor para discriminar pequeñas diferencias en reflectividad.

# La energía electromagnética

Históricamente las propiedades de la radiación electromagnética se han explicado por dos teorías aparentemente contrapuestas, **aquella que la concibe como un haz ondulatorio** (Huygens, Maxwell), y **aquella otra que la considera como una sucesión de unidades discretas de energía, fotones o cuantos, con masa igual a cero** (Planck, Einstein).



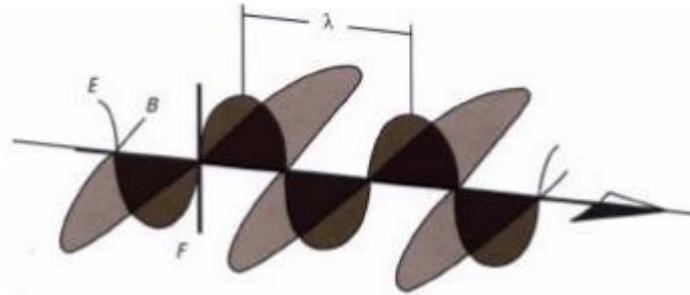
Las dos teorías se pueden compaginar, pues se ha demostrado que la luz presenta comportamientos que pueden explicarse de acuerdo a ambos planteamientos. Según la teoría ondulatoria, la energía electromagnética se transmite de un lugar a otro siguiendo un modelo armónico y continuo, a la velocidad de la luz



# La energía electromagnética.

La energía electromagnética es un tipo de energía que se transmite por el espacio a través de ondas con una velocidad, que en el vacío, es de 300.000 Km/seg.

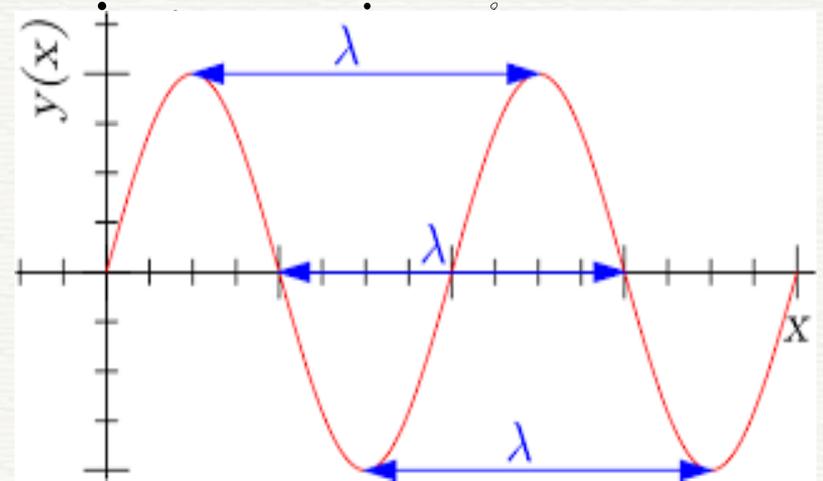
Una onda electromagnética, resulta de la propagación simultánea en el espacio de un campo eléctrico (E) y otro magnético (B) variables y, dada su forma de propagación, los diferentes tipos se definen por la longitud de onda ( $\lambda$ ) o por la frecuencia (F).



*Figura 1: Esquema de una onda electromagnética en el que se diferencia el campo eléctrico (E) y el magnético (B), la frecuencia (F) y la longitud de onda ( $\lambda$ ).*

La longitud de onda expresa el carácter periódico de esta perturbación,

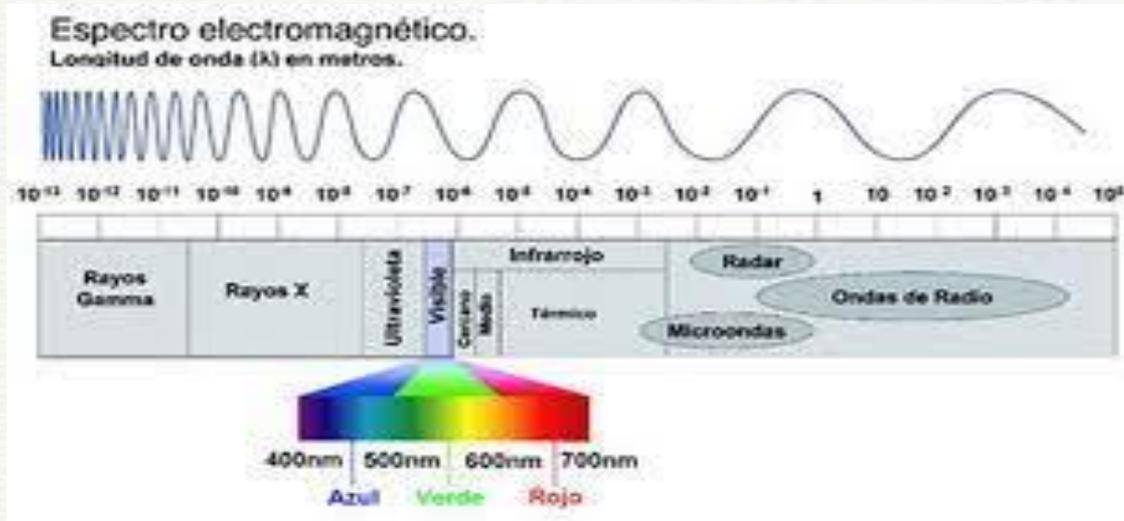
y vendría definida como la distancia entre dos picos contiguos de uno de los campos, midiéndose en unidades de longitud (mts. mm.  $\mu\text{m}$ ). La frecuencia mediría el número de ciclos por unidad de tiempo que pasan por un punto fijo, midiéndose en hercios (Hz)



Tanto la longitud de onda como la frecuencia permiten clasificar los diferentes tipos de energía electromagnética.



**Espectro electromagnético**, (denominaciones particulares para cada una de las porciones del mismo visible, ultravioleta, infrarrojo...)

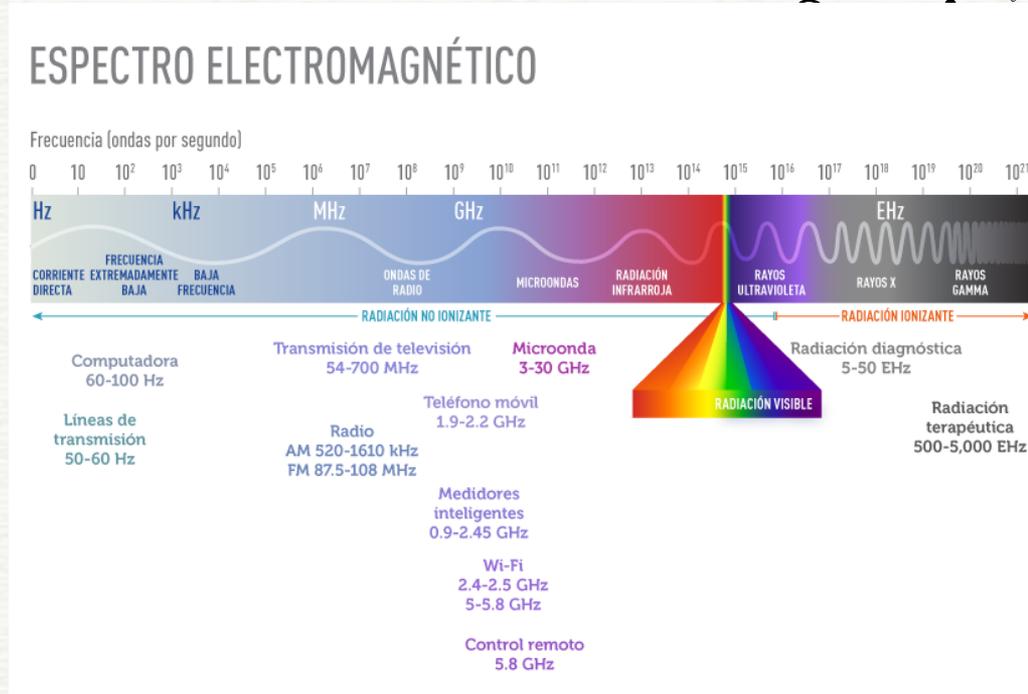


# Espectro electromagnético

Se puede definir cualquier tipo de energía radiante en función de su longitud de onda o frecuencia.

**La organización de estas bandas de longitudes de onda o frecuencia se denomina espectro electromagnético. Comprende desde las longitudes de onda más cortas (rayos gamma, rayos X), hasta las kilométricas (telecomunicaciones). Las unidades de medida más comunes se relacionan con la longitud de onda.**

Para las más cortas se utilizan micrómetros, mientras las más largas se miden en centímetros o metros. Normalmente a estas últimas (denominadas microondas) se las designa también por valores de frecuencia (en Gigahertz, GHz 100 Hz).



Desde el punto de vista de la teledetección, conviene destacar una serie de bandas espectrales, que son las más frecuentemente empleadas con la tecnología actual. Su denominación y amplitud varían según distintos autores, si bien la terminología más común es la siguiente

**Espectro visible (0,44 0,7  $\mu\text{m}$ )** Se denomina así por tratarse de la única radiación electromagnética que pueden percibir nuestros ojos, coincidiendo con las longitudes de onda en donde es máxima la radiación solar. Dentro de esta región, suelen distinguirse tres bandas elementales, que se denominan azul (A: 0,4-0,5  $\mu\text{m}$ ), ver-de (V- 0,5-0,6  $\mu\text{m}$ ), y rojo (R. 0,6-0,7  $\mu\text{m}$ ), en razón de los colores primarios que nuestros ojos perciben a esas longitudes de onda.



**-Infrarrojo cercano (IRC. 0,7 a 1,3  $\mu\text{m}$ ).**  
También se denomina infrarrojo próximo, reflejado o fotográfico, puesto que parte de él puede detectarse a partir de películas dotadas de emulsiones especiales. Como veremos luego, resulta de especial importancia por su capacidad para discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad



**Infrarrojo medio (IRM: 1,3 a 8  $\mu\text{m}$ ).** En esta región se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y de emisión de la superficie terrestre. En el primer caso, hablamos de infrarrojo de onda corta (Short Wave Infrared, SWIR), que se sitúa entre 1,3 y 2,5 $\mu\text{m}$  y resulta una región idónea para estimar el contenido de humedad en la vegetación o los suelos. La segunda banda de interés está comprendida entre 3 y 5  $\mu\text{m}$ , y suele denominarse más propiamente como infrarrojo medio (IRM), siendo determinante para la detección de focos de alta temperatura (incendios o volcanes activos).



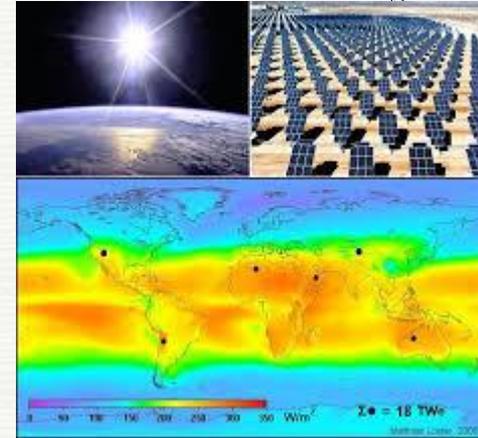
**Infrarrojo lejano o térmico (IRT 8a 14  $\mu\text{m}$ ),** que incluye la porción emisiva del espectro terrestre, en donde se detecta el calor proveniente de la mayor parte de las cubiertas terrestres.



-Micro-ondas (M. por encima de 1 mm), con gran interés por ser un tipo de energía bastante transparente a la cubierta nubosa

# Términos y unidades de medida

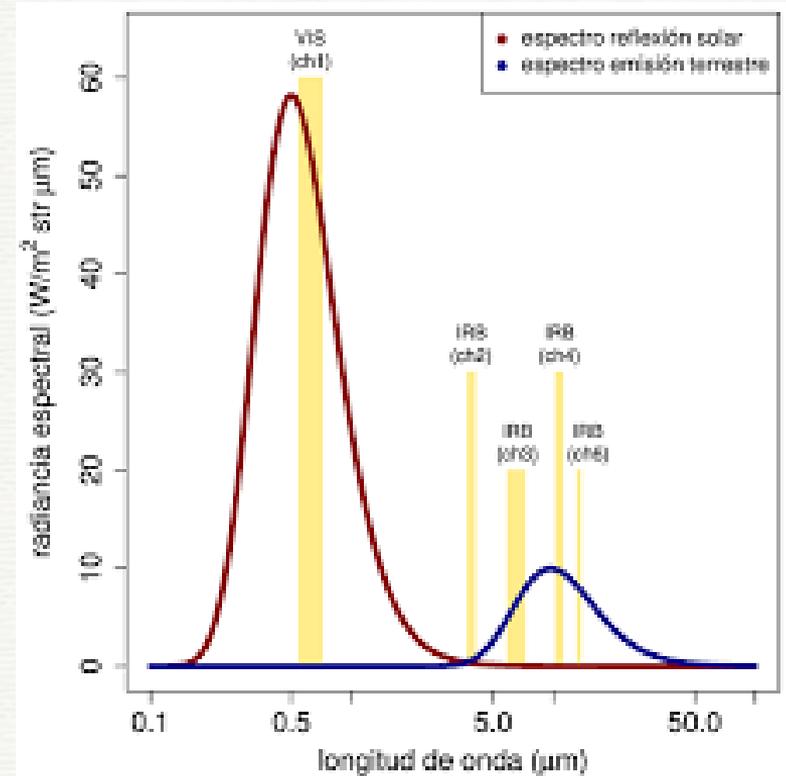
- Energía radiante (Q) Indica el total de energía radiada en todas las direcciones. Se mide en julios (J).
- Flujo radiante  $\phi$ : Total de energía radiada en todas las direcciones por unidad de tiempo. Se mide en vatios (W)
- Emitancia o oscitancia radiante (M). Total de energía radiada en todas las direcciones desde una unidad de área y por unidad de tiempo. Se mide en vatios por metro cuadrado ( $W m^2$ )
- Irradiancia (E) Total de energía radiada sobre una unidad de área y por unidad de tiempo. Es equivalente a la emitancia, si bien ésta indica la energía emitida, mientras la irradiancia refiere a la incidente ( $W m^2$ ).
- Intensidad radiante (I) Total de energía radiada por unidad de tiempo y por ángulo sólido ( $\Omega$ ). Se trata éste de un ángulo tridimensional, que refiere a la sección completa de la energía transmitida, y se mide en estéreo-radianes. Por tanto la intensidad radiante se mide en vatios por estéreo-radián ( $W sr'$ )



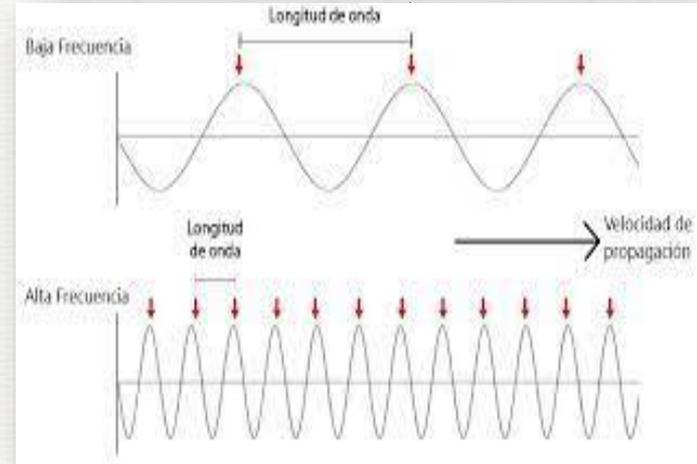
# Términos y unidades de medida

Radiancia (L). Total de energía radiada en una determinada dirección por unidad de área y por ángulo sólido de medida. Es un término fundamental en teledetección, ya que describe precisamente lo que mide el sensor. Se cuantifica en vatios por metro cuadrado y estereorradián ( $W m^2 sr^{-1}$ ).

Radiancia espectral (L) Por extensión del concepto anterior, indica el total de energía radiada en una determinada longitud de onda por unidad de área y por ángulo sólido de medida. Por cuanto el sensor detecta una banda particular del espectro, ésta es la medida más cercana a la observación remota. De igual forma que la radiancia, la emitancia e irradiancia pueden completarse con el calificativo de espectral (añadiendo el subíndice  $\lambda$ ), cuando se refieren a una determinada longitud de onda



**La velocidad de propagación:** es la misma para todos los tipos de energía electromagnética, existe una relación inversamente proporcional entre longitud de onda y frecuencia, es decir, a mayor frecuencia menor longitud de onda y viceversa, utilizándose ambos valores, de forma indiferente, para la clasificación de las ondas electromagnéticas.



Al ser la **energía electromagnética** la base de todos los sistemas de teledetección empleados en los satélites de recursos naturales, es imprescindible, para su funcionamiento, la existencia de una fuente de esta energía.



Las fuentes de energía electromagnética utilizadas en teledetección espacial son esencialmente tres, dos de ellas naturales, en estrecha relación con su temperatura, y otra artificial:

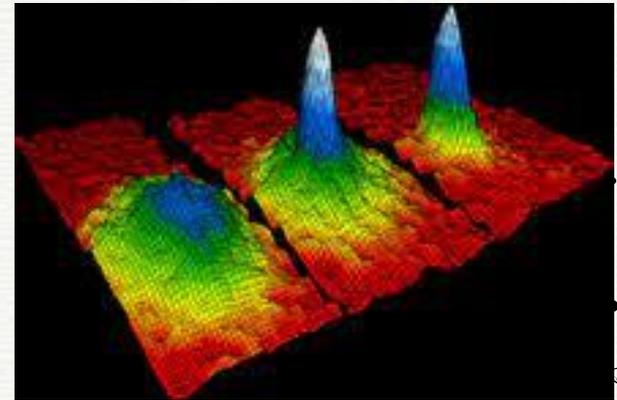
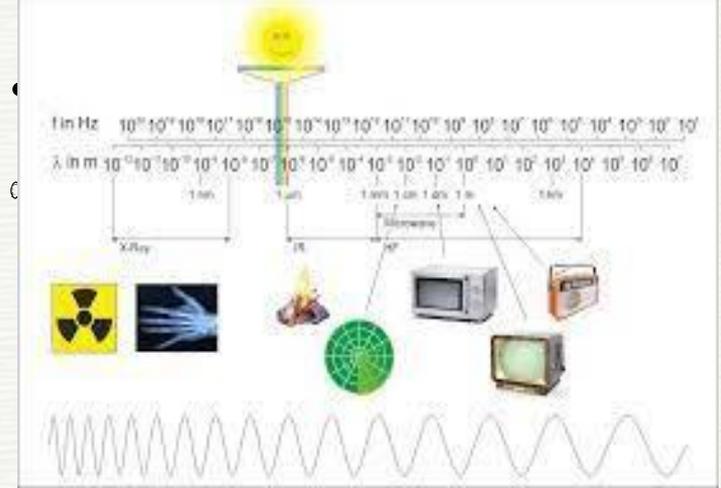


**El sol**, la principal fuente de energía natural que se suele emplear en teledetección.

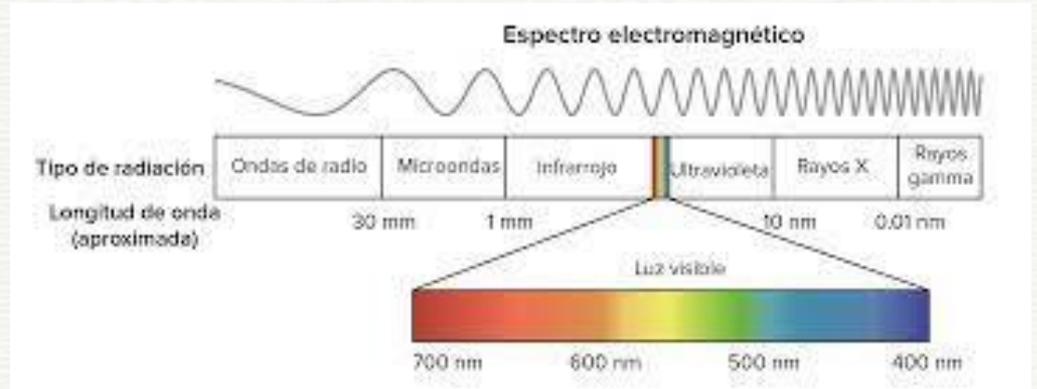
- Funciona cómo un cuerpo que emite energía de forma continua, siendo máxima esta emisión para las longitudes de onda comprendidas entre los 0.3 y 3  $\mu\text{m}$ , valores entre los que se encuentra el espectro visible.
- La fuerte radiación en el visible lo convierte en fuente natural de radiaciones que son recibidas por otros cuerpos que, a su vez, las reflejan, absorben y transmiten.



- Cualquier cuerpo con una temperatura superior al cero absoluto** ( $0^\circ$  Kelvin  $\gg$   $273^\circ$  Centígrados) emite igualmente *radiación electromagnética*, con una intensidad y composición espectral muy diferente a la emitida por el sol, ya que está directamente relacionada con la temperatura (alrededor de  $6000^\circ$  K para el Sol y  $300^\circ$  K. para la Tierra). En el caso de la radiación emitida (no reflejada) por los objetos de la superficie terrestre (segunda fuente natural de energía electromagnética), ésta alcanza su máximo en las longitudes de onda del infrarrojo térmico (de 8 a 12  $\mu$ m).

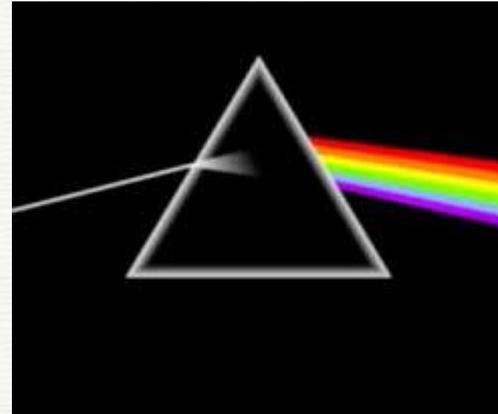
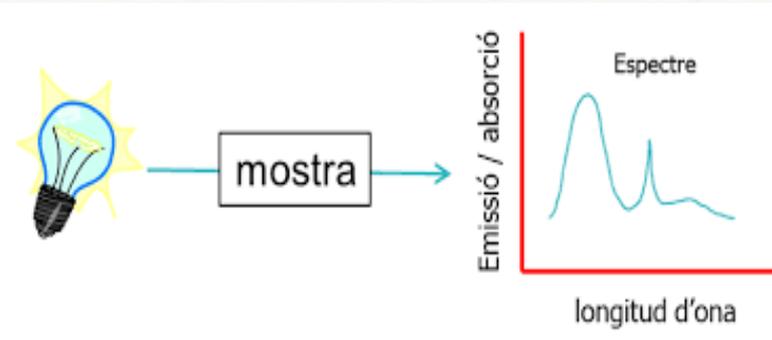


- **La tercera fuente de energía** comúnmente utilizada en teledetección espacial es artificial. Generalmente se emplea a través de un sistema de teledetección activo que genera radiación electromagnética de gran longitud de onda (microondas o hiperfrecuencias) para posteriormente registrar su "eco" sobre la superficie terrestre. Este sistema es más conocido como "radar" y es de gran utilidad dada la buena penetrabilidad del tipo de energía utilizada a través de las nubes e, incluso, de cuerpos de gran homogeneidad (las arenas).



# Espectro electromagnético

**La espectroscopía** es el estudio de la interacción entre la radiación electromagnética y la materia, con absorción o emisión de energía radiante— puede detectar una región mucho más amplia del espectro electromagnético que el rango visible de 400 a 700 nm (nanómetros). Un espectrómetro de laboratorio común puede detectar longitudes de onda de 2 a 2500 nm (Rodríguez Chávez y Arredondo, 2005).



- Cada banda del espectro permite conocer elementos y objetos específicos de la superficie terrestre. Las aplicaciones de las diferentes bandas espectrales son:

Banda espectral	Aplicaciones
Azul (0.45-0.5 $\mu\text{m}$ )	Penetración del agua, uso de la tierra, características de la vegetación, sedimentos
Verde (0.5-0.6 $\mu\text{m}$ )	Reflexión verde de la vegetación sana
Rojo (0.6-0.7 $\mu\text{m}$ )	Discriminación de la vegetación por la absorción de la clorofila
Pancromático (0.5-0.75)	Trazado del uso de la tierra
Infrarrojo reflectivo (0.75-0.9)	Biomasa, identificación de cultivos, límites de tierra y agua
Infrarrojo medio (1.5-1.75)	Cantidad vegetación, zonas áridas, nubosidad, hielo, nieve
Infrarrojo medio (2-2.35)	Geología, formación de rocas
Infrarrojo térmico (10-12.5)	Diferenciación temperatura, descargas térmicas, clasificación de la vegetación, inercia térmica
Microonda de onda corta (0.1-5 cm)	Cubrimiento de la nieve, profundidades, contenido de agua en la vegetación
Microonda de onda larga (5-24 cm)	Medidas del suelo, límites entre tierra y agua, penetración de la vegetación



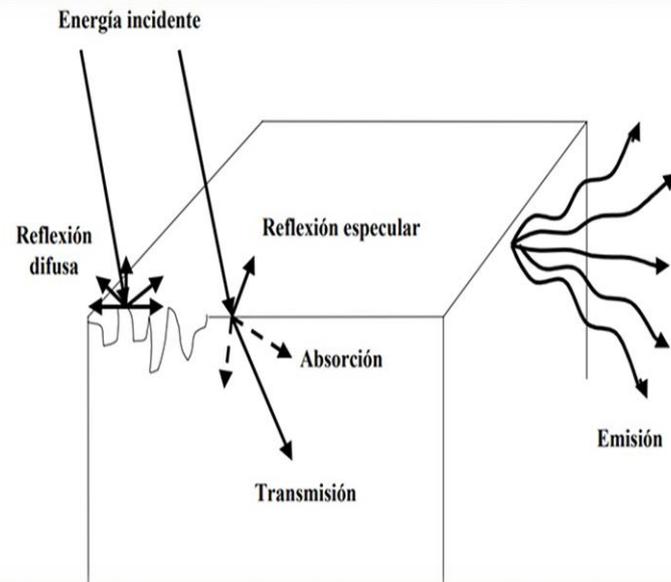
# Interacciones de la radiación electromagnética

Todos los objetos, con independencia de la radiación que emitan, recibirán radiación emitida por otros cuerpos, principalmente del Sol. En relación con el objeto sobre el que es emitida, esta radiación puede:

**reflejarse** (la radiación es reenviada al espacio);

**absorberse** (la radiación incrementa la energía del objeto);

**transmitirse** (la radiación se transmite hacia abajo a otros objetos).



# El efecto de la atmosfera sobre la energía electromagnética

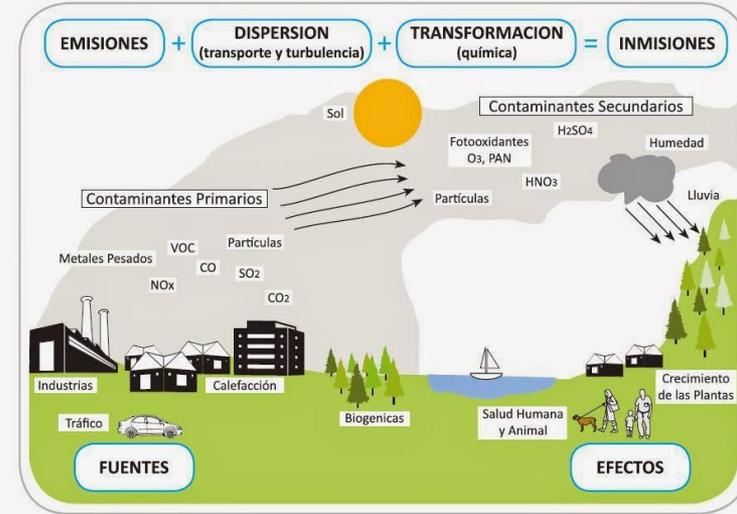
- Una gran parte de la transmisión de energía se produce a través del cuerpo gaseoso que rodea nuestro planeta: la atmósfera. Sin embargo, en el tránsito de la radiación hacia el sensor, la atmósfera no se comporta como un cuerpo transparente, sino que impone a la misma un conjunto de modificaciones que es necesario conocer al utilizar cualquier sistema de teledetección.

