

# LANDSAT

Realizado por:  
García Varela, Alvaro

## INDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>2. PRINCIPIOS FÍSICOS DE LA TELEDETECCIÓN.....</b>	<b>5</b>
2.1. El espectro electromagnético.....	6
2.2. Cuerpo Negro.....	8
2.3. Firma espectral.....	11
2.4. Interacciones Atmosféricas.....	13
2.4.1. Dispersión.....	15
2.4.2. Absorción.....	16
<b>3. SENSORES.....</b>	<b>17</b>
3.1. Resolución de un sistema sensor.....	18
3.1.1. Resolución espacial.....	18
3.1.2. Resolución espectral.....	19
3.1.3. Resolución radiométrica.....	20
3.1.4. Resolución temporal.....	20
3.1.5. Relación entre los distintos tipos de resolución.....	21
3.2. Tipos de sensores.....	22
3.2.1. Sensores activos.....	22
3.2.1.1. Sensores de radar.....	22
3.2.1.2. Lidar.....	23
3.2.2. Sensores pasivos.....	24
3.2.2.1. Sensores fotográficos.....	24
3.2.2.2. Exploradores de vidicon.....	24
3.2.2.3. Radiómetros de microondas.....	25
3.2.2.4. Exploradores de barrido y de empuje.....	25

<b>4. EL PROGRAMA LANDSAT .....</b>	<b>27</b>
<b>4.1. Características orbitales .....</b>	<b>29</b>
<b>4.2. Instrumentos de observación.....</b>	<b>30</b>
4.2.1. Sensor MSS .....	32
4.2.2. Sistema Vidicon .....	34
4.2.3. Sensor Thematic Mapper (TM) y el ETM+.....	35
<b>4.3. Transmisión, procesado y distribución de la información.....</b>	<b>37</b>
<b>4.4. Landsat versus .....</b>	<b>39</b>
<b>5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>40</b>
<b>6. RECURSOS DISPONIBLES EN INTERNET .....</b>	<b>40</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

El advenimiento de los satélites artificiales ha permitido la posibilidad de obtener información detallada de la superficie terrestre. Desde el lanzamiento en 1972 del ERTS-1 (más tarde renombrado Landsat 1), el primer satélite diseñado para la observación en alta resolución de la cubierta terrestre, la teledetección ha alcanzado un alto nivel de desarrollo, beneficiándose de los avances obtenidos en la carrera espacial y desligándose de la fotografía aérea, precursora de la moderna teledetección.

Hoy en día, sensores instalados en satélites nos envían continuamente información sobre la dinámica nubosa, la cubierta vegetal y sus variaciones estacionales, la temperatura superficial oceánica, etc. Incluso eventos de gran escala temporal como las cubiertas de hielo polar, la expansión de los desiertos o la deforestación tropical pueden ser estudiados exhaustivamente y de manera continua a partir de datos procedentes de sensores situados en el espacio.

El objetivo del presente trabajo es tratar de dar una visión de como los satélites nos proporcionan esta información, particularizando este estudio sobre el programa Landsat.

El trabajo ha sido enfocado teniendo en mente el proporcionar las bases que permitan entender las prestaciones/limitaciones del equipamiento con que está dotado el Landsat y poder compararlo con otro tipos de satélites dedicados a la teledetección. Por este motivo se ha realizado una introducción más o menos extensa de los principios físicos que sustentan la técnica de la teledetección.

A continuación se da un repaso sobre las características de los sensores más utilizados en teledetección para finalmente centrarnos en la descripción del programa Landsat particularizando sobre el Landsat 7, único satélite actualmente operativo.

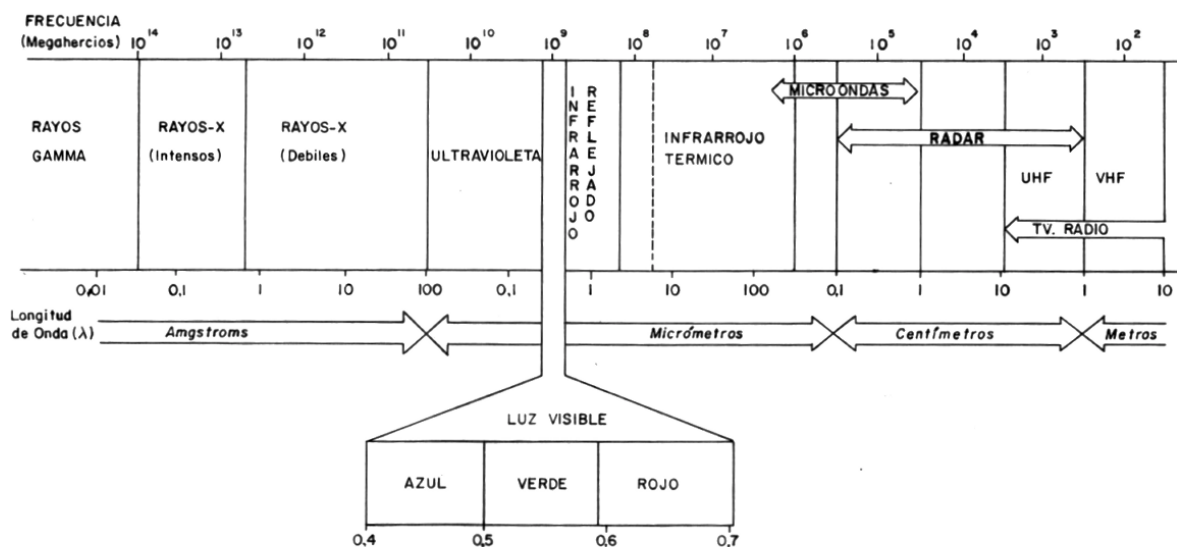
## 2. PRINCIPIOS FÍSICOS DE LA TELEDETECCIÓN