- Destacando por su influencia en la teledetección espacial las modificaciones:
  - ❖ La intensidad
  - ❖ Frecuencia
  - ❖ Distribución espectral de la radiación impuestas por la dispersión y la absorción atmosféricas



# Dispersión Atmosférica

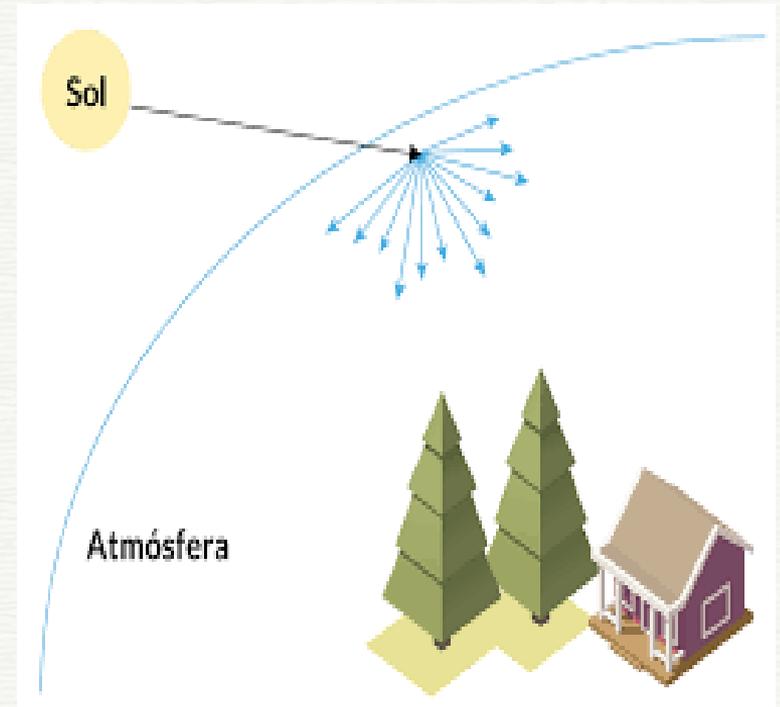
Este fenómeno aparece a causa de la difusión en todas las direcciones que las partículas en suspensión y las moléculas de los componentes de la atmósfera, producen sobre la radiación que interacciona con ellos. De forma general, este efecto de dispersión decrece a medida que aumenta la longitud de onda, aunque pueden distinguirse varios tipos:



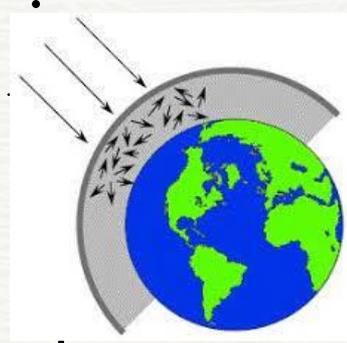
**Dispersión "Rayleigh":** moléculas y partículas atmosféricas con un diámetro menor que la longitud de onda incidente, ocasionando el "azul" del cielo en los días despejados.

**Dispersión "Mie":** partículas y moléculas en la atmósfera tienen un diámetro de igual tamaño que la longitud de la onda de la energía incidente.

**Dispersión "no selectiva":** independiente de la longitud de onda de la energía incidente, se produce cuando las partículas y moléculas atmosféricas presentan un diámetro de mayor tamaño que la longitud de onda de la radiación. Un caso típico es el color blanco de las nubes.

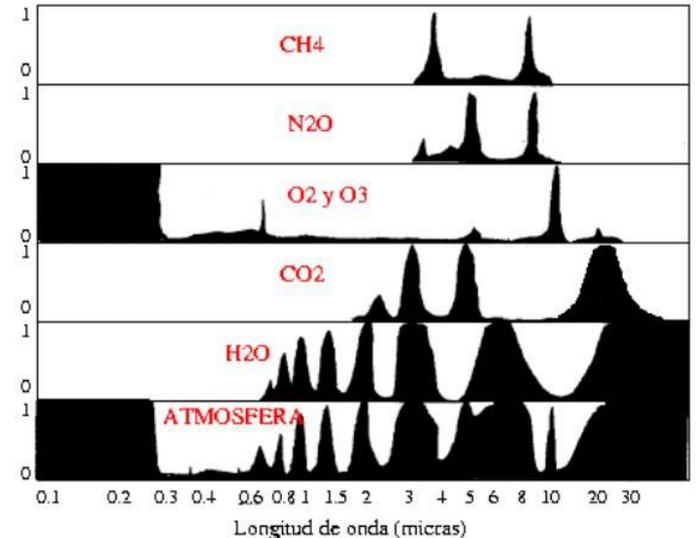


# Absorción Atmosférica

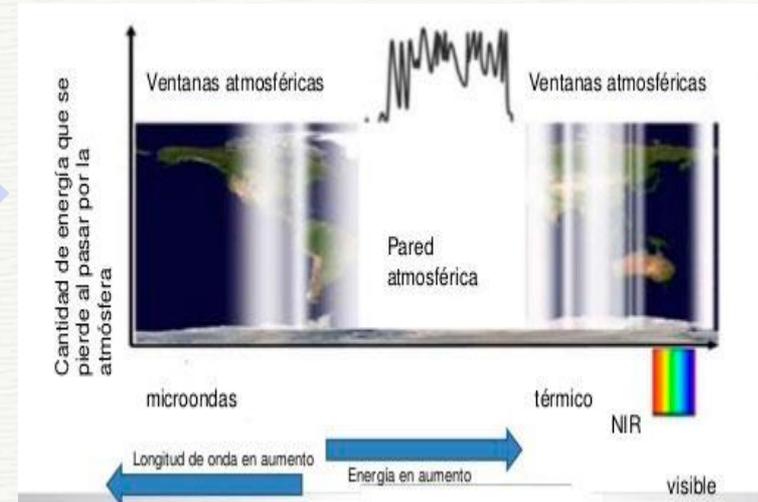
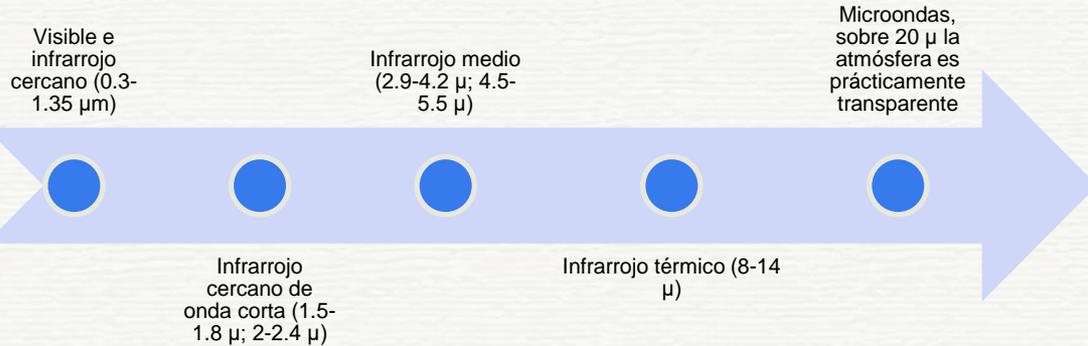


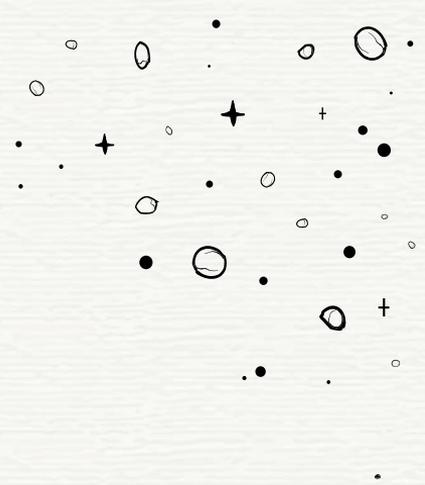
En la absorción de la energía, cada uno de los gases atmosféricos tiene capacidad para absorber radiación en diferentes longitudes de onda). Los principales responsables son:

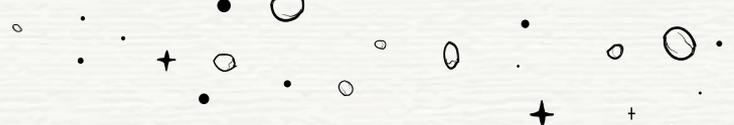
- Ozono (O<sub>3</sub>): absorbe radiación ultravioleta
- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>): absorbe radiación en 13-17.5  $\mu$ ;
- Vapor de agua (H<sub>2</sub>O): absorbe radiación en 5.5-7  $\mu$  y por encima de 27  $\mu$ ;



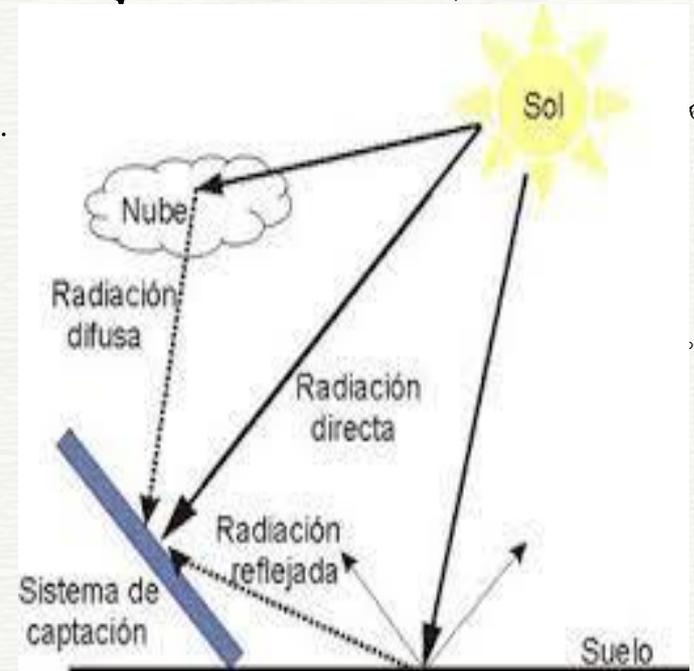
Existen regiones del espectro en las que no se produce absorción; son las llamadas ventanas atmosféricas y se conforman como los espacios donde va a ser viable (en principio) la teledetección. Aparecen en:







- La radiación que incide sobre una superficie directamente del Sol, sin sufrir cambios de dirección, se denomina "**radiación directa**". La radiación que llega tras ser reflejada, o incluso la radiación infrarroja emitida por las moléculas después de sufrir un calentamiento por efecto de absorción de radiación solar, se denomina "radiación difusa".
- La radiación solar a ras de la superficie terrestre nos llegaría de forma directa, ya que llega hasta nosotros/as sin sufrir desviaciones. Mientras nos alejamos, diferentes elementos interfieren con ella, llegando a difundirse. La suma de estas dos radiaciones en un plano horizontal se denomina "reacción global". La radiación difusa puede oscilar entre un 20% sobre el global en un día claro y un 100% en un día nublado.

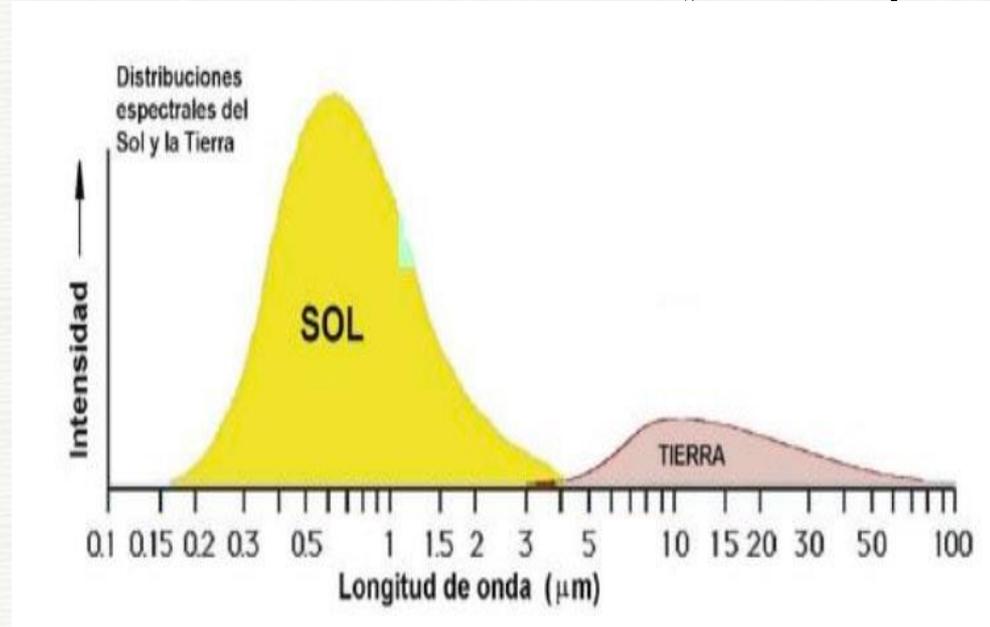
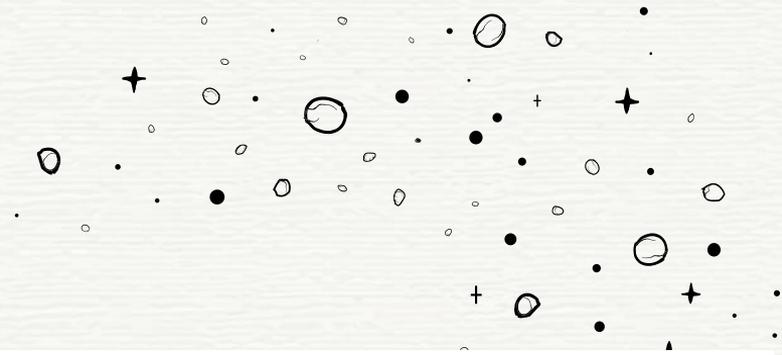


# La emisión

tratará de estimar la temperatura de la superficie terrestre. El problema reside, no obstante, en que los datos que llegan al satélite incluyen tanto la emisión de la superficie terrestre como de las diferentes capas de la atmósfera.

Actualmente, se están haciendo avances significativos para tratar de distinguirlos.

Por ello, resulta difícil distinguir un efecto del otro.



La temperatura promedio global de la superficie del planeta es de **15 °C**.

Esta temperatura se ha mantenido más o menos constante a lo largo del tiempo.

De esto se deriva que la misma cantidad de energía que por unidad de tiempo y de superficie llega a la Tierra tiene que ser emitida por esta.

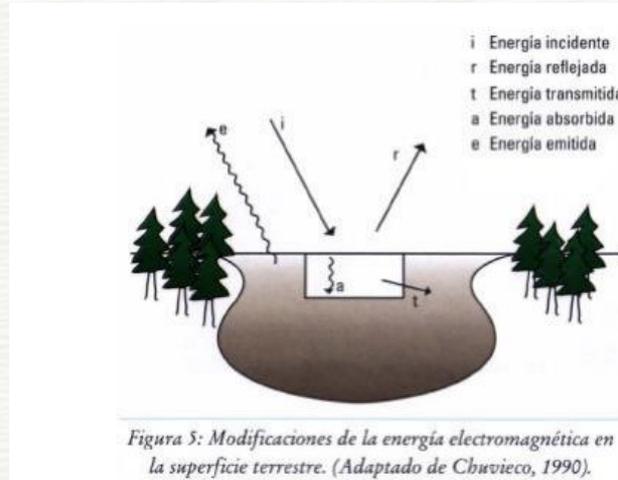
En caso contrario, si la energía total que llega es mayor o menor que la que el planeta emite, entonces la tierra se calienta o se enfría, respectivamente.



# Las modificaciones sufridas en el superficie terrestre

La energía electromagnética que recibe la superficie terrestre, sufre diferentes procesos.

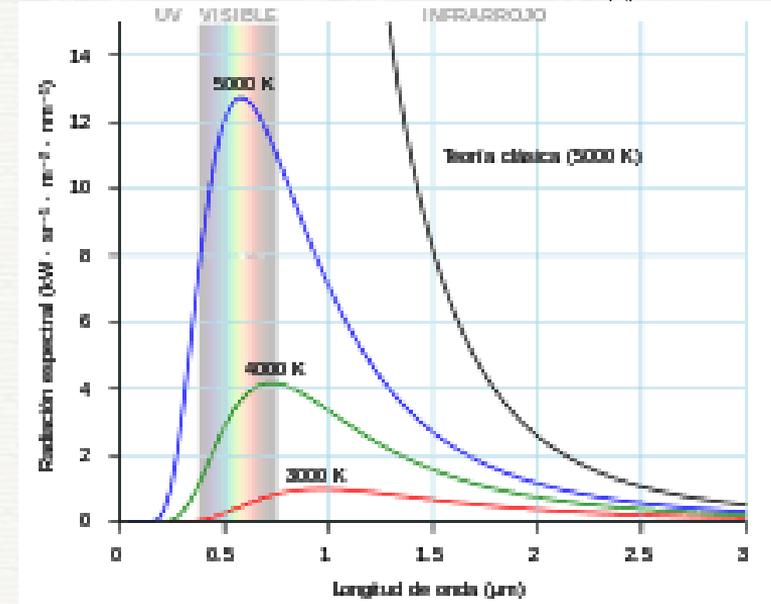
Una parte puede ser reflejada y el resto penetra en los elementos de la superficie terrestre a través de ondas refractadas que pueden ser absorbidas o transmitidas, dependiendo de la naturaleza de los objetos y de la longitud de onda de la energía.



Por otra parte, la energía absorbida es posteriormente devuelta en forma de energía emitida por los objetos, aunque dicha emisión se produce en otras longitudes de onda (generalmente más largas) dependiendo

$$E \text{ incidente} = E \text{ reflejada} + E \text{ absorbida} + E \text{ transmitida}$$

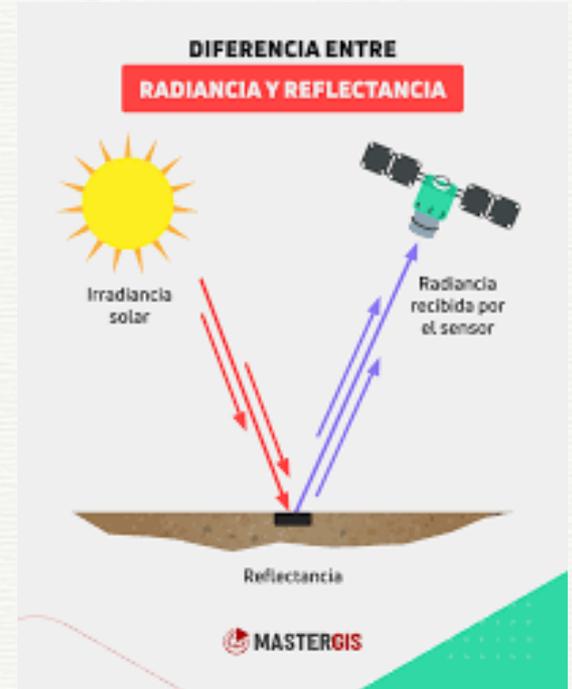
Ahora bien, las proporciones de energía reflejada, absorbida y transmitida varían para cada objeto, lo cual nos permite discriminarlos con los sistemas de teledetección. Igualmente, para un mismo objeto las mencionadas proporciones varían con diferentes longitudes de onda, con lo que dos objetos pueden ser no distinguibles en una porción del espectro y perfectamente diferenciables en otra



Como todos o la mayor parte de los sistemas de teledetección se sustentan en la energía reflejada o emitida por los objetos es interesante definir el concepto de **reflectividad o reflectancia** que equivaldría al porcentaje de energía reflejada respecto a la energía incidente.



Sin embargo, la reflexión de los objetos depende, en gran medida, de su naturaleza interna y del grado de rugosidad de la superficie, pudiéndose diferenciar dos tipos de reflexión extremos.

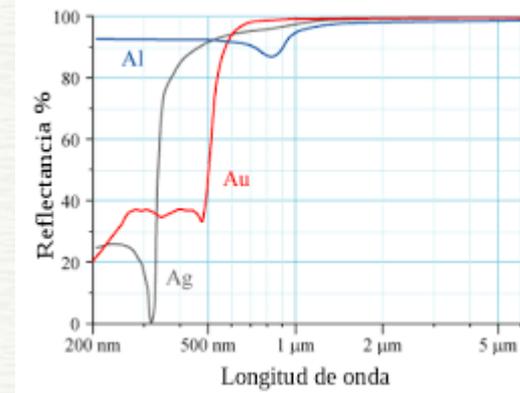


# Interacción de los elementos de la superficie terrestre con la radiación

De cara a la identificación de objetos y procesos en la superficie terrestre, lo que nos interesa es la reflectividad de estos objetos respecto a las diferentes longitudes de onda.



Cada tipo de material, suelo, vegetación, agua, etc. reflejará la radiación incidente de forma distinta, lo que permitirá distinguirlo de los demás si medimos la radiación reflejada. A partir de medidas de laboratorio se ha obtenido la reflectividad para las distintas cubiertas en diferentes longitudes de onda



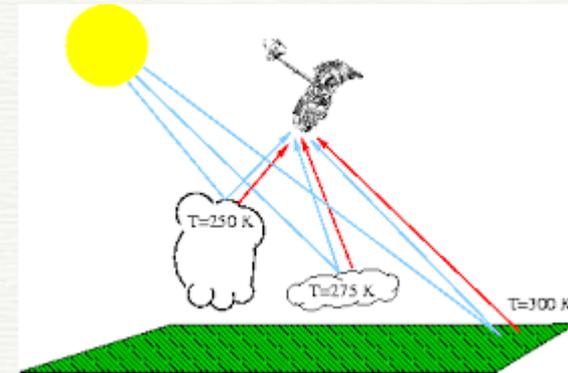
Si asumimos que la influencia de la atmósfera es mínima, ya que estamos trabajando en una ventana atmosférica y en un día despejado, podemos calcular la reflectividad como:

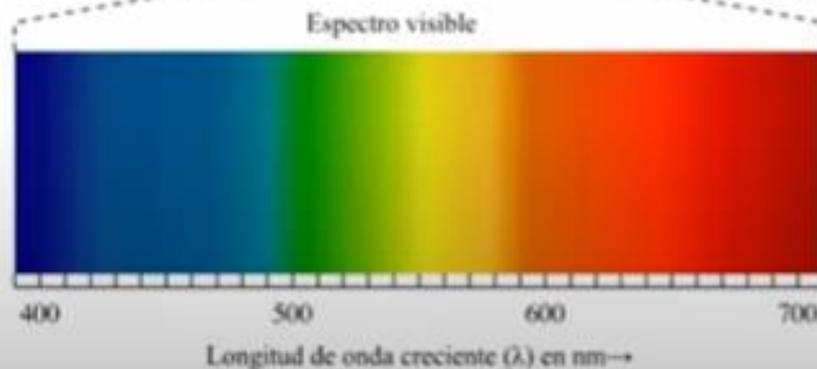
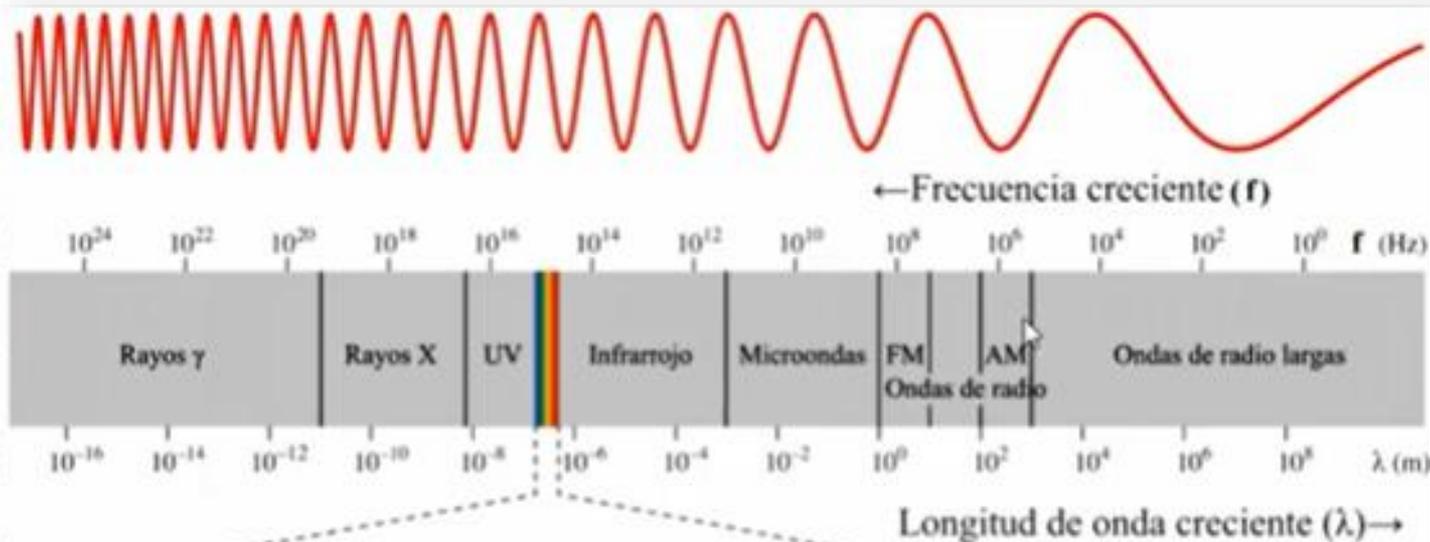
$$\rho = R_{sen} / R_{sol}$$

Donde

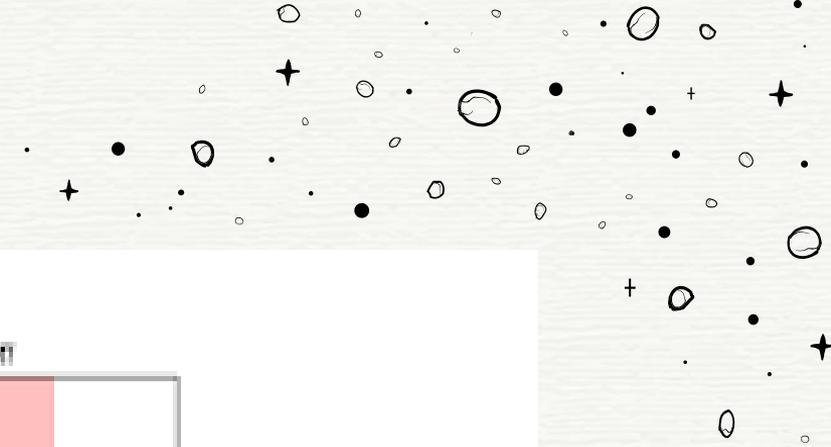
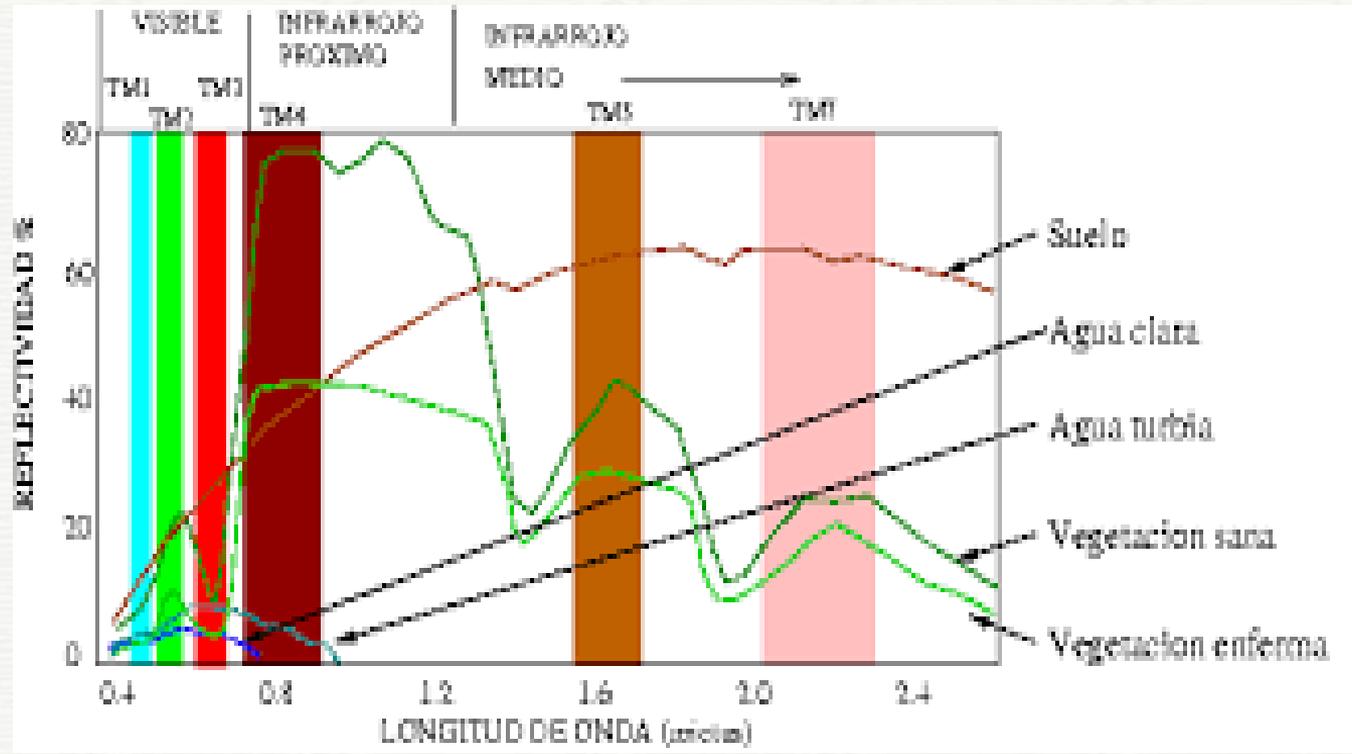
**R<sub>sen</sub>:** es la radiación que ha recibido el sensor procedente de un punto de la superficie terrestre.

**R<sub>so</sub>:** es la radiación que, emitida por el sol en las longitud de onda correspondiente al canal con que se está trabajando, llega a dicho punto de la superficie terrestre.



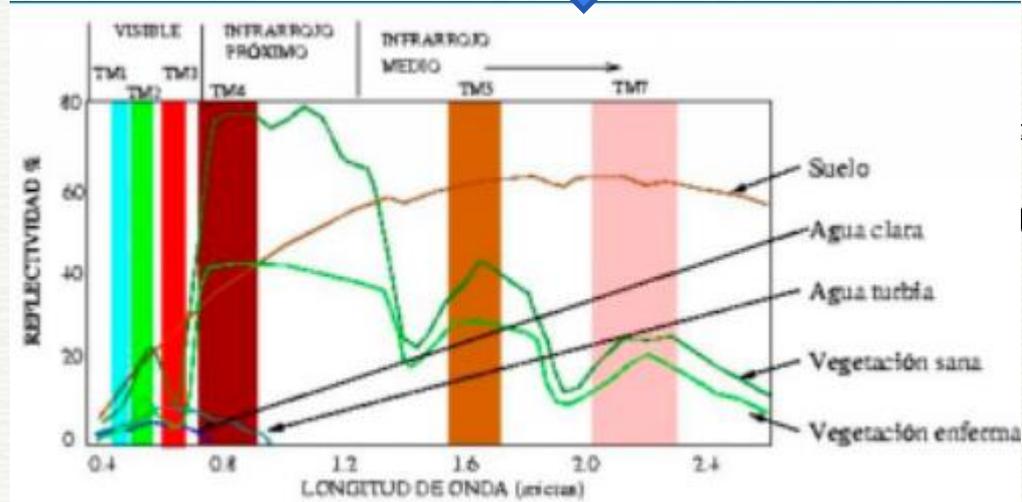


Color	Longitud de onda	Frecuencia
rojo	~ 625-740 nm	~ 480-405 THz
naranja	~ 590-625 nm	~ 510-480 THz
amarillo	~ 565-590 nm	~ 530-510 THz
verde	~ 520-565 nm	~ 580-530 THz
cian	~ 500-520 nm	~ 600-580 THz
azul	~ 450-500 nm	~ 670-600 THz
añil	~ 430-450 nm	~ 700-670 THz
violeta	~ 380-430 nm	~ 790-700 THz



# Interacciones con los elementos de la cubierta terrestre

Para la identificación de objetos y procesos en la superficie terrestre necesitamos conocer la reflectividad de estos objetos respecto a las diferentes longitudes de onda. Cada tipo de material, suelo, vegetación, agua, etc., va a reflejar la radiación incidente de forma específica, lo que permite distinguirlo del resto.



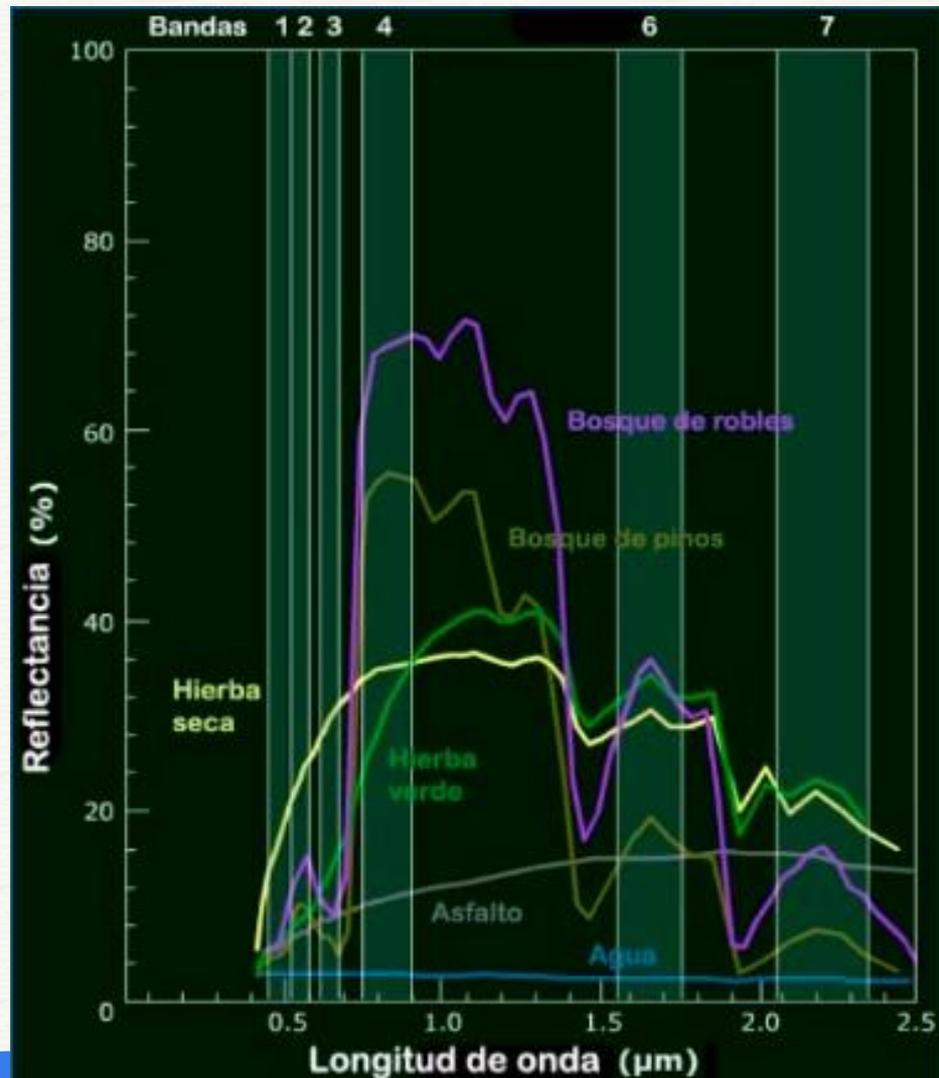
En el gráfico se puede observar la reflectividad de los objetos "firma espectral" para cada longitud de onda. De este modo, pueden distinguirse, por ejemplo, distintos tipos de suelo o vegetación

Poniendo de ejemplo los comportamientos espectrales de diferentes elementos de la superficie terrestre, observamos las diferencias de respuesta espectral de distintos tipos de vegetación, del agua y del asfalto.

Las bandas del satélite Landsat están superpuestas. De esta forma, puede calcularse cuáles serán los valores medios de reflectividad que va a obtener el sensor del satélite Landsat para las diferentes superficies.

No obstante, el flujo de energía que recibe el sensor dependerá de otros :

- Las condiciones atmosféricas
- La pendiente y orientación del terreno
- La geometría de la observación

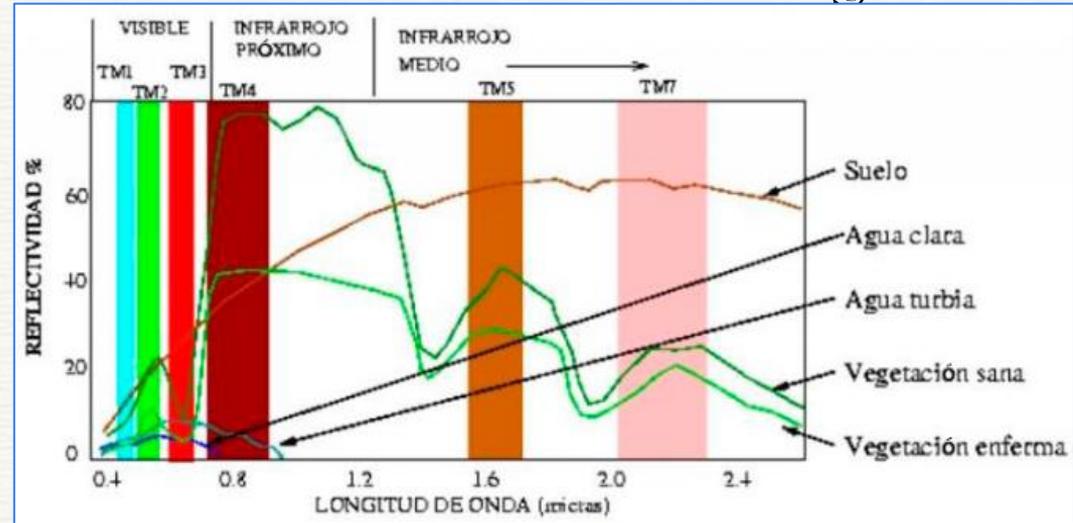




# Curvas de reflectancia espectral

Para la identificación de objetos y procesos en la superficie terrestre necesitamos conocer la reflectividad de estos objetos respecto a las diferentes longitudes de onda.

Cada tipo de material, suelo, vegetación, agua, etc., va a reflejar la radiación incidente de forma específica, lo que permite distinguirlo del resto, la reflectividad de los objetos es conocida como "signatura espacial" o "firma espectral" para cada longitud de onda.



Con valores que van de 0 a 1 ó 0 a 100 en puntos porcentuales

# RECORDEMOS

## FIRMA ESPECTRAL

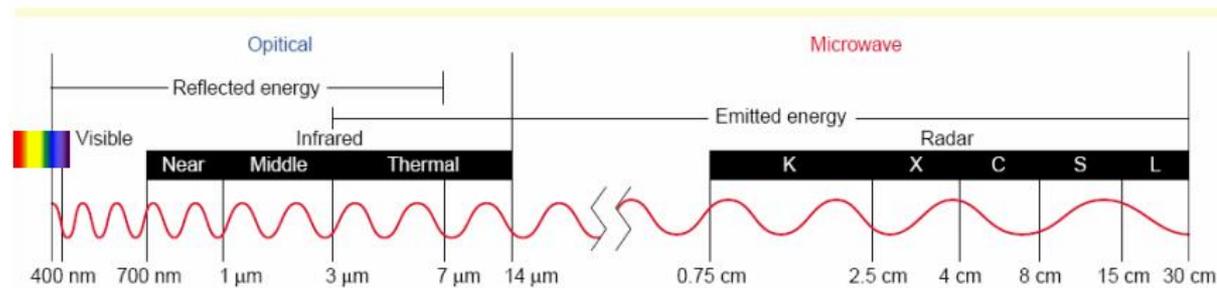
La forma en la cual un objeto refleja, emite o absorbe la energía en conforma un patrón espectral denominado FIRMA ESPECTRAL.



La misma permite identificar y discriminar diferentes objetos de la naturaleza.



La firma espectral se “construye” a partir de la señal registrada por los SR en las diferentes porciones del Espectro.



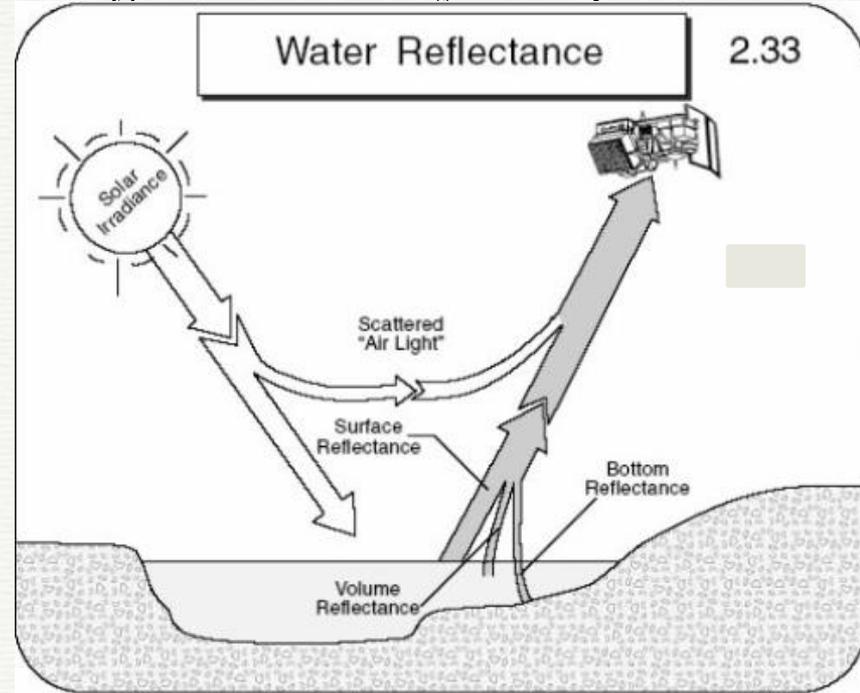
# Respuesta espectral del agua

La respuesta espectral del agua dependerá, principalmente, de su pureza y de la presencia de diferentes partículas en suspensión (aluviones, algas...).

El agua pura tiene excelentes propiedades en relación con la transmisión de la radiación electromagnética en el espectro visible y de absorción en el infrarrojo.

No obstante, la reflectancia presentará un pico en el verde, que irá reduciéndose hasta el infrarrojo.

Esta falta de reflectividad en el infrarrojo es fundamental para distinguir entre áreas de tierra y agua tanto en costas como en lagos o ríos. Al aumentar la profundidad del agua, la reflectancia disminuye en cualquier longitud de onda.



# Respuesta espectral del agua

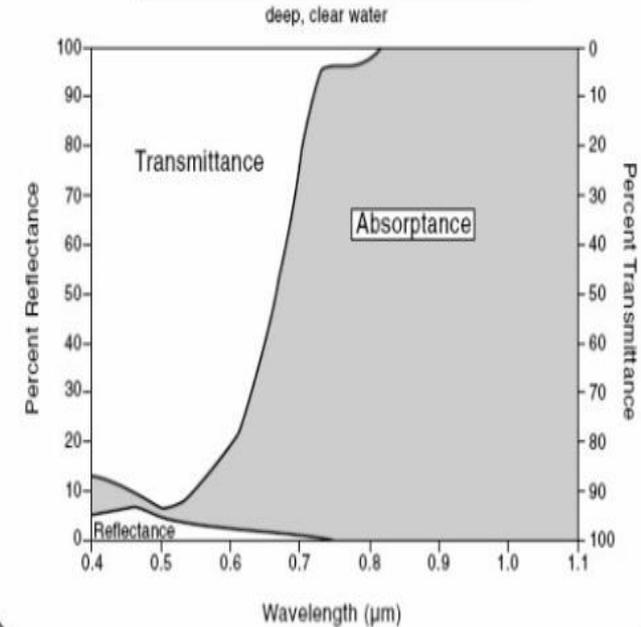
La reflectancia aportará información fundamental sobre el agua en tres aspectos principales: especular, del fondo y del volumen de agua (contiene información sobre la calidad del agua).

De este modo, el carácter tridimensional de las superficies acuosas hace que en su respuesta espectral aparezca un componente relacionado con la superficie, otro con la columna de agua y un tercero con el fondo.

Por ejemplo, un fondo de arena clara proporcionará una mayor reflectancia que un fondo compuesto por materia orgánica en descomposición. La profundidad a la que la luz puede penetrar depende de la longitud de onda. En el agua clara, la profundidad de penetración son 10 m entre 0.5 y 0.6  $\mu$ , disminuyendo hasta 10 cm en 0.8-1.1  $\mu$ . Siguiendo esta lógica, al incrementarse la profundidad del agua, la reflectancia, en cualquier longitud de onda, desciende

## Spectral Partitioning by Water

2.34

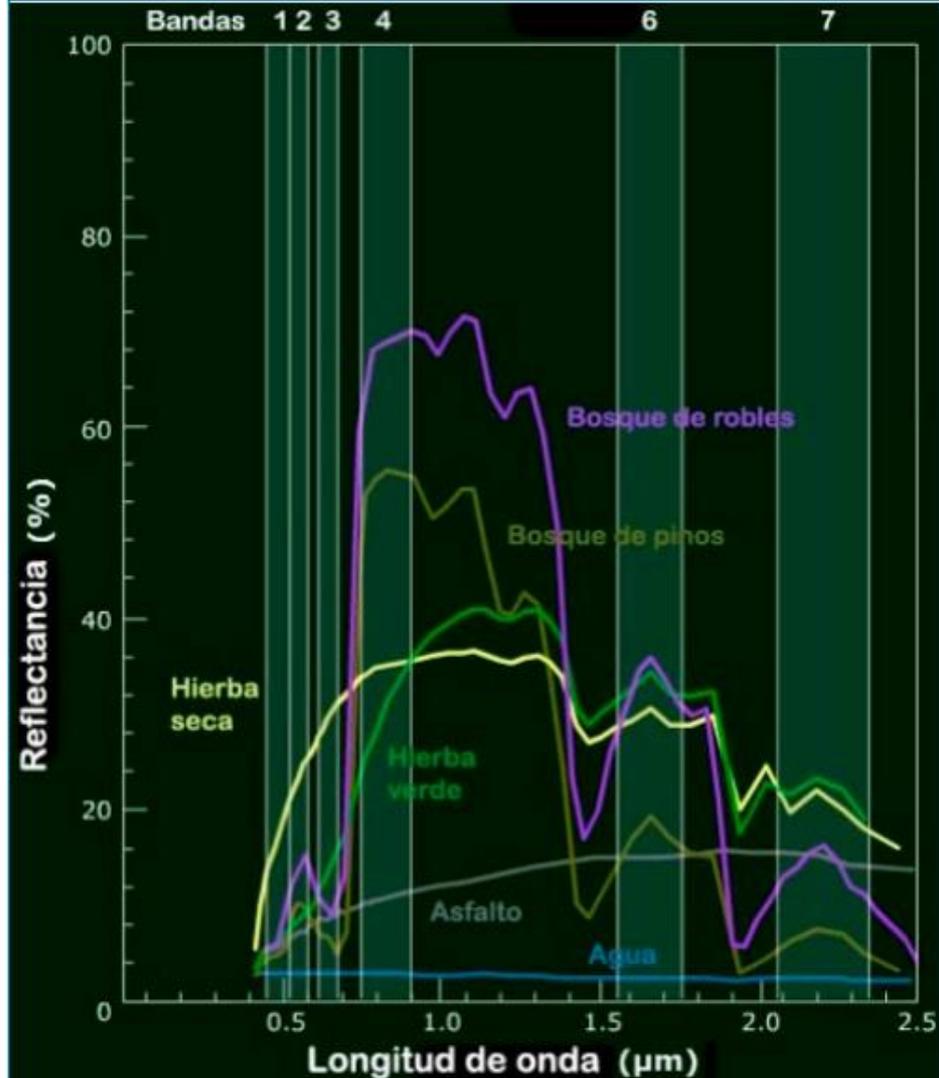


Poniendo de ejemplo los comportamientos espectrales de diferentes elementos de la superficie terrestre, observamos en la imagen las diferencias de respuesta espectral de distintos tipos de vegetación, del agua y del asfalto.

Las bandas del satélite Landsat están superpuestas. De esta forma, puede calcularse cuáles serán los valores medios de reflectividad que va a obtener el sensor del satélite Landsat para las diferentes superficies.



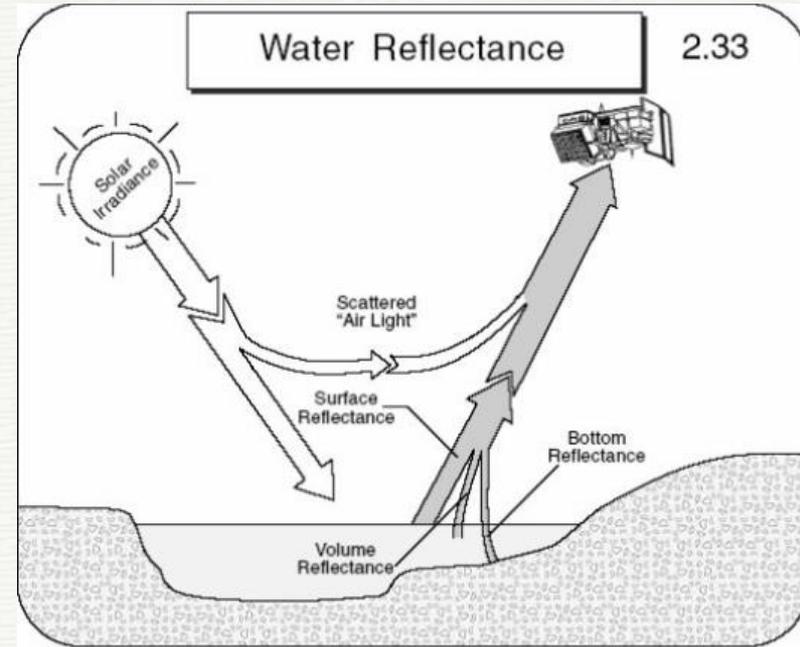
La firma espectral es la medida cuantitativa de las propiedades espectrales de un objeto en una o varias bandas espectrales.