Los sensores de los satélites reciben la información acerca de un objeto a través de la energía electromagnética. Esta información puede estar codificada en la frecuencia, intensidad o polarización de la onda y es transmitida directamente desde el objeto o indirectamente por *reflexión, dispersión o reemisión* hasta el sensor.

Todos los materiales de la Tierra reflejan o emiten energía electromagnética. Los sensores miden la intensidad de la radiación electromagnética emitida por un objeto y estudian sus propiedades físicas a partir de su variación con la frecuencia.

## 2.1. El espectro electromagnético

La radiación electromagnética se presenta como una distribución continua de frecuencias que conocemos con el nombre de espectro electromagnético (EE). Dicho espectro suele estar estructurado en una serie de bandas espectrales donde la radiación electromagnética manifiesta un comportamiento similar. No todas las bandas presentan igual interés desde el punto de vista de la teledetección.



### División del espectro electromagnético

La banda de radio abarca aquellas longitudes de onda mayores de 10 cm (frecuencias menores de 3 Ghz). Esta región es usada principalmente por sensores activos y en menor medida por otros de carácter pasivo. Limitando con la banda de radio nos encontramos con la banda de microondas, extendiéndose hasta las frecuencias de 300 Ghz (o equivalentemente, 1 mm de longitud e onda). En esta región las interacciones están gobernadas por rotaciones moleculares y es mayoritariamente usada por radiómetros de microondas y sistema de radar.

La región espectral infrarroja se encuentra entre las longitudes de 1 mm y 0.7  $\mu\text{m}$ . Esta región se suele dividir en subregiones denominadas submilimétrica, infrarrojo lejano, infrarrojo térmico e infrarrojo cercano. En esta región, la rotación molecular y las vibraciones juegan un papel importante. Un gran abanico de sensores emplean estas frecuencias para su operación. El infrarrojo térmico abarca desde 3.0-12  $\mu\text{m}$  y en este rango, la temperatura de la cubierta terrestre (incluida la superficie oceánica) es la variable de mayor interés.

La porción visible del espectro se extiende de 0.4  $\mu\text{m}$  hasta 0.7  $\mu\text{m}$  que junto con la banda infrarroja es la región con mayor presencia de sensores. En el rango visible, la reflectancia de las plantas está dominada por los pigmentos, entre los que destaca la clorofila. Es por ello que esta banda se emplea, junto con la del infrarrojo cercano, para estudiar el estado de la cubierta vegetal. En el agua, la materia orgánica disuelta atenúa mucho las longitudes de onda más cortas de esta banda espectral. Las partículas suspendidas y los pigmentos presentes en el agua también afectan a la radiación recibida por los sensores que operan en este rango.

En la siguiente banda, la ultravioleta (0.4  $\mu\text{m}$  hasta 300  $\text{Å}$ ) los niveles electrónicos de energía juegan un papel clave en las interacciones onda-materia. Los sensores ultravioletas han sido empleados principalmente para el estudio de atmósferas planetarias o el estudio de superficies sin atmósferas debidas a su opacidad que presentan a estas frecuencias. Esta banda no es empleada demasiado en teledetección debido a que los niveles de luz ultravioleta que podrían captarse no permiten obtener un relación S/N aceptable debido a la absorción producida por el ozono y el bajo nivel de emisión de esta frecuencia por parte del Sol, si lo comparamos por ejemplo con la longitud de onda del azul. Sus posibles aplicaciones son la detección de manchas de petróleo ya que éste absorbe eficientemente la radiación ultravioleta, así como la identificación de rocas o suelos con un alto contenido en hierro.

Los rayos X (300  $\text{Å}$  a 0.3  $\text{Å}$ ) y gamma ( $< 0.3 \text{Å}$ ) son raramente empleados debido a la opacidad de la atmósfera en estas frecuencias.

## 2.2. Cuerpo Negro

El Sol es la fuente más obvia de radiación electromagnética para su uso en teledetección. Sin embargo, todos los cuerpos a temperaturas superiores a 0° K, condición que verifican todos ellos, emiten continuamente radiación electromagnética. Debemos considerar entonces a todos los cuerpos como fuentes de radiación, cuya magnitud y composición espectral difieren considerablemente de la del Sol.

Sin embargo, la distribución de la cantidad de radiación en cada longitud de onda no es uniforme, de ahí la importancia de determinar la temperatura superficial del Sol, ya que la distribución de la energía emitida en las diferentes regiones del espectro depende de la temperatura de la fuente.