# Curvas de reflectancia espectral Agua

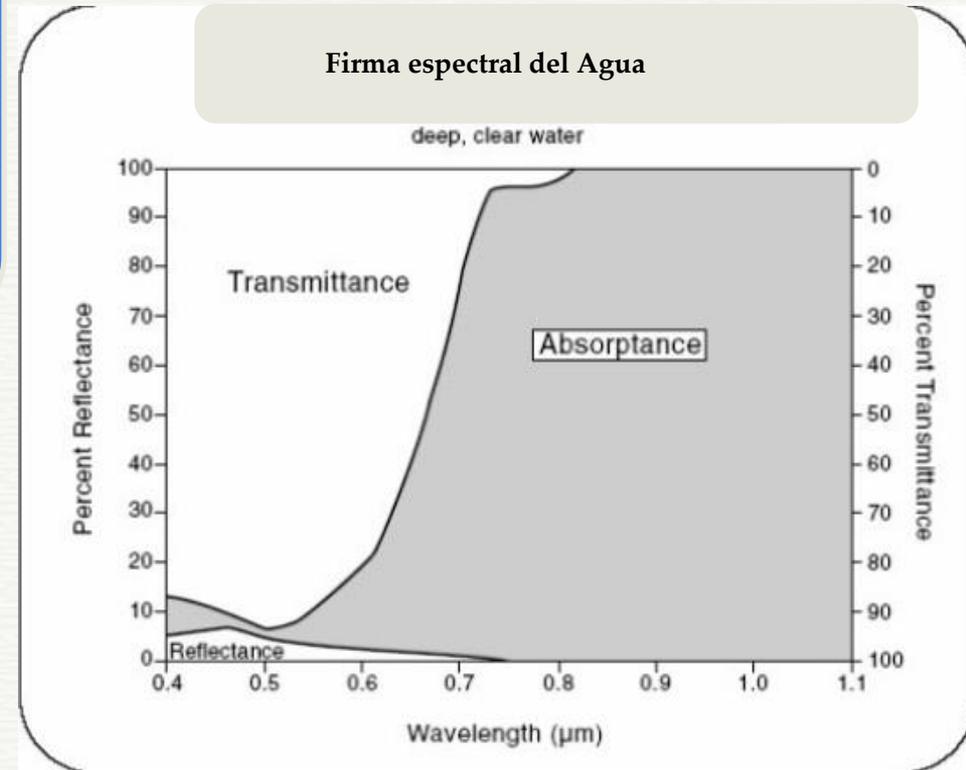
Dependerá principalmente, de su pureza y de la presencia de diferentes partículas en suspensión (aluviones, algas...). El agua pura tiene excelentes propiedades en relación con la transmisión de la radiación electromagnética en el espectro visible y de absorción en el infrarrojo.

No obstante, **la reflectancia** presentará un pico en el verde, que irá reduciéndose hasta el infrarrojo. Esta falta de reflectividad en el infrarrojo es fundamental para distinguir entre áreas de tierra y agua tanto en costas como en lagos o ríos. Al aumentar la profundidad del agua, la reflectancia disminuye en cualquier longitud de onda.



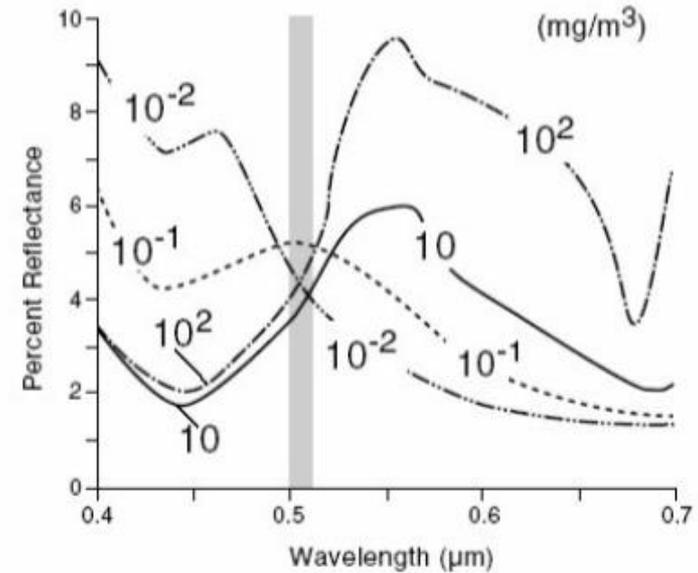
La reflectancia aportará información fundamental sobre el agua en tres aspectos principales: especular, del fondo y del volumen de agua (contiene información sobre la calidad del agua). Por consiguiente, variaciones tanto en la columna de agua como en los materiales del fondo van a alterar la respuesta.

Por ejemplo, un fondo de arena clara proporcionará una mayor reflectancia que un fondo compuesto por materia orgánica en descomposición.

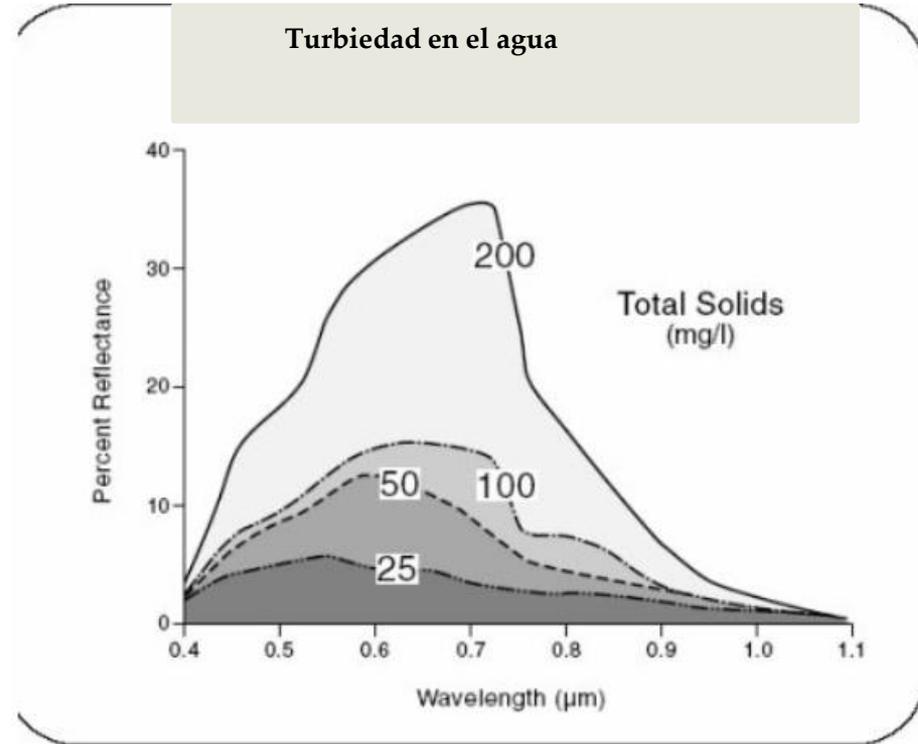


Cuando el agua presenta turbidez, las consecuencias sobre la respuesta espectral dependerán de las diferentes partículas en suspensión. Si se trata de clorofila, a medida que aumenta su concentración en el agua (por presencia de algas, fitoplancton) surgen importantes alteraciones en el verde (aumenta) y en el azul (disminuye).

## Presencia de clorofila en el agua

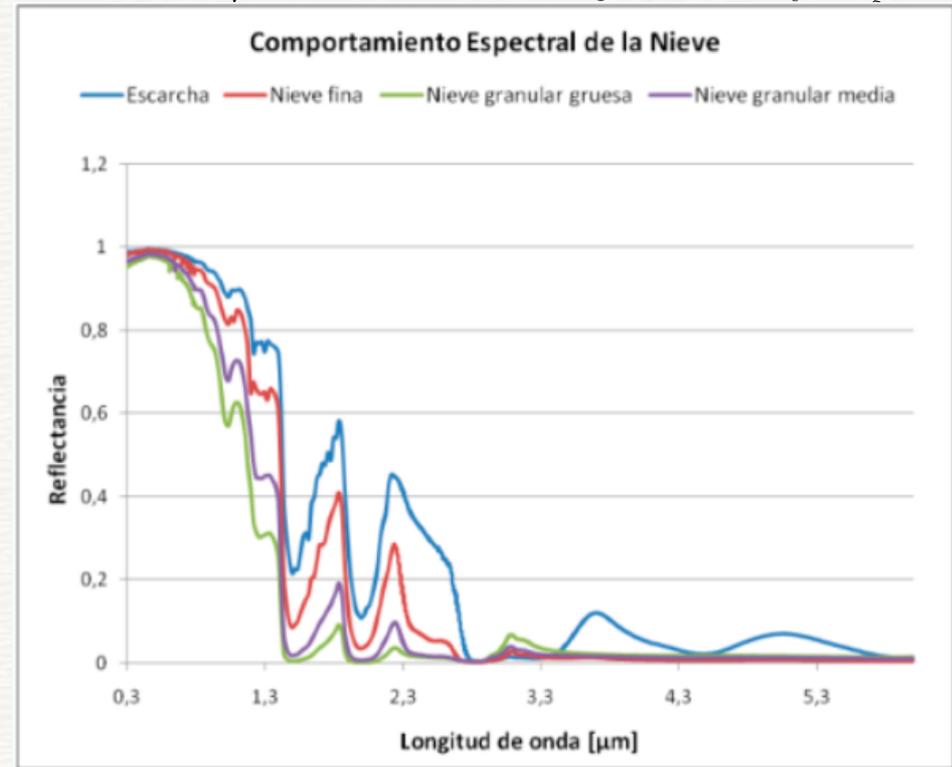


Si se trata de sedimentos inorgánicos, la reflectividad aumenta, especialmente en el rojo. Así, el pico de reflectancia se desplaza hacia longitudes de onda más altas cuanto mayor es la turbiedad. En relación con la reflectancia en volumen, en el agua clara es muy baja, pero en el agua turbia la reflectancia solar aumenta notablemente.



# Curvas de reflectancia espectral Nieve

La reflectividad en la nieve es completamente diferente a la del agua; posee un comportamiento altamente reflectivo en la sección visible del espectro electromagnético que va disminuyendo de forma notable hacia el infrarrojo cercano (imagen 39). Los factores que afectan este comportamiento son, entre otros, su grado de compactación, el tamaño de los cristales y el grado de pureza



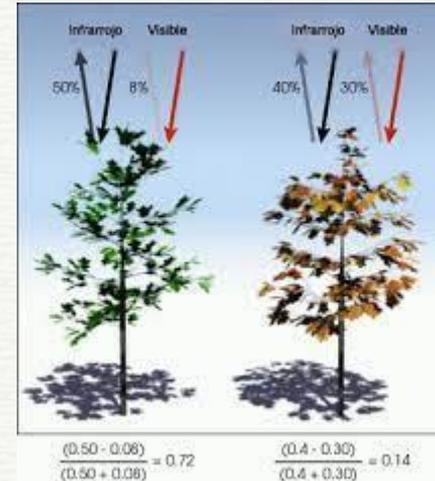
# Curvas de reflectancia espectral Vegetación

**Las propiedades reflectivas de la vegetación dependerán de tres tipos de variables:**

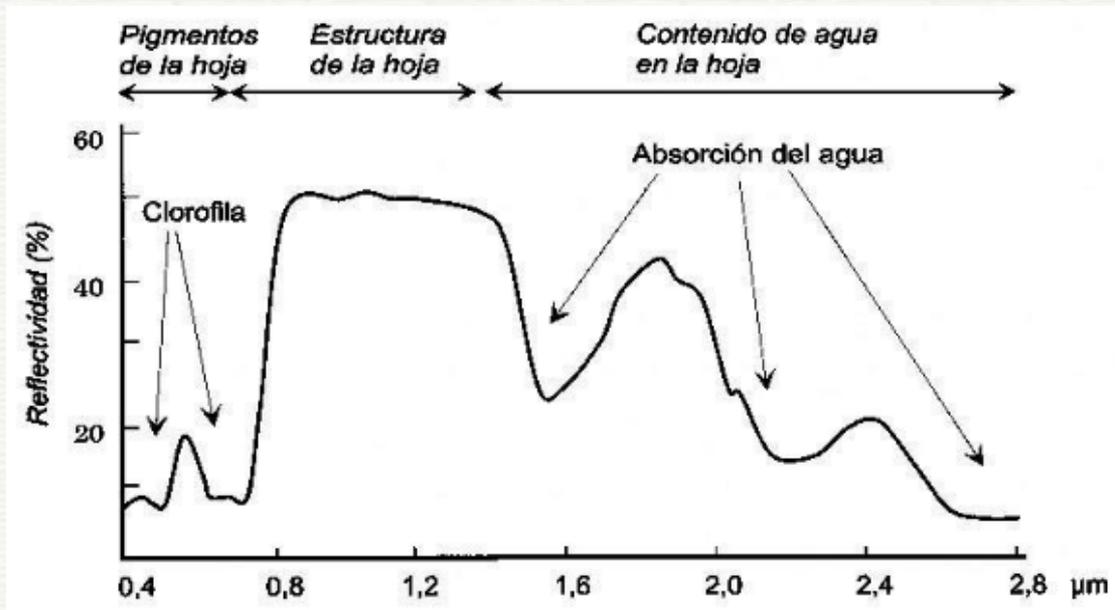
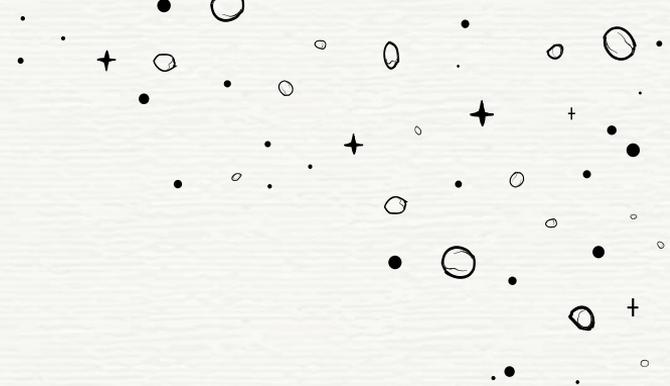
a) Estructura de la cubierta vegetal (fundamentalmente caracterizada por su índice foliar, por la orientación de las hojas y por su distribución y tamaño)

b) Propiedades ópticas de los elementos reflectantes (tallos, hojas, flores y frutos)

c) Geometría de la observación (determinada por la orientación relativa entre el Sol y la superficie y por la situación del sensor con respecto a esta última)



Aunque son las hojas, principalmente, las responsables de la respuesta espectral de las cubiertas vegetales, en algunas ocasiones influyen notablemente los tallos, las flores y los frutos, cuyas proporciones determinarán la signatura espectral de la cubierta. Como sucede en cualquier superficie parcialmente lambertiana, la radiación incidente es en parte reflejada especularmente y en parte dispersada.



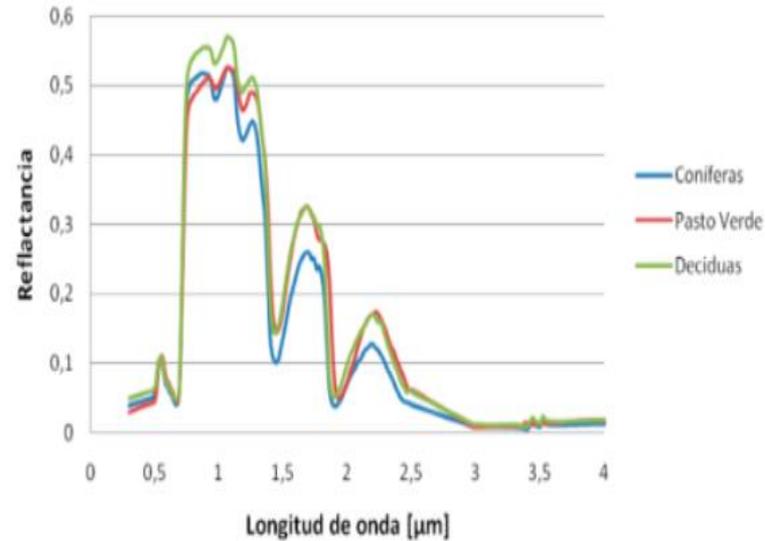
La responsable de la reflexión especular de la vegetación es la cutícula que cubre las hojas.



La luz no reflejada penetra en el interior de la hoja y es sucesivamente refractada, reflejada y difractada. Como resultado, la radiación emergente tiene un carácter difuso. Esta dispersión depende de la propia estructura de la hoja, de la composición de sus células y su grado de humedad.



Comportamiento Espectral de la Vegetación



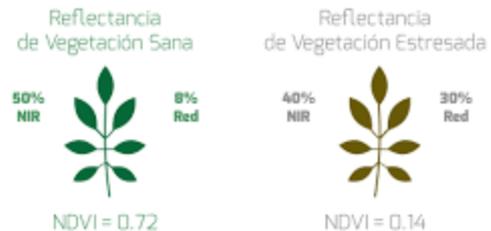
# la firma espectral de una masa de hojas permite conocer que:

En el intervalo visible-infrarrojo medio, las hojas muestran tres zonas diferenciadas: una en el visible (0.4-0.7 mm) de baja reflectancia, otra en el infrarrojo próximo (0,7-1,3 mm) de reflectancia alta y otra en el infrarrojo medio (1.3-2.5 mm) donde la reflectancia desciende progresivamente.

En el visible, la reflectancia de las hojas no supera el 15 % y la transmitancia es también baja. Esto es consecuencia de las fuertes bandas de absorción que los pigmentos fotosintéticos (clorofilas, xantofila, antocianinas y carotenos) tienen en este intervalo espectral. Entre ellos, las clorofilas a y b (las más absorbentes con un 65 % del total) presentan dos bandas de absorción centradas en el azul y en el rojo produciendo un máximo relativo en la firma espectral en torno a los 0.55 mm, responsable del color verde de las hojas.

En el infrarrojo próximo las hojas presentan alta reflectancia (alrededor del 50 %). De la energía restante, la mayor parte es transmitida, ya que la absorbancia es solo del 10 %. Puede considerarse prácticamente transparente en esta región del espectro. Es necesario tener en cuenta que la energía transmitida podrá ser interceptada por otra hoja, será reflejada con mayor probabilidad y así sucesivamente.

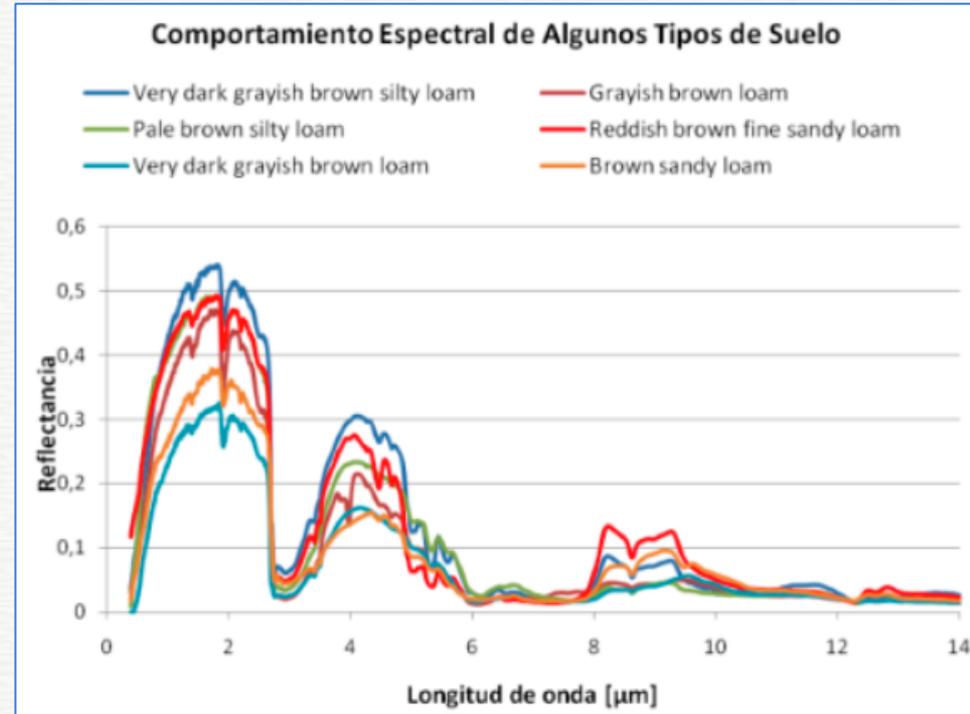
En el infrarrojo medio, la presencia de agua en las hojas produce tres fuertes bandas de absorción en la firma espectral resultante, al igual que ocurre con los suelos: 1.4, 1.9 y 2.5 mm. El agua en los tejidos vegetales absorbe la radiación en diversas longitudes de onda hasta alcanzar valores de  $\alpha = 0.9$  que afectan incluso a las longitudes de onda vecinas de aquellas en las que se produce máxima absorción (Ormeño, 2006).

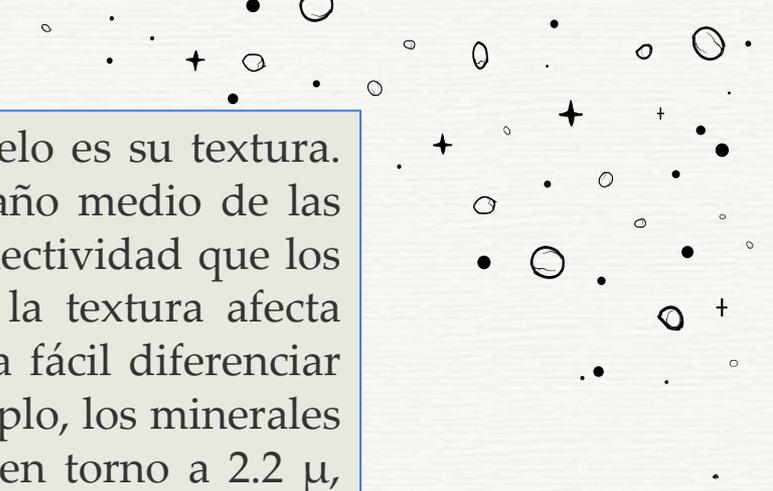


$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

## *Curvas de reflectancia espectral Suelo*

El comportamiento espectral del suelo es relativamente sencillo: toda la energía se absorbe o refleja, ya que la transmisión es nula. La reflectividad es relativamente baja en todas las bandas aunque va aumentando hacia el infrarrojo. Cuando mayor es el contenido de agua, mayor es la reflectividad, excepto en las regiones en las que el agua absorbe energía; por tanto, cuanto mayor sea el contenido de agua en el suelo, mayor será la disminución en reflectividad de estas regiones.





Otro elemento que afectará la respuesta espectral del suelo es su textura. Existe una mayor reflectividad cuanto mayor es el tamaño medio de las partículas de suelo (los suelos arenosos tienen mayor reflectividad que los arcillosos). Sin embargo, hay que tener en cuenta que la textura afecta también el contenido de humedad, por lo que no resulta fácil diferenciar entre ambos elementos con imágenes de satélite. Por ejemplo, los minerales de la arcilla tienen una disminución de la reflectividad en torno a  $2.2 \mu$ , reducción que no tienen las arenas.

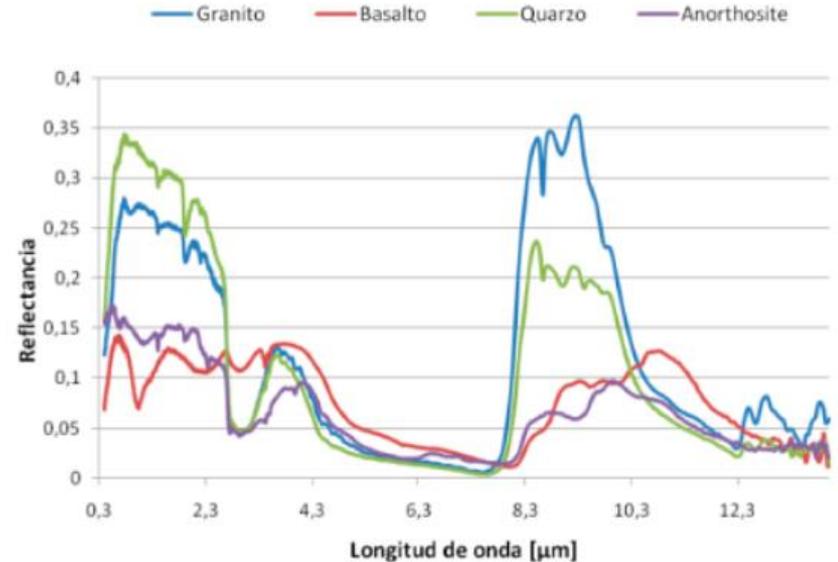
El contenido en materia orgánica también afecta a la reflectividad. Cuanto mayor sea el contenido de la misma en el suelo y cuanto menos descompuesta se encuentre, el suelo se presentará más oscuro, con una menor reflectividad.

La composición química y mineralógica también influirá en la respuesta espectral. En general, el comportamiento de los minerales está asociado a su color.

Así, los minerales blancos presentan una reflectancia muy fuerte y, por el contrario, los minerales oscuros son muy absorbentes y reflejan poca luz en toda la extensión del espectro.

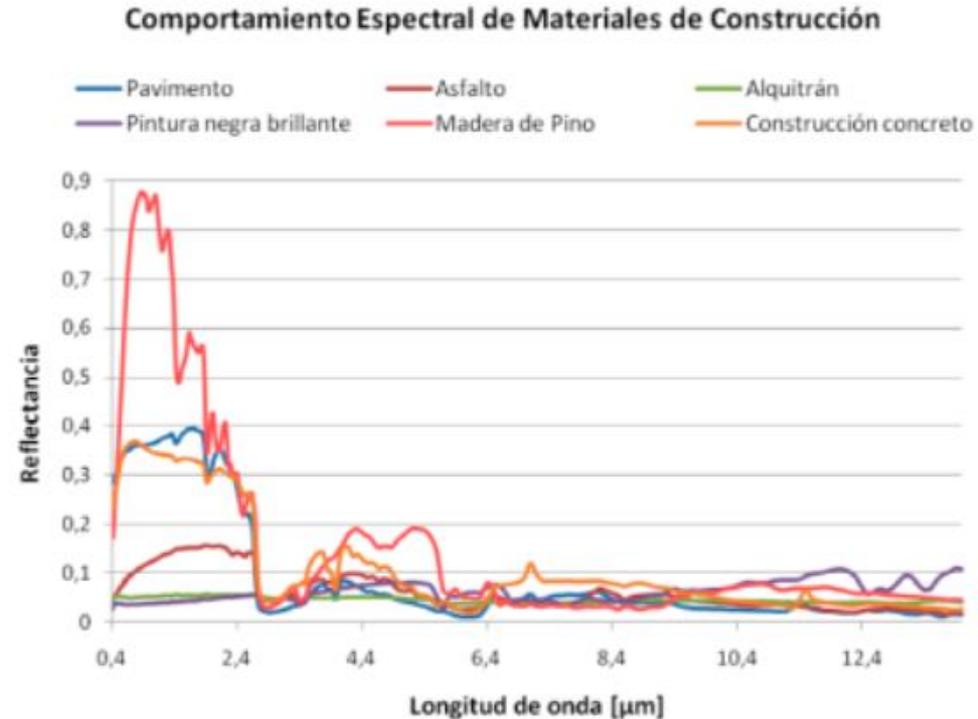
Las micas, por su parte, tienen baja reflectancia, particularmente la biotita, una mica negra que presenta una absorción cercana al 95 %.

Comportamiento Espectral de Algunos Minerales

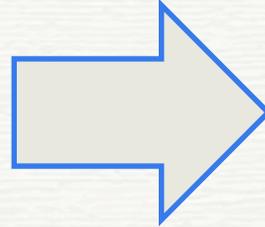


# Curvas de reflectancia espectral urbanos de construcción

Los diferentes elementos del ambiente urbano poseen comportamientos espectrales bastante heterogéneos relacionados con su naturaleza y color. Habitualmente, los diferentes tipos de asfaltos y cementos (elementos “calientes”) presentan una gran absorción en la sección térmica del espectro electromagnético. La madera, por su parte, presenta variaciones en su comportamiento dependiendo del color y la forma e intensidad con la que fue secada.



En la superficie terrestre el **70% está compuesta por vegetación**, es por esto que las rocas y los suelos expuestos no son detectables directamente debido a la gran densidad vegetal que tapa esta superficie; es por ello que con el conocimiento de las curvas de reflectancia los suelos se diferencian de la vegetación por la presencia de materia orgánica y por el contenido de humedad que posee además de otros factores físicos como puede ser su textura y estructura.

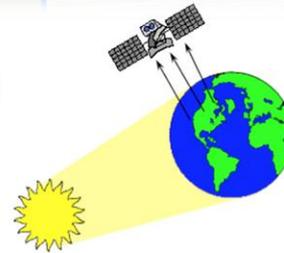


# Sistemas espaciales de teledetección

Un sistema de teledetección necesita, al menos, tres componentes para funcionar:

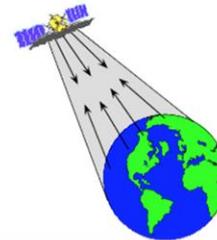
- A. un foco de energía,**
- B. la superficie terrestre y**
- C. un sensor.**

**- pasivos**



- sensores fotográficos.
- sensores óptico-electrónicos.  
(exploradores de barrido y empuje,  
cámaras de vidicon, cámaras de video)
- sensores de antena o radiómetros de  
microondas.

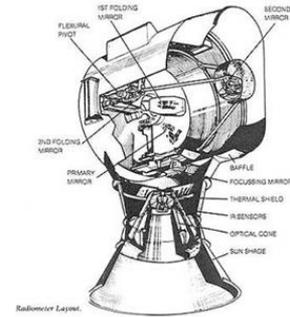
**- activos**



- radar (0.1 cm - 1 m)
- lidar (visible-IRC)

# Sensores de Teledetección

Los sensores de Teledetección son instrumentos que transforman la radiación electromagnética en información perceptible y analizable.



## Tipos de sensores

**Captadores activos:** poseen fuentes internas que generan artificialmente la radiación (radar).

**Captadores pasivos:** detectan la radiación electromagnética emitida o reflejada de fuentes naturales

También podemos clasificar los sensores en:

**No generadores de imágenes:** Trabajan en una sola longitud de onda y entre ellos se encuentran el altímetro y el magnetómetro.

**Generadores de imágenes:** Operan en varias bandas, barriendo por franjas perpendiculares al desplazamiento del satélite.

## Sensores pasivos

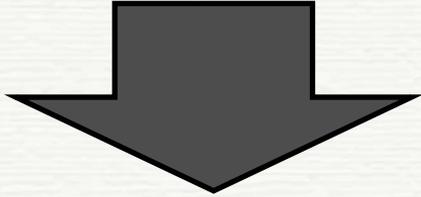
La percepción remota pasiva implica que la fuente de energía es el Sol, y el captador sólo mide la radiación reflejada. En este caso sólo puede realizarse durante las horas soleadas de día, ya que por la noche o cuando hay nubes que se interponen no es posible realizar observaciones.

Muchos sensores pasivos tienen sensibilidad multiespectral, lo cual significa que recogen simultáneamente datos de diferentes bandas espectrales. Las mediciones sobre diferentes zonas del espectro electromagnético, aportan una amplia información sobre distintos aspectos del medio ambiente.

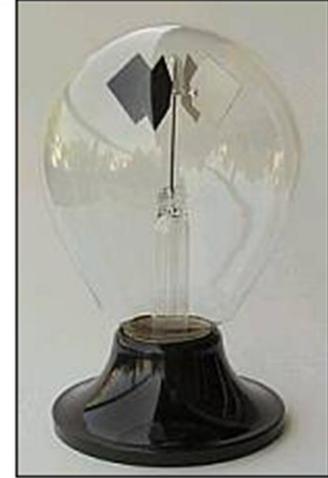
Por ejemplo, la radiación ultravioleta se utiliza para monitorizar los niveles de ozono en las capas altas de la atmósfera. Las bandas visible e infrarrojas permiten determinar la salud de la cubierta vegetal (cultivos, bosques). Los captadores sensibles a la radiación infrarroja térmica sirven para determinar la temperatura del suelo, de las nubes, y de la superficie de los mares.

## Sensores pasivos

Existe un amplia gama de ellos: sistemas fotográficos, radiómetros multi y hiperespectrales, espectrómetros de imagen.



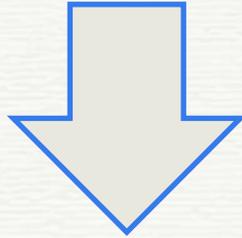
Un radiómetro, es un sistema óptico-electrónico, que descompone la radiación recibida en varias longitudes de onda (bandas). Cada una de estas bandas se envía a un conjunto de detectores sensibles a esa región del espectro que la amplifican y la convierten en señal eléctrica y por un proceso de conversión analógico-digital, en un valor numérico conocido como Nivel Digital (ND).



Radiómetro de Crookes. Constituye el más sencillo aparato para medir la radiación electromagnética. Expuesto a la luz las aspas del molinillo giran.

# Sensores activos

La percepción remota activa se da en los casos en que el mismo satélite lleva una fuente emisora de energía, por ejemplo un radar, que envía hacia el objetivo y mide el eco producido. El radar atraviesa la cobertura de nubes lo que facilita la obtención de imágenes independientemente de las condiciones meteorológicas, tanto de día como de noche.



Aunque las imágenes de radar son más difíciles de analizar, complementan los datos de la percepción remota pasiva y ofrecen información adicional sobre otros aspectos como la topografía del terreno.

# Sensores activos

Entre los sensores activos, distinguimos el radar y el lidar:

El radar trabaja en una banda del espectro comprendida entre 1 mm y 1 m.

Se basa en el principio de que las microondas artificiales enviadas en una dirección determinada chocan con los objetos y son dispersadas.



La energía dispersada se recibe, se amplifica y se analiza para determinar la localización y las propiedades de los objetos. Puesto que puede medirse también el tiempo que tarda un pulso de radiación en ir y volver, puede conocerse la distancia recorrida y generar así modelos digitales de elevaciones. El radar es insustituible en zonas con cobertura nubosa persistente, debido a su capacidad para atravesar las capas nubosas.

## Sensores activos

El uso de longitudes de onda mayores, que no se encuentran en los espectros solar o terrestre, implica la necesidad de utilizar sensores activos, es decir aquellos que generan su propio flujo de radiación.

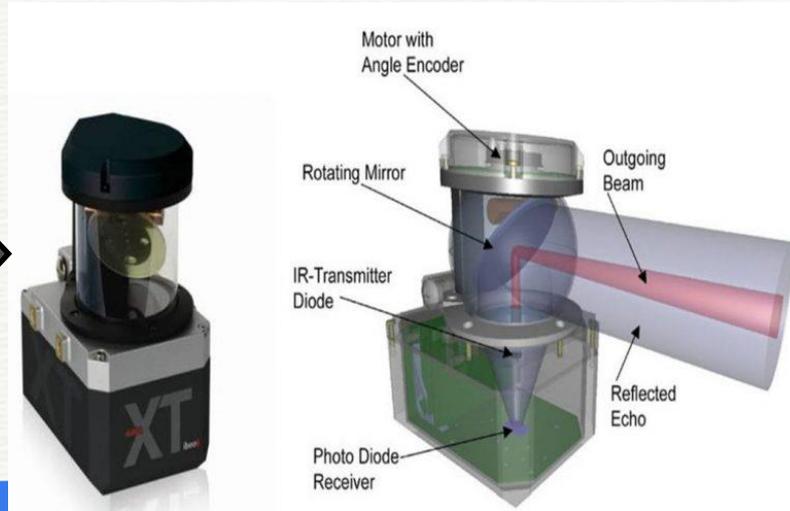
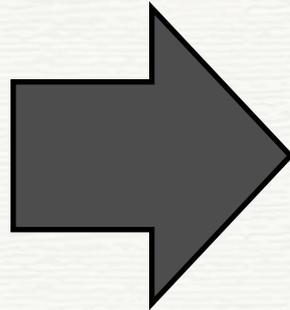
Su mayor ventaja es que debido a su elevada longitud de onda (muy superior al tamaño de las gotas de agua en la atmósfera) no resulta absorbida por esta, además al ser un haz artificial puede manipularse la forma en que se emite para, así, obtener el máximo de información.

Las señales de radar se usan, entre otras aplicaciones, para el seguimiento de la retracción de los casquetes polares, como indicador del calentamiento global.

## Sensores activos

Ejemplos: El radar transportado por el satélite canadiense Radarsat y los satélites de la serie ERS de la Agencia Espacial Europea (ESA).

El Lidar ( Light Detection And Ranging) es un captador activo, análogo al radar pero con tecnología laser. Se utiliza para topografía de precisión desde aviones.



# El radar

Es un sensor de alcance y detección de radio activo que proporciona su propia fuente de energía electromagnética. De este modo, no requiere iluminación solar de las superficies o de unas condiciones climáticas perfectas para recopilar datos útiles. Por ello, puede implementarse por la noche o en condiciones de bruma, nubes o lluvia ligera (dependiendo de la longitud de onda del sistema).



Un sensor de radar activo, ya sea aéreo o espacial, emite radiación de microondas en una serie de pulsos desde una antena.

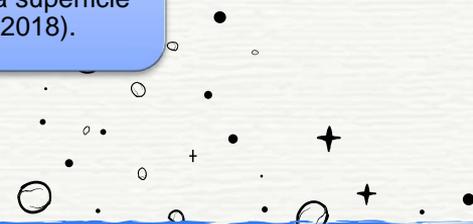


Cuando la energía alcanza el objetivo, parte de la energía se refleja, de vuelta, hacia el sensor. Esta radiación de microondas retrodispersada se puede detectar, medir y cronometrar.

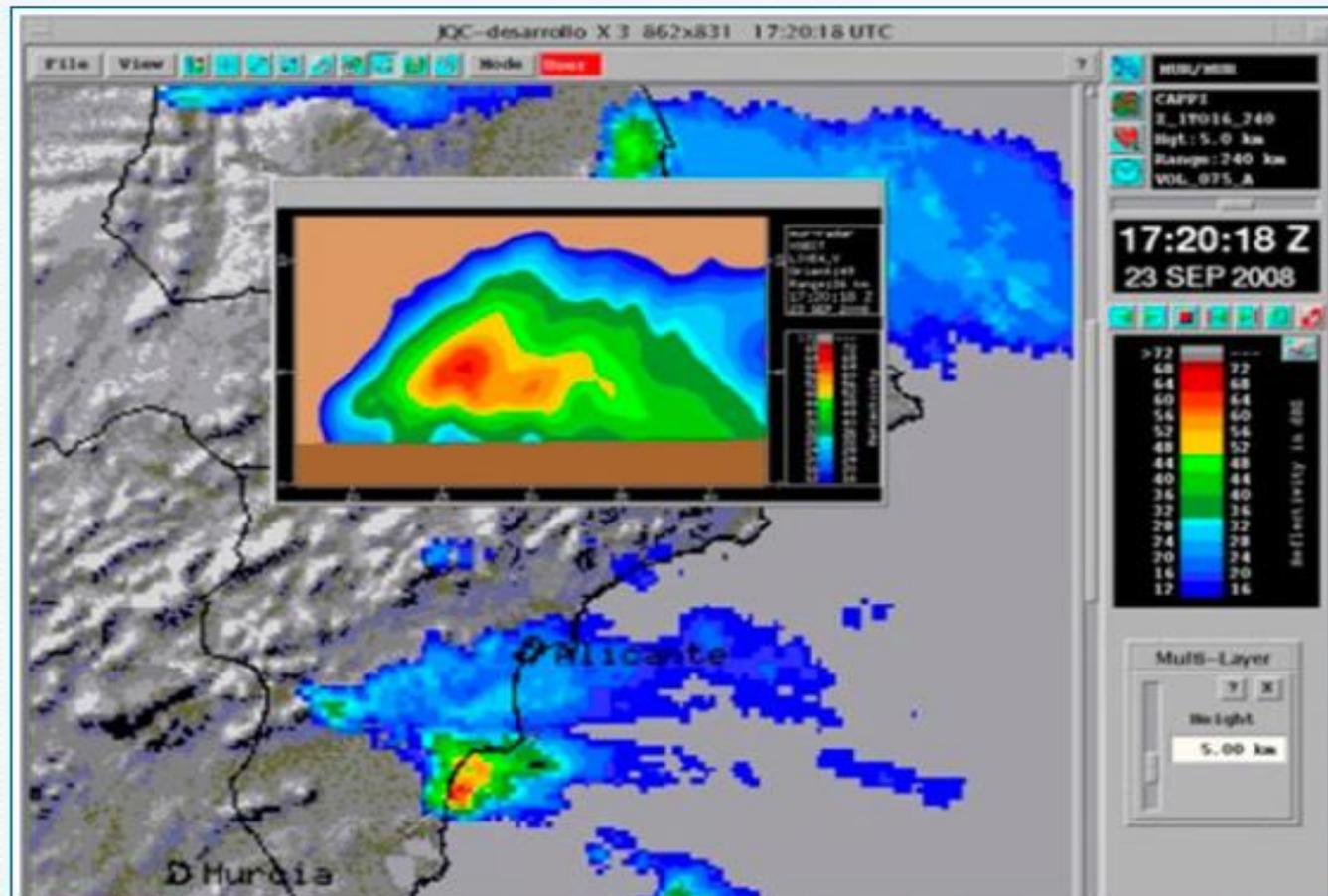


El tiempo requerido para que la energía viaje al objetivo y regrese al sensor determina la distancia o el alcance del objetivo. Al registrar el rango y la magnitud de la energía reflejada desde todos los objetivos a medida que el sistema pasa, se puede producir una imagen bidimensional de la superficie (CCPO, 2003; NASA, 2018).

Instalaciones de la estación radar situada en el Pico Mijas (Málaga, España)



Observación de una tormenta en Elche, España, el 23 de septiembre de 2008 con el nuevo sistema de observación radar

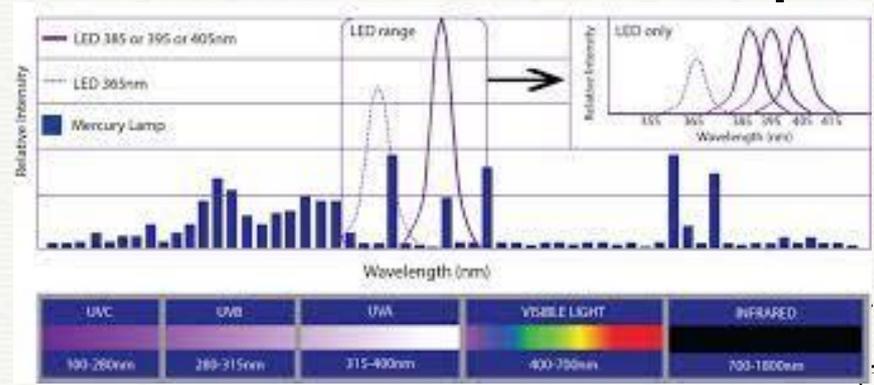


# Los sistemas lidar (detección y alcance de luz)

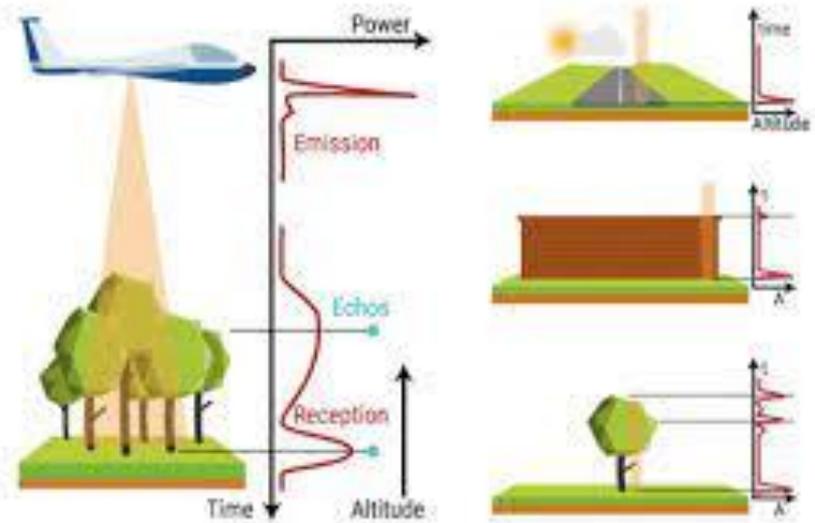
- Utilizan la luz láser como fuente de iluminación (amplificación de luz por emisión de radiación estimulada), un radar para transmitir un pulso de luz y un receptor con detectores sensibles para medir la luz retrodispersada o reflejada.
- El láser emite un breve pulso de luz y un detector recibe la energía de la luz (fotones) después de que un objeto o superficie la haya reflejado, absorbido y remitido. Los sistemas lidar emiten pulsos a longitudes de onda específicas y estrechas que dependen del tipo de transmisor láser utilizado



- El rango de longitudes de onda posible es de aproximadamente 0.3 a 1.5  $\mu\text{m}$ , que cubre el espectro espectral ultravioleta a través del infrarrojo cercano. Los sistemas lidar más simples miden el tiempo de viaje de ida y vuelta de un pulso láser, que está directamente relacionado con la distancia entre el sensor y el objetivo.

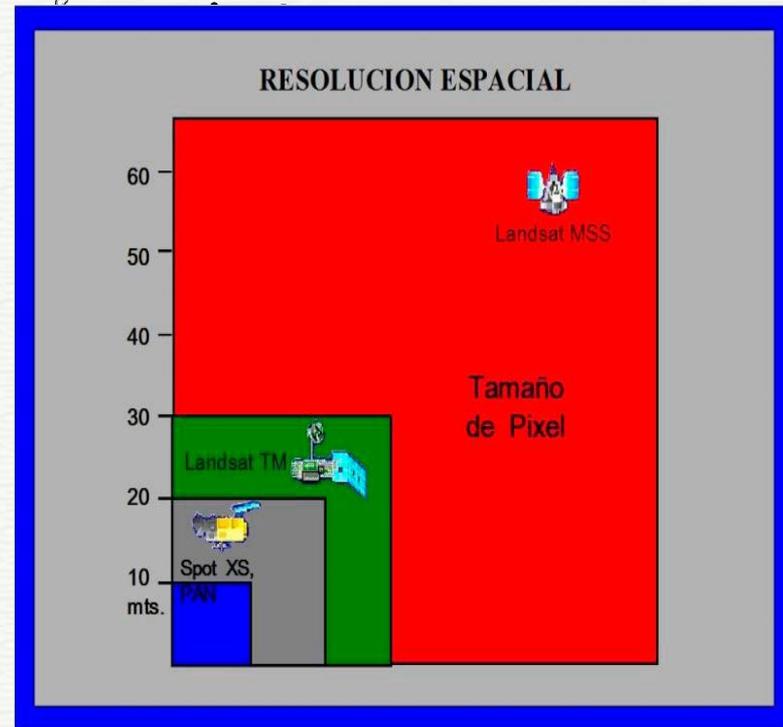


- La distancia al objeto se determina al registrar el tiempo entre los pulsos transmitidos y retro dispersados y al utilizar la velocidad de la luz para calcular la distancia recorrida.
- Los lidar de medición de distancia básica a menudo se conocen como telémetros o como altímetros láser si se despliegan en una aeronave o nave espacial.
- Estos sistemas suelen medir la elevación, la pendiente y la rugosidad de las superficies de tierra, hielo o agua (CCPO, 2003; NASA, 2018).



# Resolución espacial

- Define la capacidad del sistema para distinguir objetos en función de su tamaño. Es decir, la resolución espacial suele interpretarse como el tamaño del objeto más pequeño que puede ser distinguido en una imagen: el tamaño del píxel sobre el terreno. La resolución espacial dependerá de una serie de factores: a) la altura del sensor con respecto a la Tierra, b) el ángulo de visión, c) la velocidad de escaneado y d) las características ópticas del sensor (Pérez Gutiérrez y Muñoz Nieto, 2006).
- Como se señalaba anteriormente, la resolución espacial es el tamaño del píxel. En algunos casos se emplea el concepto de IFOV (campo instantáneo de visión), que se define como la sección angular (en radianes) observada en un momento determinado



Es necesario tener en cuenta la relación entre la resolución espacial y la escala espacial a la que ocurren los fenómenos que se quieren observar. Entre ambas tiene que darse una buena equivalencia (Pérez Gutiérrez y Muñoz Nieto, 2006). No obstante, en algunas ocasiones resulta útil contar con un tamaño de píxel más grande, ya que con ello se reduce la variabilidad de categorías. La tabla siguiente recoge la resolución espacial de algunos sensores.

**Tabla 3. Resolución espacial de algunos sensores**

Satélite	Sensor	Resolución espacial
Quickbird		0.61 m
Ikonos		1 m
Orbview 3		1 m
SPOT 5		2.5 m
SPOT 3	HRV pan	10 m
Landsat 7	ETM + pan	15 m
Landsat 5	TM pan	30 m
MOSS	VTIR	900 m
NOA	AVHRR	1100 m
Meteosat	VISSR	5000 m

Fuente: <<https://geomaticaysig.blogspot.com/2014/08/adquisicion-de-datos-geomaticos-desde.htm>>

# Resolución espectral

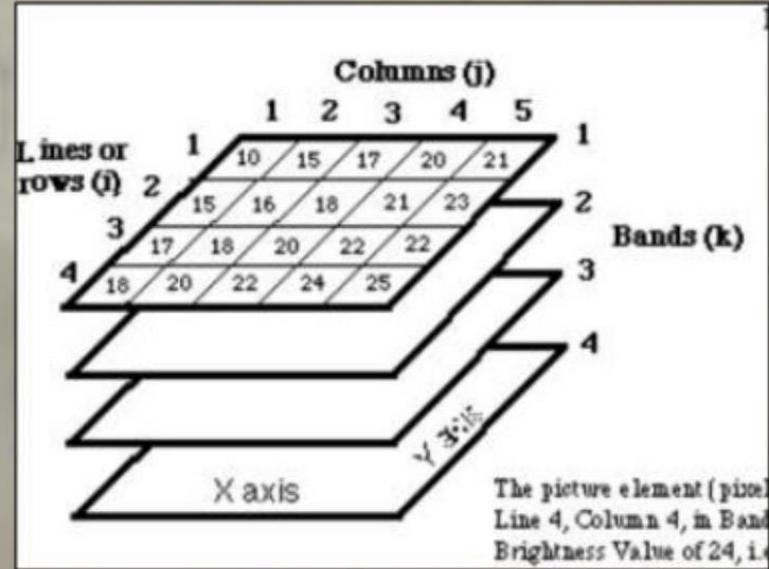
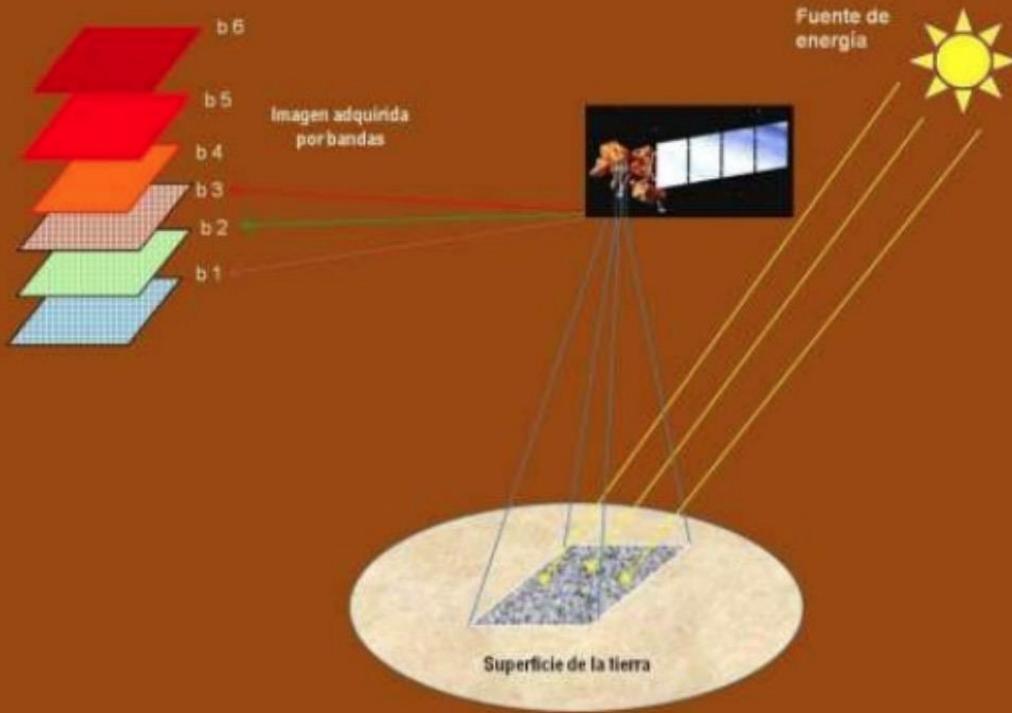
La resolución espectral indica el número de canales espectrales (y su ancho de banda) en los que el sensor puede captar radiación electromagnética.