Si el Sol fuera un emisor perfecto sería un ejemplo de un ideal teórico denominado *cuerpo negro*. Un *cuerpo negro* transforma la energía calorífica en energía radiante según las leyes de la termodinámica. Su *emitancia espectral* viene dada por la fórmula de Planck para una longitud de onda  $\lambda$ ,

$$S(\lambda) = \frac{2\pi h C^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{Ch}{\lambda kT}} - 1}$$

La emitancia espectral es máxima a la frecuencia dada por la *Ley de Desplazamiento de Wien*,

$$\lambda_m = \frac{a}{T}$$

donde  $a = 2898 \mu m K$

Según esta ley, a medida que un cuerpo se calienta, la longitud de onda de la máxima emitancia decrecerá. Esta ley se extrae a partir de la diferenciación de la Ley de Planck.

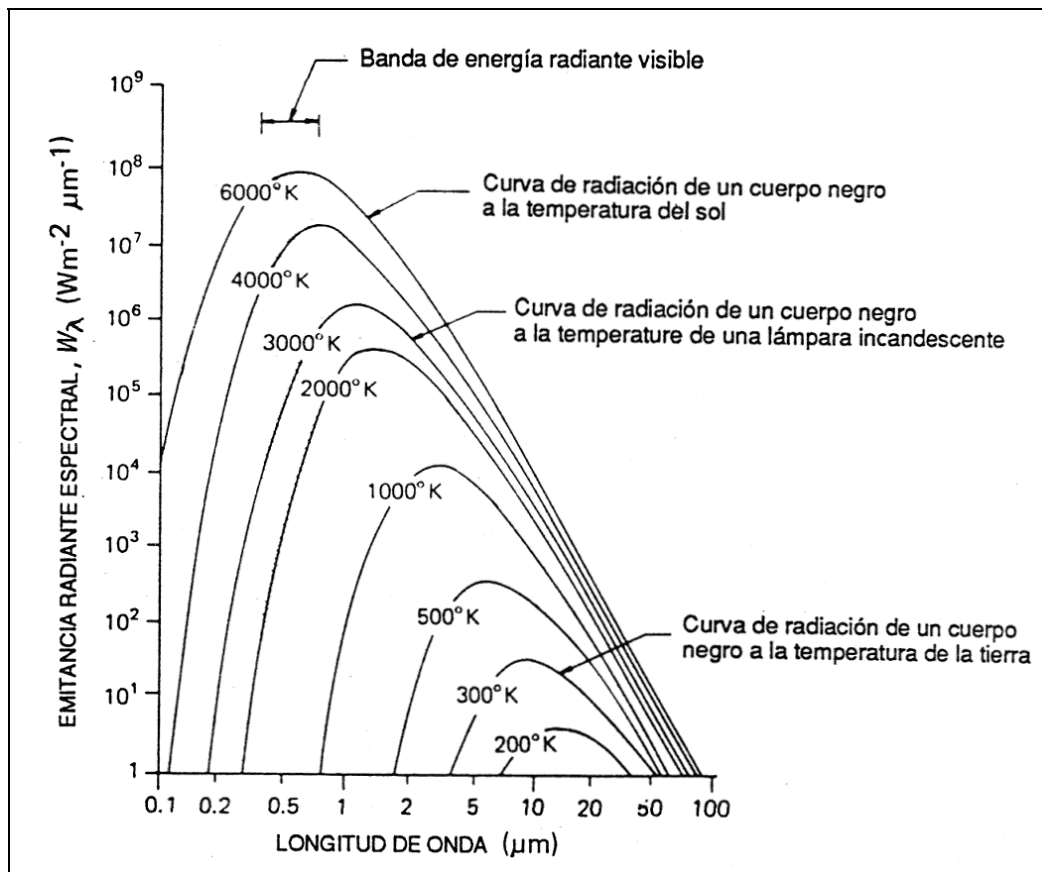


La energía total emitida en el espectro completo viene dada por la *Ley de Stefan-Boltzmann*, la cual resulta de la integración de la Ley de Planck sobre toda las longitudes de onda,

$$S = \sigma T^4$$

donde  $\sigma = 5.6697 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$

Esta última ley establece que si un cuerpo se calienta, emitirá más radiación. Esto es de especial importancia a la hora de diseñar los sensores (los objetivos con temperaturas bajas necesitarán mayores tiempos de exposición o menores resoluciones espaciales para recoger así el suficiente número de fotones para realizar una medida con la relación S/N suficientemente alta).



Resumiendo, la *Ley de Planck* establece la forma de las curvas de emitancia espectral observadas para cada temperatura. La *Ley de Desplazamiento de Wein* nos da el punto máximo para cada temperatura y la *Ley de Stefan-Boltzman* el área bajo cada curva.

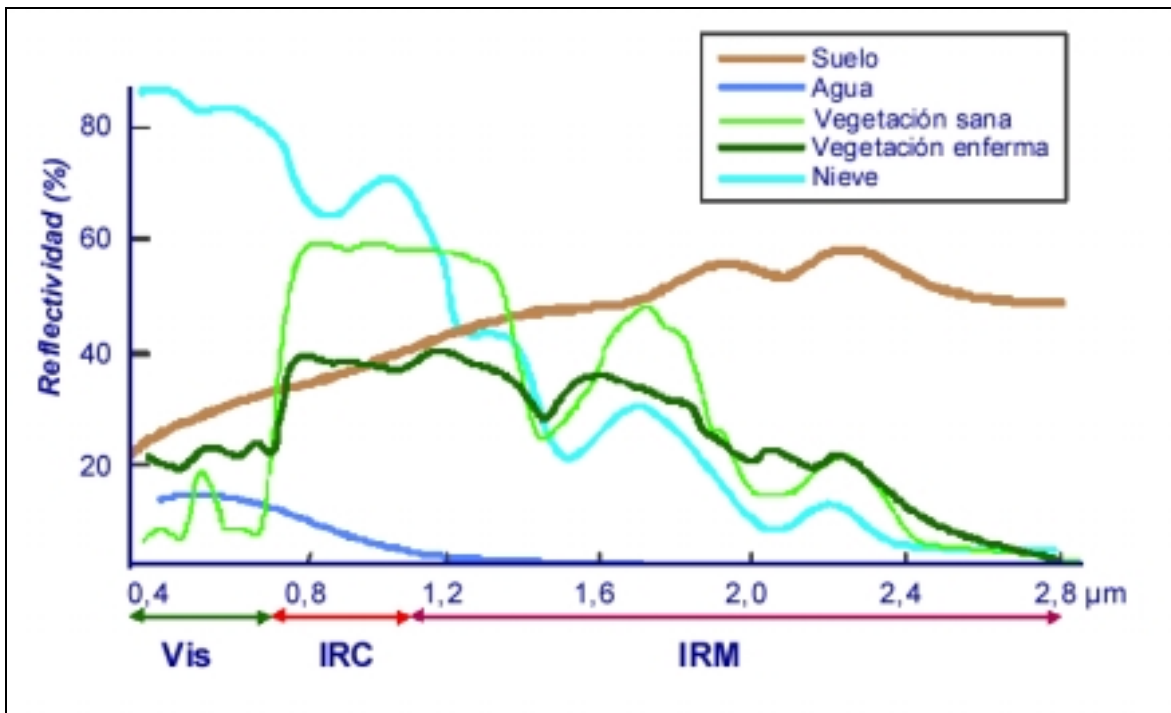
La distribución de emitancia espectral para un cuerpo negro a 6000 K se aproxima mucho a la curva de emisividad espectral del Sol, mientras que la tierra puede considerarse un cuerpo negro a 300 K. El máximo de radiación solar ocurre en la región visible del espectro, con un pico en 0.4  $\mu\text{m}$ . La tierra presenta un pico aproximadamente en 9.7  $\mu\text{m}$ , en la región del infrarrojo térmico. Esto significa que si queremos observar una cubierta determinada mediante la captación de energía solar reflejada, debemos operar en el rango de frecuencias en el que el Sol emite una mayor cantidad de radiación, aproximadamente entre 100 nm y 100  $\mu\text{m}$ , con un pico en el visible. De igual forma, si lo que queremos es captar la emisión propia de la superficie oceánica debemos emplear sensores que trabajen en el rango entre 3-40  $\mu\text{m}$ .

Si las distancias entre el Sol, la Tierra y el satélite fueran la misma, la radiación solar se superpondría sobre la terrestre para todas las longitudes de onda. Incluso todos los canales infrarrojos tendrían contaminación solar durante todo el día. Pero la intensidad de la radiación solar decrece con el cuadrado de la distancia existente entre el satélite y el Sol. Cuando la radiación solar alcanza la Tierra, en el rango del infrarrojo térmico, la emisión de la superficie terrestre en esta banda es mucho mayor que la contribución reflejada, la señal recibida por el sensor procedente de la Tierra debido a la Ley de Desplazamiento de Wien.

Hay que tener en cuenta que los objetos reales no son perfectamente absorbentes y por consiguiente emiten menos radiación que la predicha por Planck. Por esta razón se define la emitancia real como la relación existente entre la cantidad de radiación emitida por el objeto y la de un cuerpo negro a la misma temperatura y longitud de onda.