En principio, cuantas más bandas incluya un sensor más información podrá obtenerse, ya que cada banda constituye una variable para caracterizar la superficie captada.

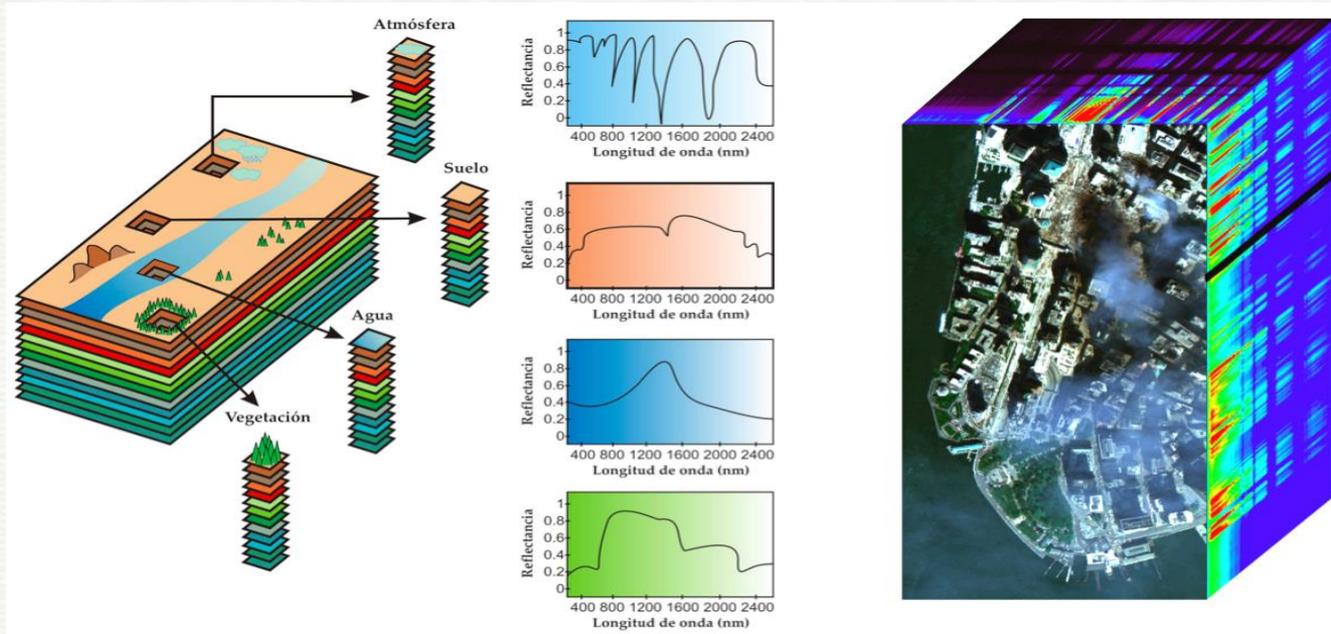
Por ejemplo, se obtiene más información al tener tres bandas en el visible (rojo, verde, azul) que con una sola banda (fotografía en blanco y negro).

En relación con su tamaño, es preferible que estas bandas sean estrechas para que se incremente su capacidad discriminante. Si las bandas son demasiado anchas van a recoger valores promediados que encubrirán elementos de diferenciación. El número de bandas y su localización en el espectro dependerán de los objetivos que se pretendan cubrir con la puesta en funcionamiento del sensor.

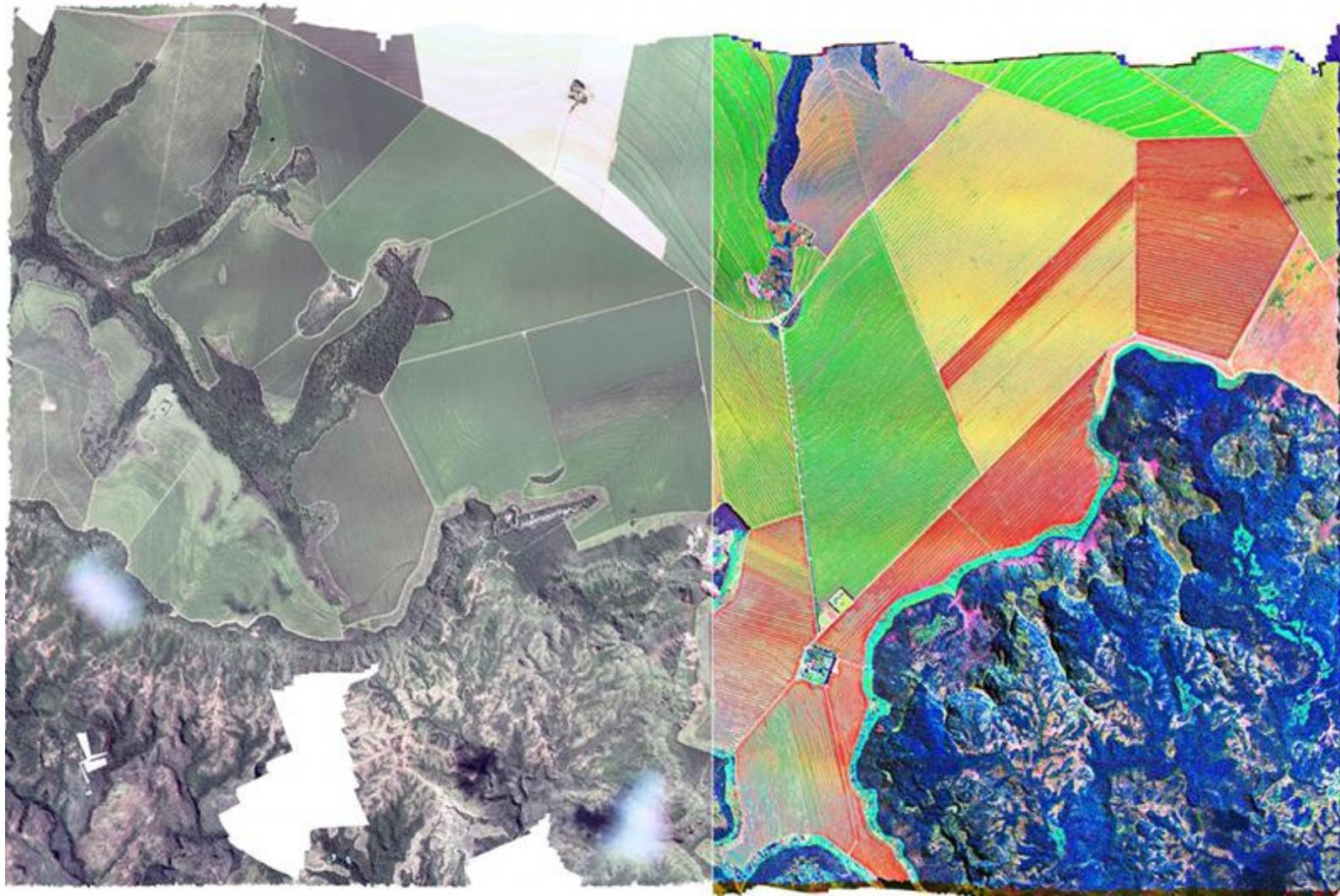
## CONCEPTO DE BANDAS



Los nuevos sensores, llamados también "espectrómetros" o "hiperespectrales", llegan a tener hasta 256 canales con un ancho de banda muy estrecho (unos pocos nm) para poder separar de forma precisa distintos objetos por su comportamiento espectral

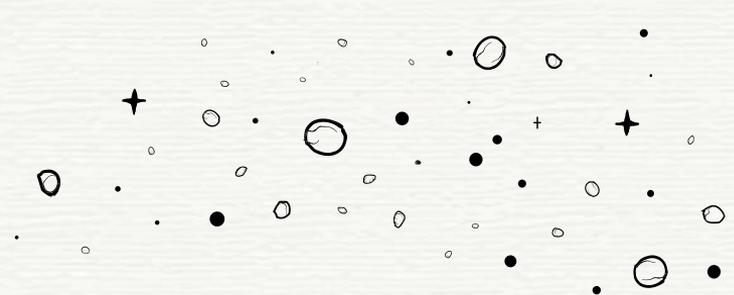
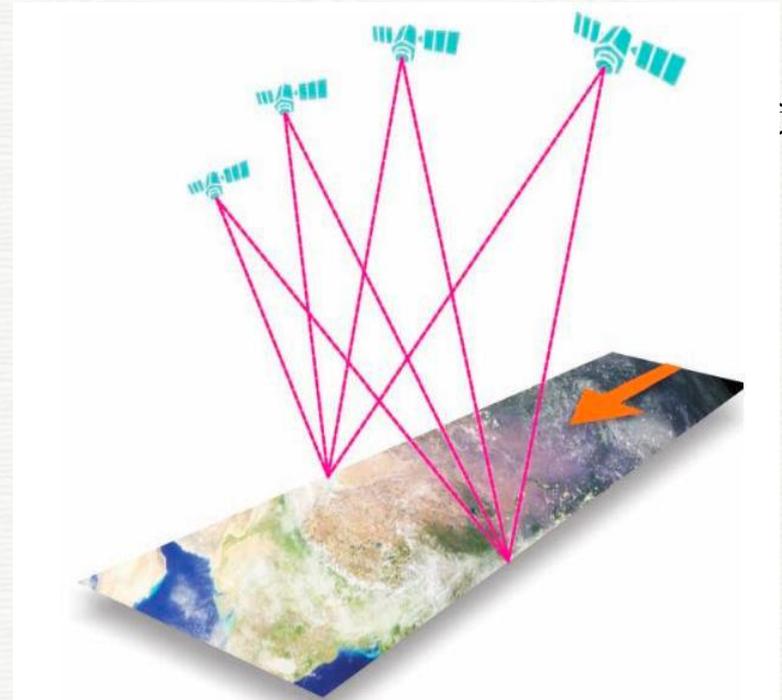


Las imágenes hiperespectrales permiten ver lo que nuestro ojo humano no ve. Esta cualidad tan especial las convierte en una herramienta muy eficaz para estudiar el cambio climático, detectar agentes contaminantes en aguas, controlar incendios forestales o analizar yacimientos geológicos (imagen 75). Son, además, imágenes de gran tamaño y dimensión, que ocupan mucho espacio de almacenaje (Martín Hernández, 2013).



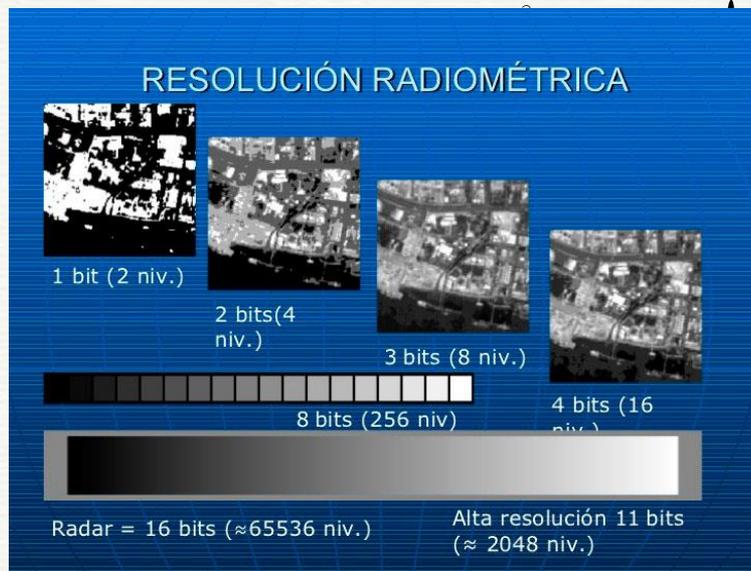
# Resolución temporal

- La resolución temporal indicará el intervalo de tiempo entre cada imagen obtenida por la plataforma. Esta temporalidad es de media hora en el caso de los satélites geosíncronos y variable en el caso de los satélites heliosíncronos).
- En la actualidad, existen satélites de muy alta resolución espacial con sensores orientables, de forma que la zona sobre la que captan imágenes es relativamente independiente de la posición que ocupe el satélite, con lo que la resolución temporal pasa a ser algo más flexible. Normalmente, a mayor resolución espacial, menor resolución temporal y espectral.
- No obstante, el problema reside en que al aumentar la resolución se multiplica el volumen de datos que el sensor debe (pre)procesar y enviar a las estaciones en tierra.



# Resolución radiométrica

- La resolución radiométrica se refiere a la sensibilidad del sensor, es decir, la capacidad de discriminar entre pequeñas variaciones en la radiación que capta.
- Se la llama a veces también "resolución dinámica". Suele expresarse mediante el número de bits necesarios que se precisan para almacenar cada píxel.
- Por ejemplo, Landsat-TM utiliza 8 bits lo que da  $2^8=256$  niveles de energía (niveles digitales, ND) que pueden ser captados. Landsat MSS, por otro lado, tiene  $2^6=64$  niveles de energía en el canal 6. Cuanto mayor sea la precisión radiométrica mayor número de detalles podrán captarse en la imagen.



# Resoluciones de los sensores

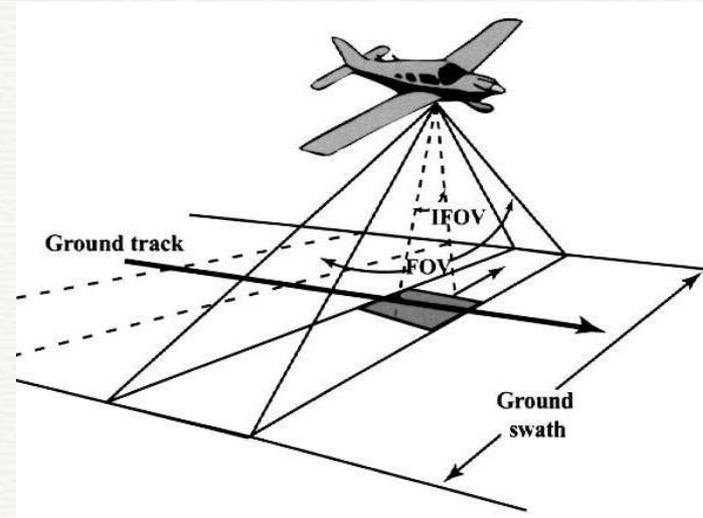
Se distinguen 4 tipos de resolución: espacial, espectral, temporal, radiométrica.

**Resolución espacial:** La resolución espacial es el tamaño del píxel, en algunos casos se emplea el concepto de IFOV (campo instantáneo de visión), que se define como la sección angular observada por un detector individual, ya que el tamaño del píxel en una escena es variable incrementándose conforme nos alejamos del punto nadir.

## Conceptos:

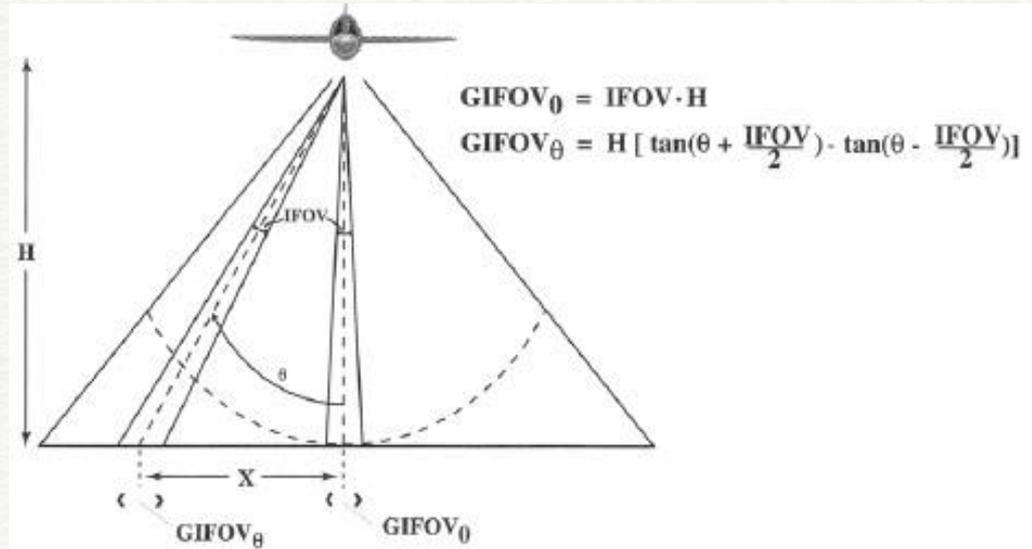
**FOV (Field of View):** Extensión angular de la imagen en la dirección perpendicular al avance del sensor.

**SWATH (Proyección del FOV):** Anchura de la imagen en la dirección perpendicular al avance.



Esquema de scanner en línea (ej: AVHRR, GOES)

# GIFOV (Ground Instantaneous Field of View): Proyección del IFOV en la superficie.



$\text{GIFOV} = H \cdot \text{IFOV}$

$H$ : altura de vuelo sobre el terreno

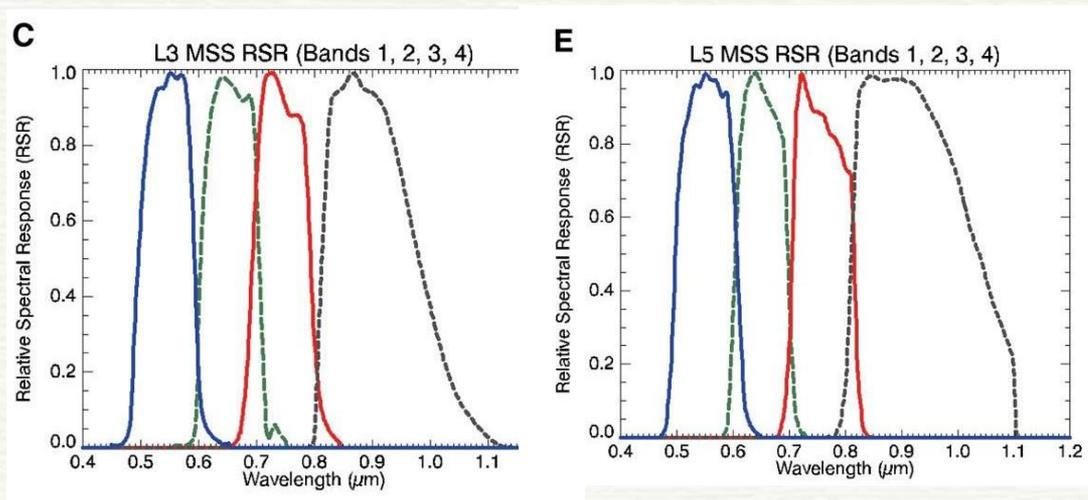
# *Resolución espectral:* Número de bandas y ancho de banda.

Cuantas más bandas incluya un sensor, mejor, ya que cada banda constituye

una variable para caracterizar la superficie captada.

Es preferible que estas bandas sean estrechas.

Si las bandas son muy anchas van a recoger valores promediados que ocultarán elementos de diferenciación.

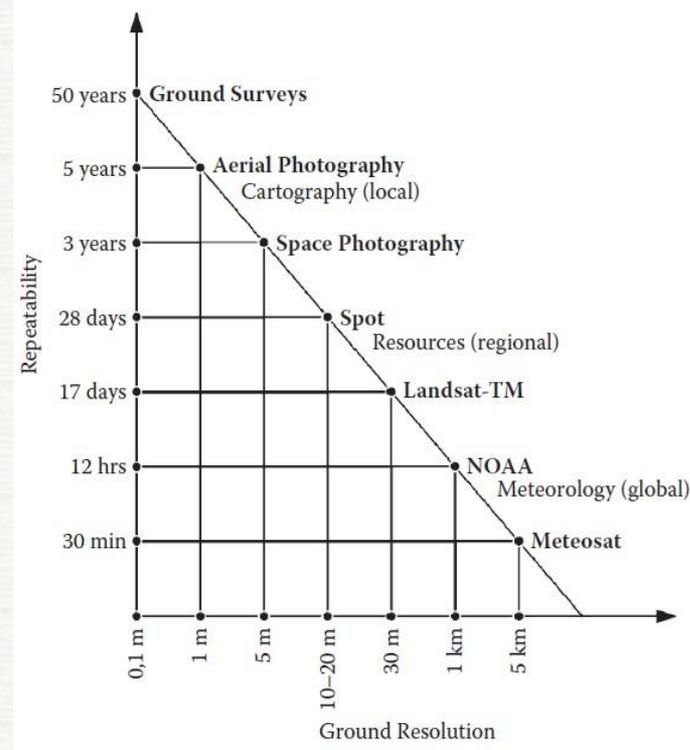


Ejemplo. Funciones filtro de los satélites Landsat 3 y 5, bandas del Visible e IRC.

# *Resolución temporal:* Frecuencia de cobertura, Periodo de revisita o ciclo de repetición.

La resolución temporal está condicionada por el tipo de órbita, el ángulo de barrido y la velocidad del satélite.

- Se refiere a la periodicidad con que un sensor capta imágenes de una misma zona.
- Indica el tiempo del paso del satélite sobre la vertical de un punto.



# Resolución radiométrica: Número

de niveles de gris (energía) distintos que registra el sensor.

Indica la sensibilidad del sensor, es decir la capacidad de discriminar entre pequeñas variaciones en la radiación que capta.

Se expresa en número de bits que es capaz de almacenar cada píxel.

Niveles de energía =  $2^n$

donde  $n$  es el número de bits del sensor

## Ejemplos:

LANDSAT, SPOT-5: 8 bits, valores de 0-255

Landsat 8: 12 bits (Valores de 0-4095)

SPOT 6 y 7: 12 bits

MODIS: 12 bits.

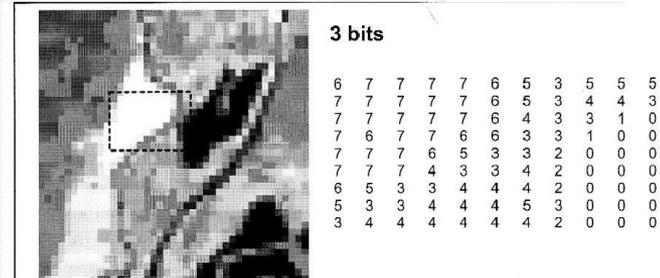
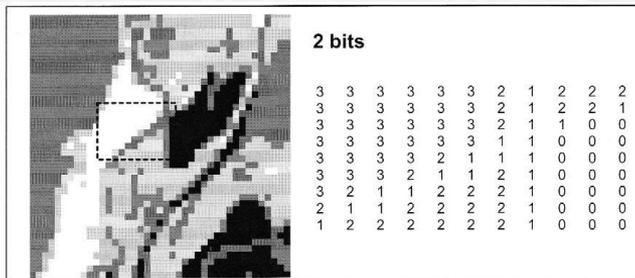
ASTER: 8 / 12 bits.



8bits (0-255)

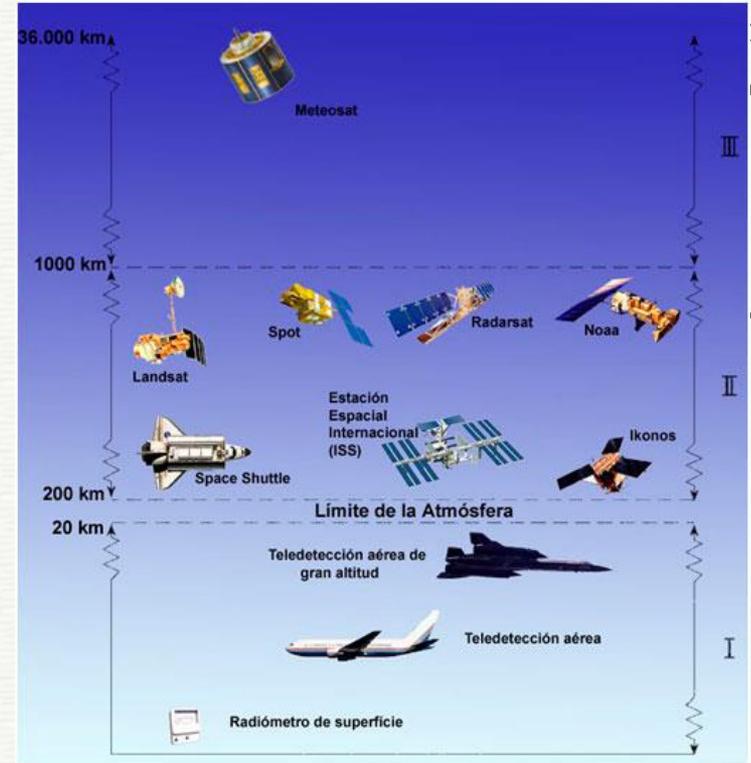


2bits (0-3)



# Plataformas

- Las plataformas son las estructuras o vehículos en los que se insertan los instrumentos de detección remota.
- La plataforma en la que se aloja un sensor en particular determina una serie de características que pueden condicionar el uso de ese sensor específico.
- Estas características son: la distancia a la que se encuentra el sensor del objeto de interés, la periodicidad de adquisición de la imagen, el tiempo de adquisición de la imagen y la ubicación y el alcance de la cobertura (Pérez Martínez, 2011).
- Hay tres categorías amplias de plataformas de detección remota: terrestres, aéreas y satelitales



# plataformas terrestres

Algunas de las más comunes son **los dispositivos de mano, trípodes, torres y grúas**.