### 2.3. Firma espectral

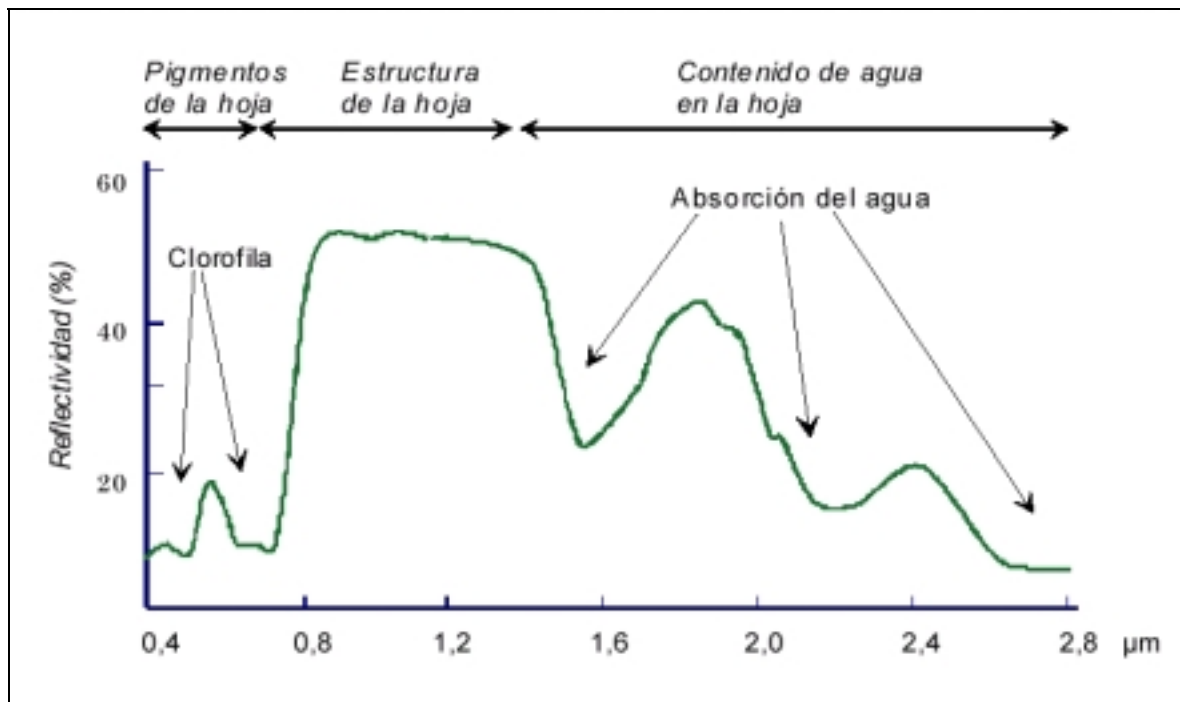
La teledetección se basa en la interacción del espectro electromagnético y la cubierta terrestre. Cuando realizamos un gráfico en el que representamos la cantidad la radiación reflejada por una superficie y la relacionamos con la longitud de onda de la onda electromagnética, obtenemos lo que se denomina *firma espectral*.



Firma espectral para distinto tipos de cubierta

Conociendo la firma espectral de la cubierta que necesitamos estudiar, podemos clasificar de manera más o menos sencilla, los píxeles correspondientes a dicha cubierta. Así, citando un ejemplo clásico, la vegetación tiene un firma espectral caracterizada por un pico de reflexión en infrarrojo cercano, lo que permite diferenciarla de otras cubiertas que en el rango del visible tengan una respuesta espectral semejante.

Dentro de la firma espectral, dependiendo de la longitud de onda analizada, es posible el análisis particularizado de características de la cubierta bajo estudio. En el siguiente diagrama podemos ver como aspectos como la pigmentación, contenido en agua, etc influyen sobre la firma espectral de la vegetación.



**Factores en la reflectividad de las hojas verdes**

Pero las diferentes cubiertas no presentan un comportamiento único y permanente que coincida con las curvas de reflectividad espectral y que permitan reconocerlas sin confusión frente a otras superficies. Cada cubierta tiene una variabilidad determinada por varios factores (ángulo de iluminación solar, relieve, influencias atmosféricas, ángulo de observación ...) que dificultan en algunos casos su discriminación. Es por ello que comprender y determinar la firma espectral es esencial si necesitamos diseñar instrumentos que puedan detectar los rasgos que nosotros deseamos.

## 2.4. Interacciones Atmosféricas

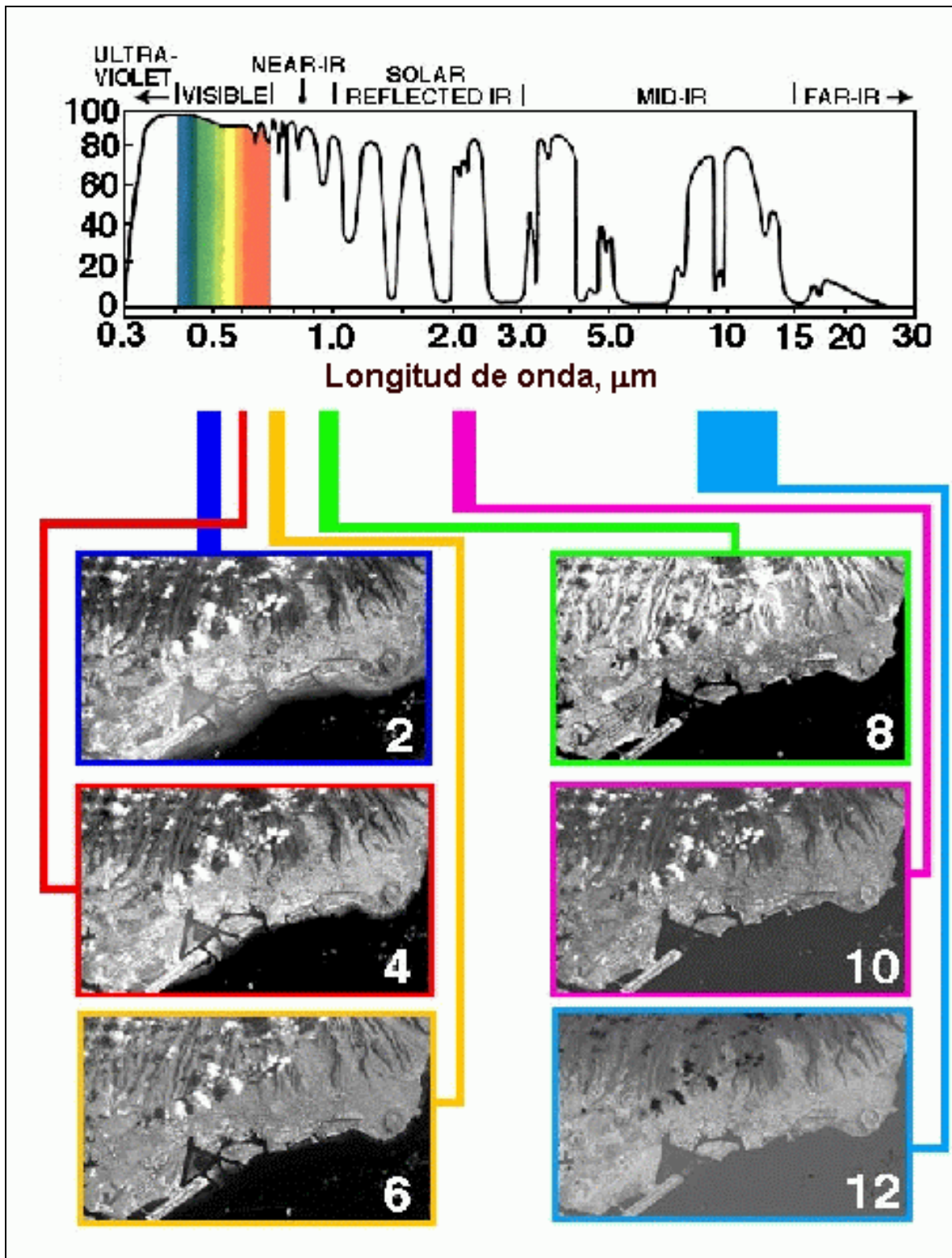
La energía que recibe un sensor desde un objetivo de interés debe pasar a través de la atmósfera. Los componentes gaseosos y las partículas de materia dentro de la atmósfera, pueden afectar la intensidad y la distribución espectral de la energía y pueden impedir la observación de características de la superficie.

Los mecanismos de *absorción* de la atmósfera dependientes de la frecuencia, alteran la cantidad de radiación solar que alcanza la superficie de la Tierra. Otro efecto atmosférico que también puede alterar significativamente la radiación que llega al sensor es la *dispersión* o difusión de radiación por partículas de la atmósfera.

La suma de estas dos formas de pérdida de energía se denomina *atenuación atmosférica*. Ambas perturbaciones varían en sus efectos de una región espectral a otra. Por regla general, el fenómeno de *dispersión* añade intensidad a la señal recibida por el sensor, mientras que la *absorción* atmosférica reduce el nivel de las medidas espectrales realizadas.

Las regiones del espectro que están menos influenciadas por los efectos de la absorción y dispersión se denominan *ventanas atmosféricas*. Tenemos un ventana bien definida en el rango del visible y unas cuantas dentro de las frecuencias correspondientes al infrarrojo. Estas bandas son empleadas extensivamente en teledetección, generando las familias de sensores del visible/infrarrojo cercano y del infrarrojo térmico.

Además de estos efectos mencionados, habría que sumar los de reflexión y refracción, aunque en menor medida que los anteriores y por ello no serán descritos.



### 2.4.1. Dispersión

La dispersión es el resultado de la interacción entre la radiación electromagnética y las partículas o moléculas de gas presentes en la atmósfera. Estas partículas tienen un tamaño muy variable y redireccionan la radiación incidente, desviándola de su camino. Sus efectos pueden ser muy irregulares espacialmente y pueden variar rápidamente en el tiempo, de ahí la considerable dificultad que implica realizar un análisis cuantitativo de este fenómeno.

Podemos distinguir dos tipos de dispersión: *selectiva* (afecta a longitudes de onda específica) y *no selectiva* (independientes de la frecuencia). La *dispersión Rayleigh* pertenece al primer grupo y es común cuando la radiación interacciona con partículas o moléculas atmosféricas que tienen un diámetro mucho menor que la longitud de onda de la radiación incidente. Sus efectos son inversamente proporcionales a la cuarta potencia de la longitud de onda. Un efecto inmediato de este fenómeno es el color azul del cielo ya que este color sufre mayor dispersión que la roja. Si no hubiera dispersión alguna el cielo sería negro.

La *dispersión Mie* también es selectiva y aparece cuando los tamaños son (0.1-10  $\mu\text{m}$ ), aproximadamente las longitudes de onda de la radiación electromagnética en el visible e infrarrojos cercano y térmico. Las partículas responsables de este efecto son el humo, elementos contaminantes, polvo, polen, vapor de agua, ... Conjuntamente suele recibir el nombre de aerosoles.

Al igual que ocurría en la *dispersión Rayleigh*, los efectos varían inversamente a la longitud de onda. Este tipo de dispersión es la responsable de la neblina atmosférica así como del color rojo de las puestas de Sol.

La dispersión no selectiva se realiza cuando los tamaños de las partículas son mayores que las longitudes de onda. Las gotas de agua pueden causar esta dispersión. Es no selectiva respecto a las longitudes de onda del visible e infrarrojo cercano. Por ello las nubes y nieblas parecen blancas, ya que cantidades similares de luz roja, verde y azul sufren dispersión.