Comúnmente utilizadas para medir la cantidad y la calidad de la luz que proviene del Sol o para la caracterización de objetos a corta distancia.

Este tipo de instrumento de teledetección remota es, a menudo, portátil o está colocado sobre un trípode u otro soporte) similar.

Las plataformas terrestres permanentes se usan normalmente para monitorear fenómenos atmosféricos, aunque también se utilizan para el monitoreo a largo plazo de las características terrestres (CCPO, 2003; Chuvieco, 1995).

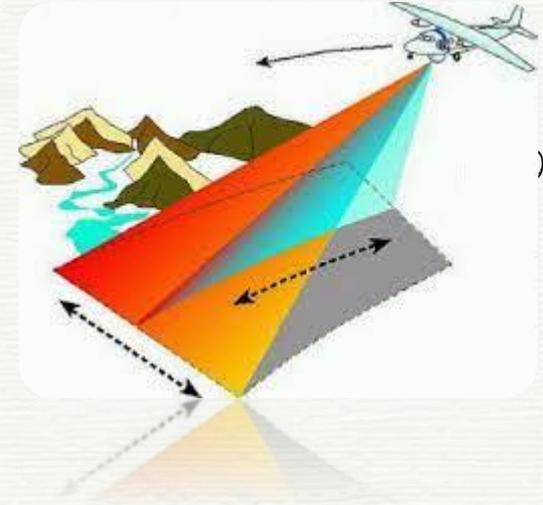


# las plataformas de aerotransporte

Más usadas son los aviones y los drones.

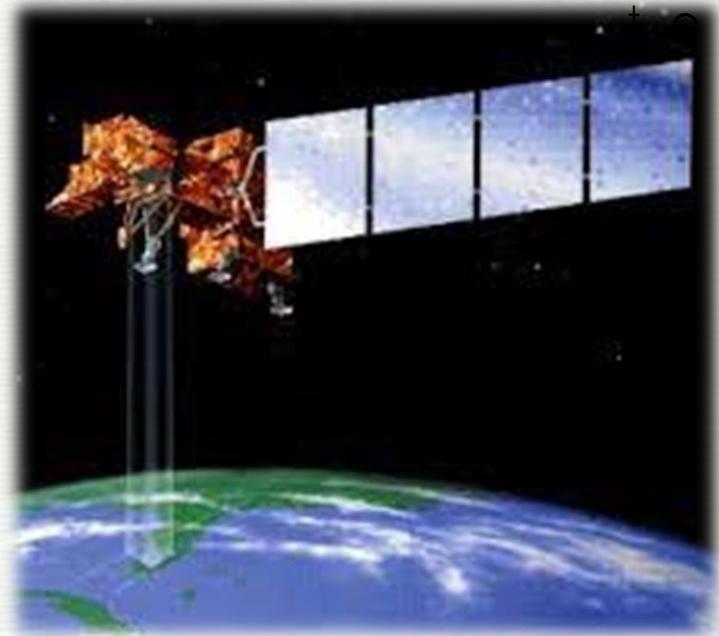
Casi todo el espectro de aviones civiles y militares se utiliza para aplicaciones de detección remota. Cuando los requisitos de altitud y estabilidad de un sensor no son demasiado exigentes, se pueden utilizar aviones simples o drones como plataformas.

Las aeronaves se dividen en tres categorías (baja, media y alta) según sus restricciones de altitud. En general, cuanto más alto puede volar un avión, más estable es su plataforma, pero, en consecuencia, más costoso de operar y mantener.



# plataformas satelitales

- Son las plataformas más estables para la teledetección.
- El primer satélite de teledetección se lanzó en 1960 con fines de meteorología.
- En la actualidad, los últimos datos de la NASA y de la Online Satellite Calculations señalan que hay cerca de 3500 satélites artificiales en pleno funcionamiento (de comunicaciones y teledetección remota) (NASA, 2018).



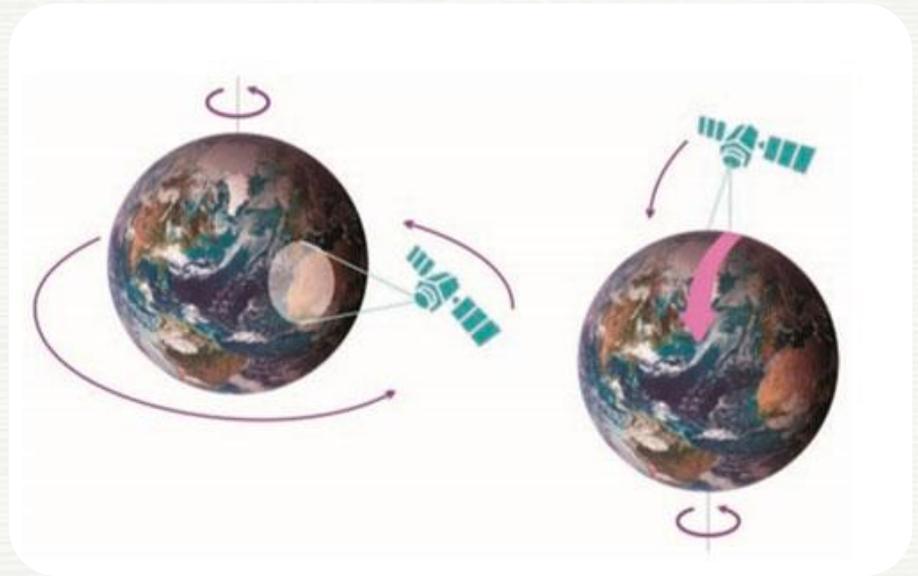
# Características orbitales de las plataformas de teledetección

Cuando se analiza las plataformas satelitales es necesario conocer la trayectoria que estos satélites describen alrededor de la Tierra:

**LA ÓRBITA.** Dicha órbita estará condicionada por las características y objetivos de los sensores de cada satélite, los principales factores determinantes son **la altitud, la orientación y la rotación** con respecto a la Tierra.

Los satélites describen dos tipos principales de órbitas: **las órbitas geoestacionarias y las órbitas cuasi polares**

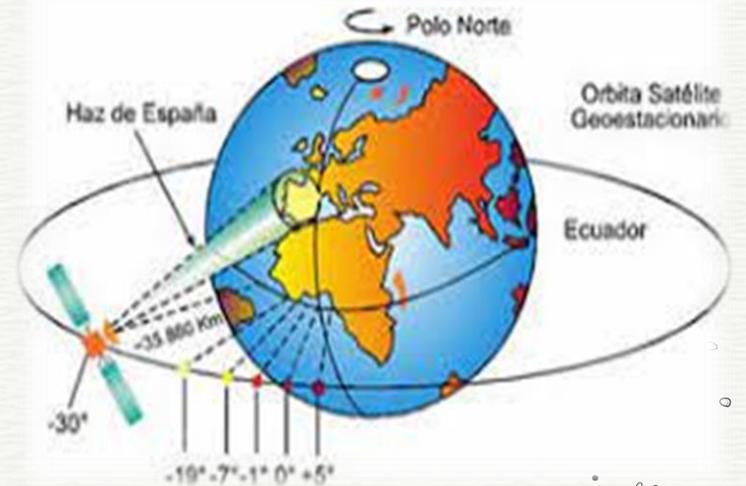
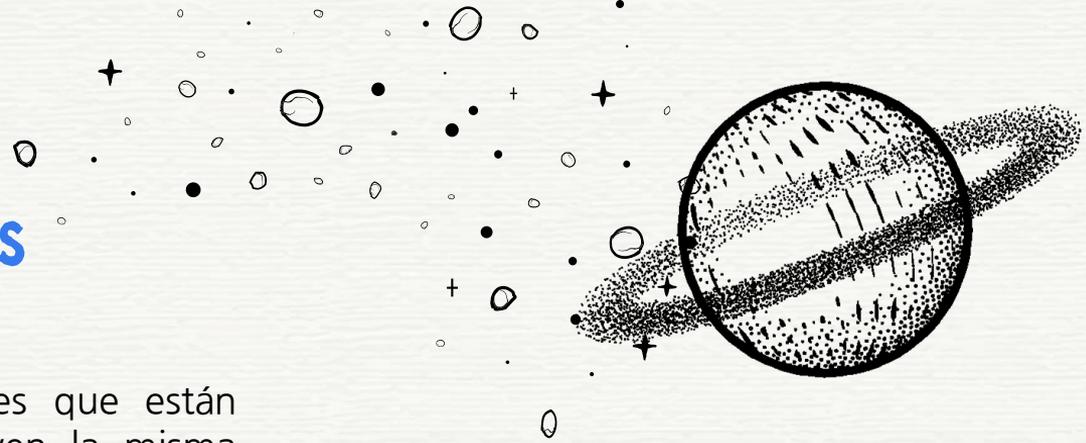
**Órbita geoestacionaria (izquierda). Órbita cuasi polar (derecha)**



# + Las órbitas geoestacionarias

Son aquellas que describen los satélites que están situados a grandes alturas y siempre ven la misma porción de superficie terrestre.

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.



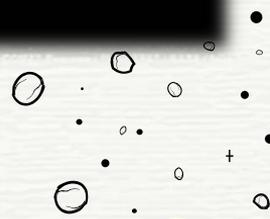
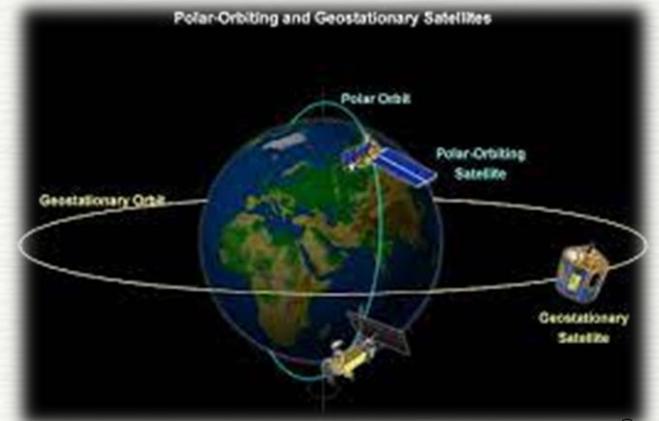


# Órbita cuasi polar

No obstante, la mayor parte de los satélites de teledetección son diseñados para describir una órbita de norte a sur que va a permitirles cubrir -en conjunción con la rotación de la Tierra (de oeste a este)-

una mayor parte de la superficie terrestre durante un periodo de tiempo concreto. Estas órbitas se denominan "cuasi polares" debido a su inclinación relativa con respecto a una línea trazada entre los polos norte y sur .

Es importante señalar que la mayor parte de los satélites de órbita cuasi polar son, además, **heliosíncronos**, es decir, cubren la misma área del mundo a una hora local fija del día: la hora solar local.



# AGENCIAS ESPACIALES

## AGENCIAS ESPACIALES DEL MUNDO



Estados Unidos



Unión Europea



Francia



Japón



ROSCOSMOS

Rusia



India



AGENCIA  
ESPACIAL  
DEL PERU  
CONIDA

Perú

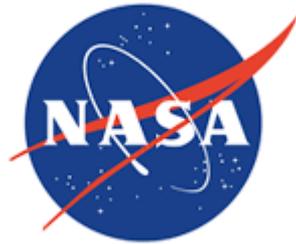


Chile



# NASA

- Agencia espacial mas resaltante, varias de las misiones han sido de gran importancia para el desarrollo científico tecnológico.
- Podemos mencionar a los Satélites Landsat





# PROGRAMA ESPACIAL LANDSAT

Es manejado



**MILITAR**



**EDUCATIVO**



**AMBIENTAL**

# ESA (Agencia Espacial Europea)



European Space Agency

- Se destaca por el programa COPERNICUS
  - También trabajan con los satélites SENTINEL (1,2,3)



# SATÉLITES LANDSAT

La serie de **satélites Landsat** ha proporcionado imágenes satelitales continuas de la Tierra desde julio de 1972 hasta el presente.

Landsat fue el primer satélite lanzado con la intención principal de proporcionar datos continuos a largo plazo de las imágenes de los recursos de la Tierra.

El programa fue inicialmente administrado por el gobierno de los Estados Unidos, se privatizó de 1985 a 1991 y volvió a ser del gobierno federal en 1992.

Hasta la fecha, se han lanzado ocho satélites en esta serie, aunque el sexto nunca alcanzó la órbita. El último de la serie es el Landsat 8, puesto en órbita el 11 de febrero de 2013.





# PROGRAMA LANDSAT



LANDSAT 1  
1972-1978



LANDSAT 2  
1975-1982



LANDSAT 3  
1978-1983



LANDSAT 4  
1978-1983



LANDSAT 5  
1984-2013



LANDSAT 7  
1999-



LANDSAT 8  
2013-

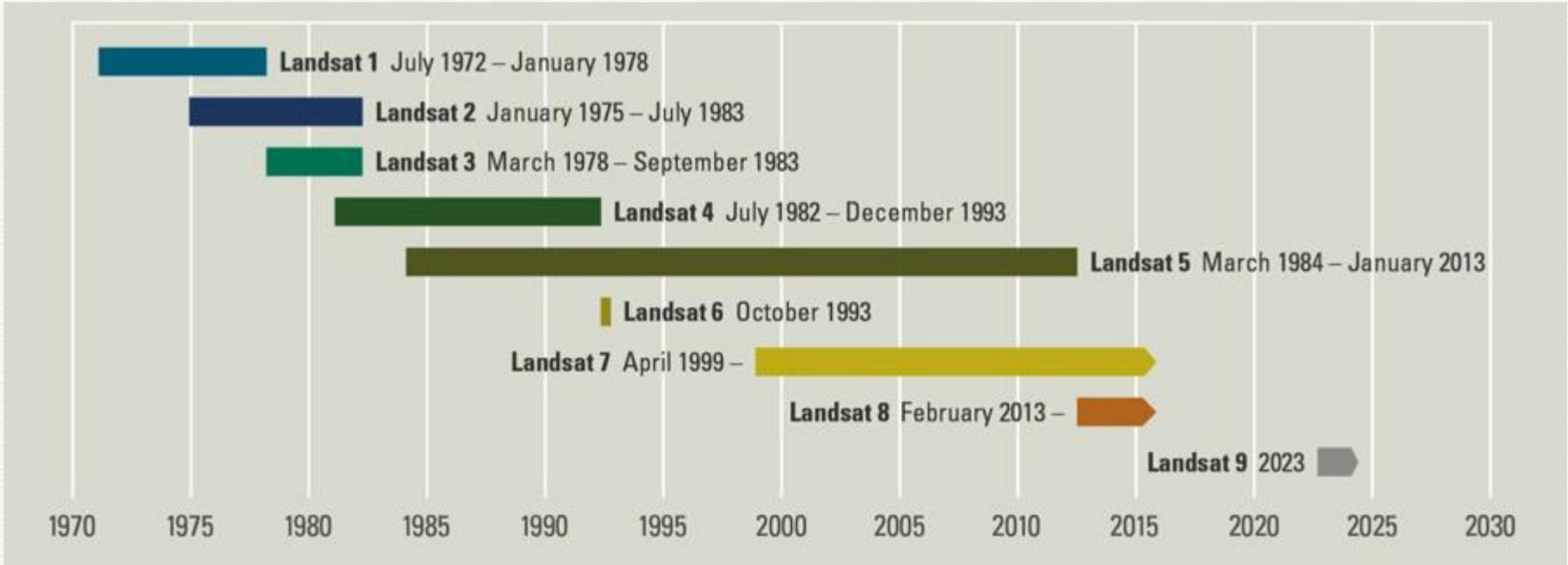


LANDSAT 9  
2021-



**MASTERGIS**

# EVOLUCION



# Misiones de satélite



## *LANDSAT*

- Altitud 705 km
- Angulo de la órbita  $98.2^\circ$
- Swath Landsat 8: 185 km
- Hora de pasada en nuestra región: 10:45
- Sensores: ETM+ (anteriores MSS y TM) y TIRS; OLI y TIRS en Landsat 8
- Pixel de 30 metros para las multibandas (0.45 a  $2.35 \mu\text{m}$ ), 15 metros en pancromática (0.522 -  $0.900 \mu\text{m}$ ) y 60-120 m en IRt
- Revisita 16 días



**Landsat-4 y 5** (fuera de servicio) (lanzados en 1982 y 1984, respectivamente) llevaban el MSS y un nuevo sensor, el Mapeador Temático (TM). El escáner TM tiene 7 bandas espectrales que van de aproximadamente 0.4 a 2.4  $\mu\text{m}$ . Los canales 1-5 y 7 tienen resoluciones espaciales de 30 m, mientras que el canal 6 difiere con una resolución espacial de 120 m.



**Landsat-6 fue un lanzamiento fallido.**



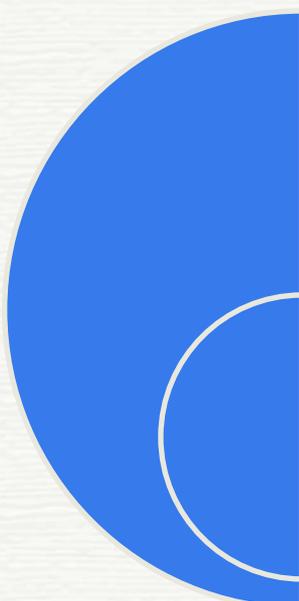
**Landsat-7.** Este satélite llevaba un instrumento de teledetección remota de nueva generación llamado Advanced Land Imager (ALI). La calidad de la imagen ALI se evalúa utilizando imágenes ETM +.

## Ejemplo de Landsat 5 TM\*

Plataforma Sensor	Banda	Resolución espectral ( $\mu m$ )	Resolución espacial (m)	Resolución Temporal (días)	Resolución radiométrica (bits)	Área de cobertura (km)
Landsat 5 TM	1	0.45-0.52 (visible-azul)	30	16	8	185 x 170
	2	0.52-0.60 (visible-verde)	30			
	3	0.63-0.69 (visible-rojo)	30			
	4	0.76-0.90 (IR cercano)	30			
	5	1.55-1.75 (IR medio)	30			
	6	10.40-12.50 (IR térmico)	120			
	7	2.09-2.35 (IR medio)	30			
Landsat 7 ETM+	1	0.45-0.51 (visible-azul)	30	16	8	185 x 185
	2	0.52-0.60 (visible-verde)	30			
	3	0.63-0.69 (visible-rojo)	30			
	4	0.77-0.90 (IR cercano)	30			
	5	1.55-1.75 (IR medio)	30			
	6.1 - 6.2	10.40-12.50 (IR térmico)	60			
	7	2.09-2.35 (IR medio)	30			
	8	0.52-0.90 (Pancromática)	15			

- ❑ Características mecánicas
  - ❑ Masa del instrumento: 2126 kg
  - ❑ Dimensiones: 1 x 0.6 x 2.5 m

\* Landsat 7 ETM+ no funciona adecuadamente.

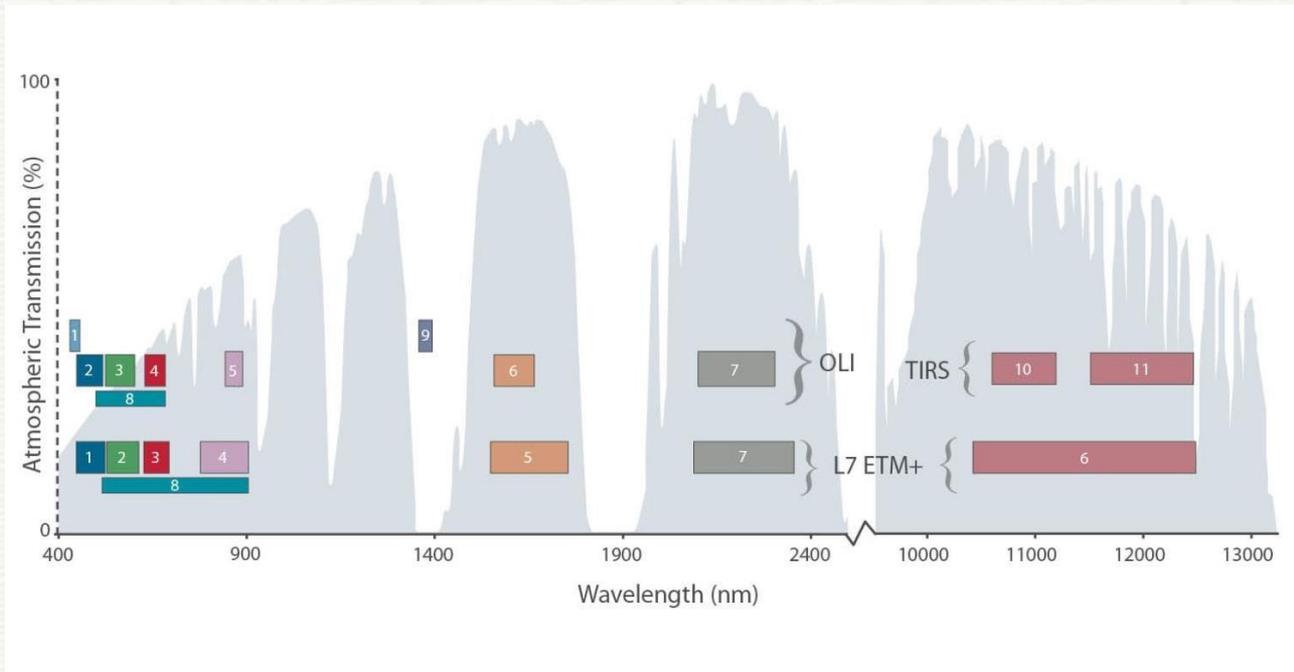


El **Landsat -8** (imagen 83) transporta dos instrumentos OLI y TIRS (Operational Land Imager y Thermal Infrared Sensor, respectivamente). El sensor OLI provee acceso a nueve bandas espectrales que cubren el espectro desde los 0.433  $\mu\text{m}$  a los 1.390  $\mu\text{m}$ , mientras que TIRS registra de 10.30  $\mu\text{m}$  a 12.50  $\mu\text{m}$ .

Estados Unidos planea el lanzamiento del nuevo **Landsat-9** para diciembre de 2020 (CCPO, 2003; NASA, 2018).

*Comparación Landsat 7 y Landsat 8*

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	<i>100 m TIR-1</i>	<i>10.60 - 11.19</i>	Band 10
			<i>100 m TIR-2</i>	<i>11.50 - 12.51</i>	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

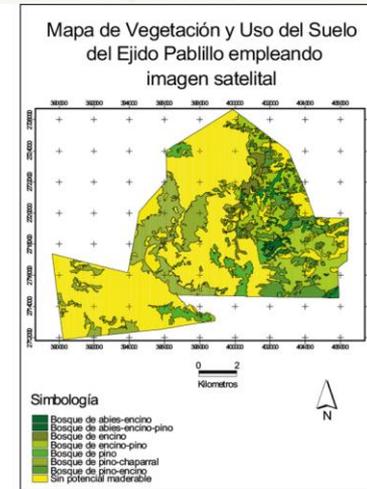
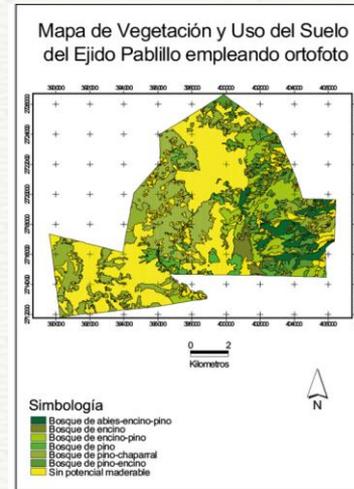


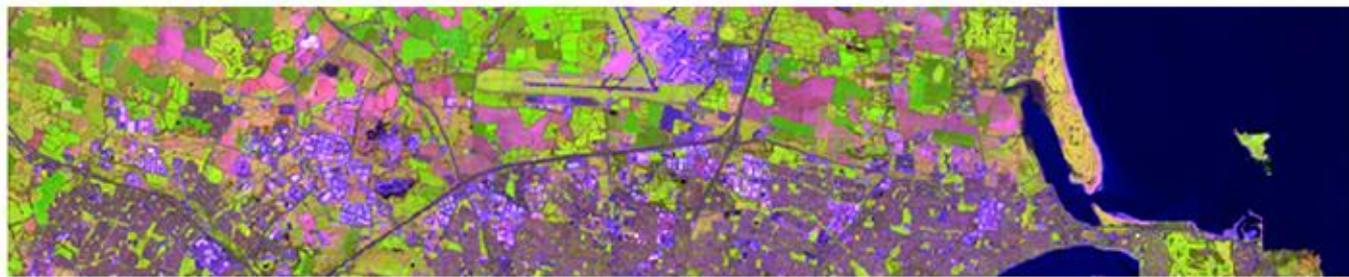
Bandas de LANDSAT 7 (sensor ETM+) y 8\* (sensor OLI/TIRS).  
 \*Lanzado en febrero de 2013.