### 2.4.2. Absorción

La absorción es el segundo proceso que interacciona con la radiación que llega a la atmósfera. Gases tales como el dióxido de carbono, el vapor de agua y el ozono tiene bandas de absorción en regiones particulares del espectro electromagnético. Para longitudes de onda cortas ( $<0.3 \mu\text{m}$ ) la atmósfera absorbe casi toda la radiación incidente. Entre  $0.3\text{-}0.7 \mu\text{m}$  encontramos una ventana atmosférica en la que la atmósfera es muy transparente a la radiación visible. Incrementando la longitud de onda encontramos una secuencia de bandas de absorción más o menos fuerte alternadas con otras zonas de relativa transparencia. La teledetección evita tener que emplear las bandas de absorción para el estudio de la cubierta terrestre, sin embargo, para algunos estudios de naturaleza climatológica y meteorológica estas zonas se eligen deliberadamente.



### 3. SENSORES

La teledetección de cualquier fenómeno requiere el concurso de tres factores; a saber, una fuente energética de radiación electromagnética, la interacción de dicha radiación con la superficie del objeto a estudiar y un sistema de detección que reciba la radiación reflejada. En este apartado vamos a estudiar estos elementos denominados sensores, sus características que nos permitirán sacar conclusiones a la hora de analizar las dotaciones que posee cada satélite.

Entre las variadas formas de clasificar los sensores remotos, una de las más habitual es considerar su procedimiento de recibir la energía procedente de las distintas cubiertas. En este sentido, se puede hablar de dos tipos de sensores: pasivos, cuando se limitan a recibir la energía proveniente de un foco exterior a ellos, y activos, cuando son capaces de emitir su propio haz de energía.

Antes de describir los distintos tipos de sensores existentes, conviene analizar algunos conceptos previos que les afectan a todos y que nos va a permitir un marco para poder comparar las dotaciones del Landsat y poder compararlos con los disponibles en otro tipo de satélites.

### 3.1. Resolución de un sistema sensor

Podemos definir la resolución de un sistema sensor como su habilidad para registrar, discriminándola, información de detalla. El concepto de resolución implica al menos cuatro manifestaciones: espacial, espectral, radiométrica y temporal.

#### 3.1.1. Resolución espacial

Este concepto designa al objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen. En un sistema fotográfico, suele medirse como la mínima separación a la cual los objetos aparecen distintos y separados en la fotografía. Se mide en unidades de longitud (mm sobre la foto o metros sobre el terreno), y depende de la longitud focal de la cámara y de su altura sobre la superficie.

Por su parte, en los sensores óptico-electrónicos, se prefiere utilizar el concepto de campo de visión instantáneo (IFOV). El IFOV se define como la sección angular, medida en radianes, observada en un momento determinado. No obstante, se suele utilizar la distancia sobre el terreno que corresponde a ese ángulo, teniendo en cuenta la altura del vuelo y la velocidad de exploración del sensor. Simplificando las cosas, esa distancia se corresponde al tamaño de la mínima unidad de información incluida en la imagen (pixel).

La resolución espacial en la superficie varía en función de la distancia del satélite y el ángulo de observación relativo a la vertical. De esta manera, la resolución en los extremos de una imagen puede ser varias veces mayor que la del *nadir* (punto de la superficie más cercano al satélite y que suele coincidir con el centro de la imagen) del satélite. Más aún, si bajo el satélite el IFOV es cuadrado, irá adquiriendo una forma rectangular hacia los extremos. Estos factores han de ser tenidos en cuenta para una interpretación correcta de los datos.

Cada problema tiene su resolución espacial más apropiada. Una resolución muy alta para el estudio de eventos mesoescalares sería claramente contraproducente y estudios de carácter urbano precisan de resoluciones de algunos metros.

### 3.1.2. Resolución espectral

Indica el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor. Un sensor será tanto más idóneo cuanto mayor número de bandas proporcione, ya que facilita la caracterización espectral de las distintas cubiertas. A la vez, conviene que esas bandas sean suficientemente estrechas con el objeto de recoger la señal sobre regiones coherentes del espectro. Bandas muy amplias suponen registrar un valor promedio que puede encubrir la diferenciación espectral entre cubiertas de interés.

Por tanto a menor ancho espectral mayor resolución. El problema que surge es que también se reduce la relación S/N por lo que es necesario llegar a una solución de compromiso entre ambas magnitudes.

Dependiendo del propósito del sensor, este factor tendrá más o menos importancia. La elección de un número apropiado de bandas y la correcta selección de su anchura puede proporcionar ventajas a la hora de realizar clasificaciones entre cubiertas de respuesta espectral semejante. Por ejemplo el índice de vegetación procede de la relación entre las reflectividades en el infrarrojo cercano y en el rojo, y nos da una medida del vigor de la cubierta vegetal. Un ancho de banda inadecuado o la elección incorrecta del número y posición de las bandas conduce a pobres resultados.

### **3.1.3. Resolución radiométrica**

La resolución o sensibilidad radiométrica hace referencia al rango dinámico o número de nivel digital usados al digitalizar la información procedente del sensor (bits por pixel). En general, mayor número de niveles mayor detalle de la información. Al igual que ocurría en la resolución espectral existe una relación directa entre la resolución radiométrica y la relación S/N.