# La extracción de información de las imágenes

En general, la extracción de información de las imágenes de teledetección puede clasificarse en dos grupos:

- la extracción de información basada en la **interpretación de imágenes visuales** (métodos de interpretación visual para el uso del suelo, vegetación, etc.)
- Extracción de información a través del **procesamiento semiautomático de programas informáticos** mediante una computadora (generación automática de DTM, clasificación de imágenes digitales, etc.) .Es necesario señalar que hablamos de dos métodos complementarios, no opuestos ni excluyentes (Chuvienco, 2002).

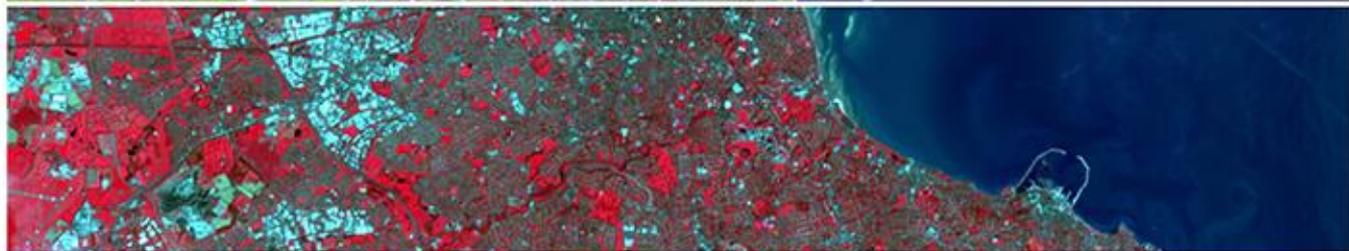




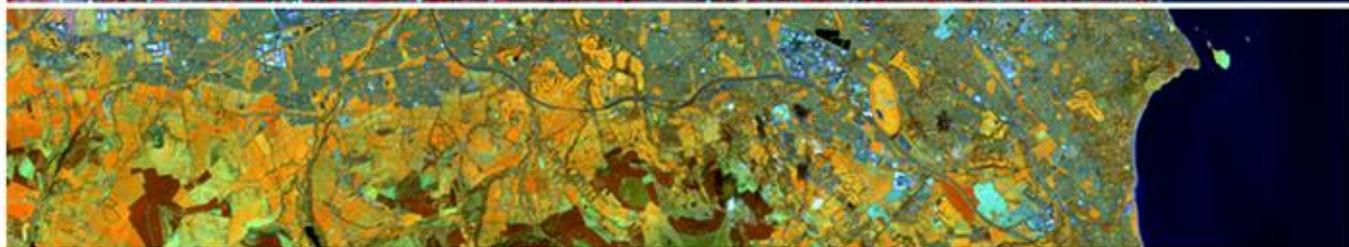
False Colour **6,5,2**  
Vegetation



False Colour **7,6,4**  
Urban



Colour IR **5,4,3**  
Vegetation

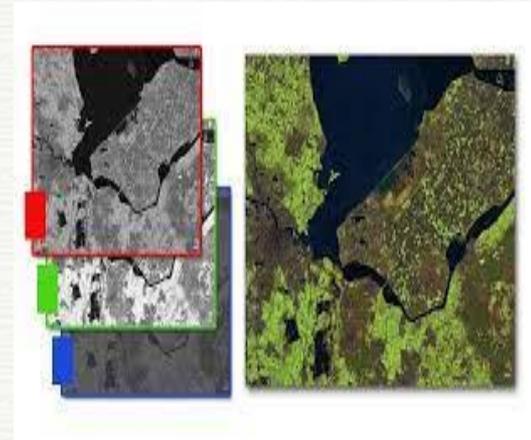


False Colour **5,6,4**  
Land/Water



# Combinación de bandas en imágenes de satélite Landsat

Las imágenes Landsat/Sentinel se encuentran compuestas por diferentes bandas, cada una representada por una porción diferente del espectro electromagnético, para trabajar con la combinación de bandas Landsat, primero es necesario comprender las especificaciones de cada banda (acorde al reporte de la [NASA](#)), en este caso se describe los valores para Landsat 8:



**Banda 1** (Costera – Aerosoles 0.435 – 0.451  $\mu\text{m}$ , resolución: 30 m).- detecta azules y violetas profundas. La luz azul es difícil de recoger del espacio porque se dispersa fácilmente por pequeños trozos de polvo y agua en el aire, e incluso por las propias moléculas de aire. Esta es una razón por la que las cosas muy distantes (como las montañas en el horizonte) aparecen azules, y por la que el cielo es azul.



**Banda 2** (Azul 0.452 – 0.512  $\mu\text{m}$ , resolución: 30 m).- es muy útil para mapear cuerpos de agua, diferenciación entre suelo y vegetación, diferenciación entre la vegetación conífera y decidua, su desventaja es la susceptibilidad a la dispersión atmosférica, es la banda “más ruidosa”.



**Banda 3** (Verde 0.533 – 0.590  $\mu\text{m}$ , resolución: 30 m).- diseñada para evaluar el vigor de la vegetación sana, diferenciar tipos de rocas y medir la calidad de agua.



**Banda 4** (Rojo 0.636 – 0.673  $\mu\text{m}$ , resolución: 30 m).- permite determinar la absorción de clorofila, por ello muy útil para la clasificación de la cubierta vegetal, agricultura y uso del suelo

Banda 5 (Infrarrojo cercano (NIR) 0.851 – 0.879  $\mu\text{m}$ , resolución: 30 m).- mide el infrarrojo cercano, o NIR. Esta parte del espectro es especialmente importante para la ecología porque las plantas saludables lo reflejan – el agua en sus hojas dispersa las longitudes de onda hacia el cielo.



Banda 6 (Infrarrojo de onda corta 1 (SWIR 1) 1.566 – 1.651  $\mu\text{m}$ , resolución: 30 m).- cubre diferentes cortes del infrarrojo de onda corta o SWIR. Es particularmente útil para diferenciar la tierra húmeda de la seca, y para la geología: rocas y suelos que parecen similares en otras franjas a menudo tienen fuertes contrastes en SWIR.



Banda 7 (Infrarrojo de onda corta 2 (SWIR 2) 2.107 – 2.294  $\mu\text{m}$ , resolución: 30 m).- tiene aplicaciones similares a la banda 6.

Banda 8 (Pancromática 0.503 – 0.676  $\mu\text{m}$ , resolución: 15 m).- es la pancromática – o simplemente panchromática – banda. Funciona como una película en blanco y negro: en vez de coleccionar colores visibles por separado, los combina en un solo canal.

Banda 9 (Cirrus 1.363 – 1.384  $\mu\text{m}$ , resolución: 30 m).- es la que muestra menos, pero es una de las características más interesantes de Landsat 8. Cubre una rebanada muy fina de longitudes de onda: sólo  $1370 \pm 10$  nanómetros. Pocos instrumentos espaciales recogen esta parte del espectro, porque la atmósfera absorbe casi todo.

Banda 10 ((TIR 1) 10.60 – 11.19  $\mu\text{m}$ , resolución: 100 m).- está en el infrarrojo térmico, o TIR lo que le permite ver el calor. En lugar de medir la temperatura del aire, como lo hacen las estaciones meteorológicas, informan en el suelo mismo, que a menudo es mucho más caliente.

Banda 11 ((TIR 2) 11.50 – 12.51  $\mu\text{m}$ , resolución: 100 m).- cumple funciones similares a la banda 10.



## COMBINACIÓN DE BANDAS LANDSAT 8

	R	G	B
Color natural	4	3	2
Falso color (urbano)	7	6	4
Infrarrojo (vegetación)	5	4	3
Penetración atmosférica	7	6	5
Agricultura	6	5	2
Uso de suelo	5	6	4
Infrarrojo de onda corta	7	5	4
Análisis de vegetación	6	5	4

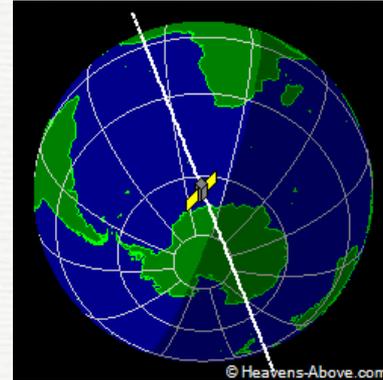
## ***SPOT***

### ■ **Descripción de la órbita SPOT 3**

- Casi polar (ángulo 98.7 grados)
- Altitud de 832 km
- Pasaje ascendente a 10:30 horas
- Ciclo de 26 días

### ■ **Características ópticas SPOT 3**

- Faja en vista vertical 60 km
- Píxel 20 m modo XS y 10 m modo P
- Permite tomar imágenes estereoscópicas



SPOT satellite	Spectral bands	Ground pixel size	Spectral resolutions
SPOT 5	P: panchromatic	2.5 metres or 5 metres	0,48 – 0,71 $\mu\text{m}$
	B1: green	10 metres	0,50 – 0,59 $\mu\text{m}$
	B2: red		0,61 – 0,68 $\mu\text{m}$
	B3: near infrared		0,78 – 0,89 $\mu\text{m}$
	B4: short-wave infrared (SWIR)	20 metres	1,58 – 1,75 $\mu\text{m}$
SPOT 4	M: monospectral	10 metres	0,61 – 0,68 $\mu\text{m}$
	B1: green	20 metres	0,50 – 0,59 $\mu\text{m}$ (XS1)
	B2: red		0,61 – 0,68 $\mu\text{m}$ (XS2)
	B3: near infrared		0,78 – 0,89 $\mu\text{m}$ (XS3)
	B4: short-wave (SWIR)		1,58 – 1,75 $\mu\text{m}$ (XS4)
SPOT 1, 2 & 3	P: panchromatic	10 metres	0,51 – 0,73 $\mu\text{m}$
	B1: green	20 metres	0,50 – 0,59 $\mu\text{m}$
	B2: red		0,61 – 0,68 $\mu\text{m}$
	B3: near infrared		0,78 – 0,89 $\mu\text{m}$

← Mapas a 1:50.000

Sensor	Comienzo	Fin
SPOT 1	1986	2003
Spot 2	1990	2009
Spot 3	1993	1996
Spot 4	1998	2013
Spot 5	2002	2015
Spot 6	2012	
Spot 7	2014	

## SPOT 6 y 7- Características

(operan en constelación, con revisita diaria)

Launch Date	September 9, 2012
Launch Vehicle	PSLV
Launch Location	Satish Dhawan Space Center (India)
Multispectral Imagery (4 bands)	Blue (0.455 $\mu\text{m}$ – 0.525 $\mu\text{m}$ )
	Green (0.530 $\mu\text{m}$ – 0.590 $\mu\text{m}$ )
	Red (0.625 $\mu\text{m}$ – 0.695 $\mu\text{m}$ )
	Near-Infrared (0.760 $\mu\text{m}$ – 0.890 $\mu\text{m}$ )
Resolution (GSD)	Panchromatic - 1.5m
	Multispectral - 6.0m (B,G,R,NIR)
Imaging Swath	60 Km at Nadir



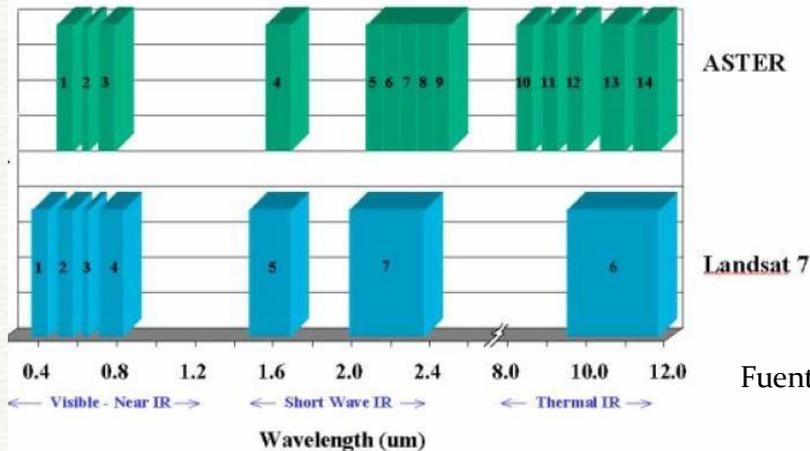
Fuente: <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/spot-6/>



***ASTER*** (sensor a bordo de la plataforma Terra)

- Sensor **A**dvanced **S**paceborne **T**hermal **E**mission and **R**eflection **R**adiometer
- Altitud 705 km
- Ancho de barrido: 60 km
- Hora de pasaje local 10.30 horas
- Pixel de 15-90 metros
- Revisita: 16 días
- Posibilidad de imágenes estereoscópicas (MDT)
- Imágenes desde 1999

Subsystem	Band No.	Spectral Range ( $\mu\text{m}$ )	Spatial Resolution, m	Quantization Levels
VNIR	1	0.52-0.60	15	8 bits
	2	0.63-0.69		
	3N	0.78-0.86		
	3B	0.78-0.86		
SWIR	4	1.60-1.70	30	8 bits
	5	2.145-2.185		
	6	2.185-2.225		
	7	2.235-2.285		
	8	2.295-2.365		
	9	2.360-2.430		
TIR	10	8.125-8.475	90	12 bits
	11	8.475-8.825		
	12	8.925-9.275		
	13	10.25-10.95		
	14	10.95-11.65		



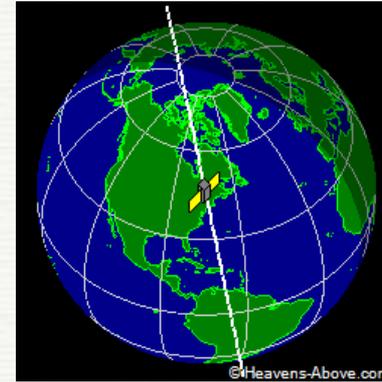
Fuente: ESTER user handbook

## **SAC-C (CONAE)**

(lanzamiento 21/11/2000)

### ■ Descripción de la órbita

- ❑ Circular casi polar
- ❑ Altitud de 705 Km
- ❑ Pasaje descendente a 10:15 horas
- ❑ Ciclo de 9 días
- ❑ Faja hasta 360 km
- ❑ Barredor tipo Push-Broom
- ❑ Resolución espacial: 175 m
- ❑ Bandas cámara multispectral (MMRS): B1 azul verdoso (0.48-0.50  $\mu\text{m}$ ) B2 V (0.54-0.56  $\mu\text{m}$ ) B3 R (0.63-0.69  $\mu\text{m}$ ) B4 IRC (0.795-0.835  $\mu\text{m}$ ) B5 IRM (1.55-1.70  $\mu\text{m}$ )



## ***Misión Terra-Modis (Aqua y Terra)***

- Instrumento más importante a bordo de estos satélites
- Terra (descendente, 10:00 hs aprox.), Aqua (ascendente, 14:30 hs aprox.)
- Observación cada 1-2 días en 36 bandas
- Intervalo de medidas entre 0.4 – 14.4  $\mu\text{m}$
- Resolución espacial de 250 m, 500 m y 1 km
- Las 36 bandas otorgan a este sensor una excelente resolución espectral
- Usos: cobertura terrestre, SST\* y LST\*, nubes, W, estimación de precipitaciones, cobertura de nieve, etc.

\* SST: temperatura superficial del mar, LST: temperatura superficial de la superficie



## MODIS

- Bandas (250<sup>1</sup> – 500<sup>2</sup> m)\*
  - Banda 1<sup>1</sup> - 0.620-0.670  $\mu\text{m}$  (rojo)
  - Banda 2<sup>1</sup> - 0.841-0.876  $\mu\text{m}$  (Irc)
  - Banda 3<sup>2</sup> - 0.459-0.479  $\mu\text{m}$  (azul)
  - Banda 4<sup>2</sup> - 0.545-565  $\mu\text{m}$  (verde)
  - Banda 5<sup>2</sup> - 1.230-1.250  $\mu\text{m}$  (SWIR)
  - Banda 6<sup>2</sup> - 1.628-1.652  $\mu\text{m}$  (SWIR)
  - Banda 7<sup>2</sup> - 2.105-2.155  $\mu\text{m}$  (SWIR)

Bandas 8 a 36 tienen resolución de 1 km por 1 km.

\*Se incluyen sólo las de resolución 250-500 m



1  
5  
5

Spatial  
Resolution

250 m

500 m

1000 m

Primary Use	Band	Bandwidth (nm)
<b>Land/Cloud/Aerosols Boundaries</b>	1	620 - 670
	2	841 - 876
<b>Land/Cloud/Aerosols Properties</b>	3	459 - 479
	4	545 - 565
	5	1230 - 1250
	6	1628 - 1652
	7	2105 - 2155
<b>Ocean Color/ Phytoplankton / Biogeochemistry</b>	8	405 - 420
	9	438 - 448
	10	483 - 493
	11	526 - 536
	12	546 - 556
	13	662 - 672
	14	673 - 683
	15	743 - 753
<b>Atmospheric Water Vapor</b>	16	862 - 877
	17	890 - 920
	18	931 - 941
	19	915 - 965

100  
0m

Primary Use	Band	Bandwidth (□ m)
<b>Surface/Cloud Temperature</b>	20	3.660 - 3.840
	21	3.929 - 3.989
	22	3.929 - 3.989
	23	4.020 - 4.080
<b>Atmospheric Temperature</b>	24	4.433 - 4.498
	25	4.482 - 4.549
<b>Cirrus Clouds Water Vapor</b>	26	1.360 - 1.390
	27	6.535 - 6.895
	28	7.175 - 7.475
<b>Cloud Properties</b>	29	8.400 - 8.700
<b>Ozone</b>	30	9.580 - 9.880
<b>Surface/Cloud Temperature</b>	31	10.780 - 11.280
	32	11.770 - 12.270
<b>Cloud Top Altitude</b>	33	13.185 - 13.485
	34	13.485 - 13.785
	35	13.785 - 14.085
	36	14.085 - 14.385

## *Ikonos*

- Septiembre 1999-enero 2015
- Resolución espacial: 3.2 a 0.82m (muy bueno para mapeo urbano, de desastres naturales, forestal).
- Altitud: 681 km
- Swath: 11.3 km al nadir, 13.8 km a 26° del nadir
- Revisita: aproximadamente 3 días a 40° de latitud
- Resolución radiométrica: 11 bits

### Bands

Panchromatic at 0.82 meter at Nadir  
526 - 928 nm (Pan)

Multispectral at 3.28 meter at Nadir  
Blue, Green, Red, and NIR.

445 - 516 nm (Blue)

506 - 595 nm (Green)

632 - 698 nm (Red)

757 - 853 nm (NIR)



## QuickBird

- Operativo de 2001 a 2015
- Altitud: 450 km
- Swath: 16.8-18 km
- 11 bits
- Revisita: 1-3.5 días, dependiendo de la latitud (30° desde nadir)

Resolution	Pan: 65 cm (nadir) to 73 cm (20° off-nadir) MS: 2.62 m (nadir) to 2.90 m (20° off-nadir)
Image Bands	Pan: 450-900 nm Blue: 450-520 nm Green: 520-600 nm Red: 630-690 nm Near IR: 760-900 nm

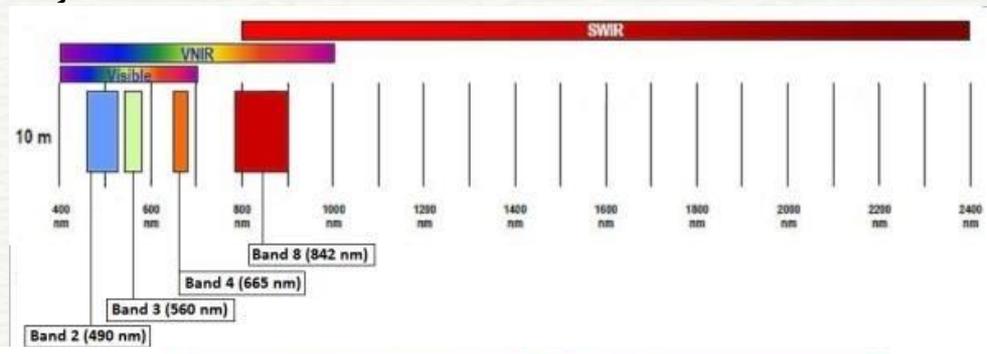


## SENTINEL

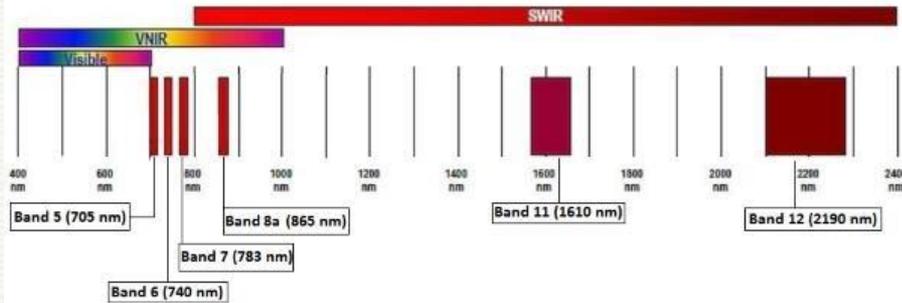
**SENTINEL-1.** Lanzado en abril 2014, órbita polar. Cuenta con un radar, resoluciones hasta 5 m.

**SENTINEL-2.** Lanzado en junio 2015 (2A) y marzo 2017 (2B). 2 satélites iguales en órbita polar. Revisita de 5 días en el Ecuador y 2-3 días en latitudes medias. Swath: 290 km. Cámara multispectral con 13 bandas. Resolución de 10, 20 y 60 m. 12 bits

*Resolución de 10 m*



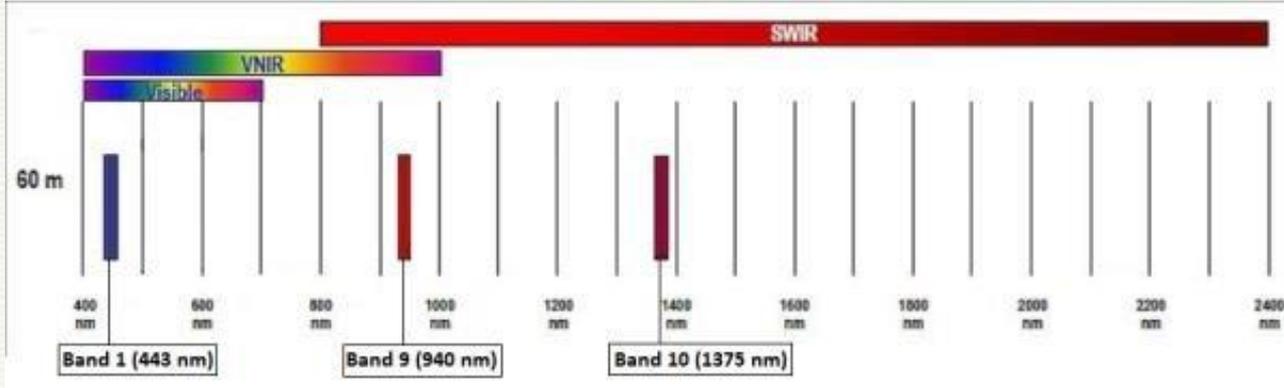
*Resolución de 20 m*



Más información: [sentinel.esa.int/web/sentinel/missions](http://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions) y

[www.inta.es/opencms/export/sites/default/INTA/es/blogs/copernicus/BlogEntry\\_1507278650016](http://www.inta.es/opencms/export/sites/default/INTA/es/blogs/copernicus/BlogEntry_1507278650016)

### Resolución de 60 m



**SENTINEL-3.** Principalmente una misión para estudio del océano. Aunque contiene los siguientes instrumentos:

-OLCI: instrumento para el color del océano y terrestre. 21 bandas [0.4-1.02  $\mu\text{m}$ ].

Resolución espacial: 300 m

-SLSTR: multiespectral y térmico. 9 bandas [0.55-12  $\mu\text{m}$ ]. 500 m – 1 km.

-Radar altimétrico

Sentinel-3A lanzado en febrero 2016; 3B lanzado 25 de abril de 2018.

**SENTINEL-4.** Monitoreo de la calidad del aire. Bandas en el UV.

**SENTINEL-5.** Monitoreo de la calidad del aire. Bandas en UV, VIS, NIR, SWIR

## ***Otras misiones:***

**Gaofen-2:** satélite óptico de alta resolución chino con la capacidad de tomar imágenes de 80 cm con un ancho de barrido de 48 kilómetros en modo pancromático y de 3,2 metros en modo multiespectral. Lanzado en agosto de 2014.

**TripleSat:** constelación británica lanzada en 2015 compuesta por tres satélites en la misma órbita distanciados por 33 minutos de diferencia. Es una constelación de satélites ópticos con capacidad de tomar imágenes de 80 centímetros en modo pancromático y 3,2 metros en multiespectral.

**C-BERS:** resolución de 5 a 64 m, revisita hasta 3 días

[http://www.cbers.inpe.br/ingles/satellites/cameras\\_cbers3\\_4.php](http://www.cbers.inpe.br/ingles/satellites/cameras_cbers3_4.php)

**ResourSat**

**Pleiades**

## ***Próximas-recientes misiones de CONAE***

- ***Misión SAOCOM***

- Medición de la humedad del suelo y aplicaciones en emergencias (detección de derrames de hidrocarburos en el mar y seguimiento de la cobertura de agua durante inundaciones)

- Microondas activo

- Resolución espacial: 10 a 100 m

- Revisita: 8 días para la constelación de 2 satélites

- Lanzamiento en 2018

- ***SABIA-Mar***

- Prioridad: estudio del mar y las costas

- Dos cámaras multiespectrales en el visible, infrarrojo e IRt

- VIS-NIR: 11 bandas, 0.412-0.865  $\mu\text{m}$ . Resolución espacial: 200-800 m.

- NIR-SWIR: cámara de 6 bandas, 0.75-1.6  $\mu\text{m}$

- TIR: 2 bandas, 11-12  $\mu\text{m}$ . Resolución espacial: 400 m.

- MAC=cámara espectral de 5 bandas, toma multiángulo y banda pancromática

- DCS: recolección de datos

- Lanzamiento previsto para 2020

- Revisita: 2 días. Cuando esté completa la constelación de los 2 satélites: 1 día.