La resolución radiométrica es variable según la banda espectral bajo análisis. El valor elegido es una decisión de compromiso entre la fidelidad con la que se quiere captar un fenómeno y la cantidad de información que hay que transmitir (no hay que olvidar que toda la información que se genera debe ser tratada y transmitida a tierra). Valores de 64, 128 y 256 e incluso 1024 niveles son valores habituales.

### **3.1.4. Resolución temporal**

Este tipo de resolución se refiere al intervalo de tiempo entre muestras sucesivas de la misma zona de la cobertura terrestre. El ciclo de cobertura depende de las características de la órbita del satélite, así como del diseño del sensor.

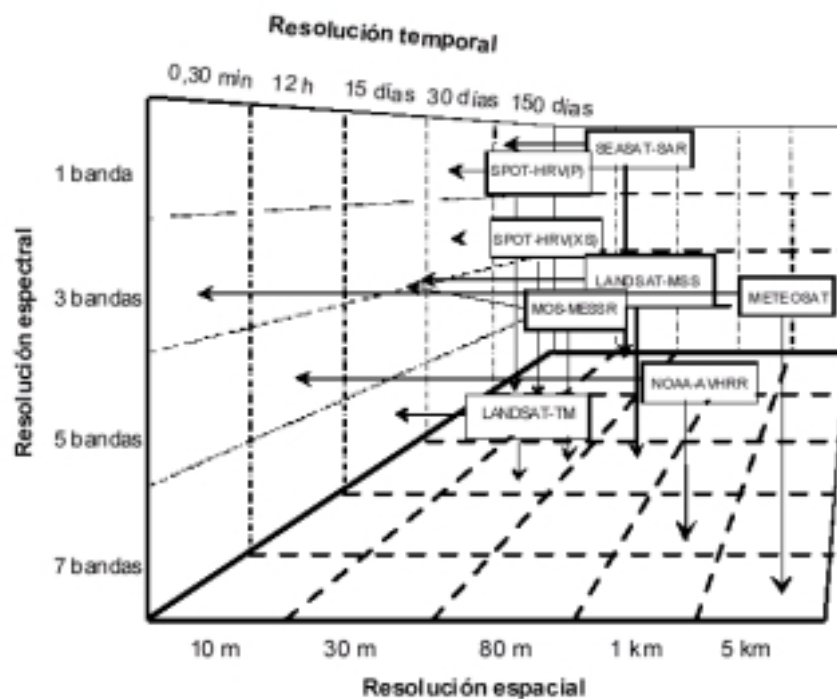
La cadencia temporal de los sistemas espaciales varía de acuerdo a los objetivos fijados para el sensor. Los satélites meteorológicos están obligados a facilitar una información muy frecuente, ya que se dedican a observar un fenómeno de gran dinamismo (30 minutos en el Meteosat). Por el contrario, los satélites de recursos naturales ofrecen una cadencia mucho menor (12 días en el Landsat).

### 3.1.5. Relación entre los distintos tipos de resolución

Todos los aspectos comentados en el apartado de resolución están íntimamente ligados. A mayor resolución espacial, disminuye habitualmente la temporal y es previsible que se reduzca también la espectral y radiométrica. El principal problema se encuentra en la transmisión de las imágenes a la superficie terrestre.

El aumento en cualquiera de los cuatro tipos de resolución, significa también un incremento considerable del volumen de datos que tanto el sensor como la estación receptora han de procesar. Por esta razón, los primeros Landat, dotados de media resolución espacial, espectral y radiométrica, poseían de un sistema de grabación a bordo que le permitía almacenar imágenes de áreas no cubiertas por la red de antenas receptoras.

En resumen, a la hora de diseñar un sensor remoto habrá que subrayar aquel tipo de resolución más conveniente a sus fines. Si está orientado a la detección de fenómenos efímeros en el tiempo, deberá realizarse su cobertura temporal, aun a costa de perder resolución espacial, como ocurre con los satélites meteorológicos. Si, por el contrario el sensor se orienta a exploración minera, el detalle espacial y espectral resulta más importante reduciéndose en consecuencia su ciclo temporal.



## 3.2. Tipos de sensores

Dependiendo de la fuente de radiación incidente en el sensor. Estos se pueden clasificar en dos categorías: *activos* y *pasivos*. Los *sensores activos* generan y recogen su propia radiación mientras que los pasivos se limitan a recibir la radiación electromagnética reflejada y/o emitida por la cubierta terrestre.

### 3.2.1. Sensores activos

#### 3.2.1.1. Sensores de radar

La radiación electromagnética entre las longitudes de onda de 1 mm y 300 cm constituyen la región de microondas del espectro electromagnético. Estas radiaciones penetran las nubes y este hecho constituye un importante factor en teledetección. Los sensores activos que trabajan en este rango se denominan *radares*.

Estos sensores tienen la ventaja sobre los sensores en el visible e infrarrojo de que son independientes de la hora solar y de las condiciones atmosféricas, por lo que pueden usarse sobre áreas de cobertura nubosa muy persistente y detectan rugosidad, pendiente y conductividad eléctrica. Su principal problema es su baja resolución espacial, el tamaño mínimo de un objeto identificable que es directamente proporcional a la longitud de onda y altura de la observación e inversamente proporcional al diámetro de apertura.

Para paliar este problema se emplea el Radar de Apertura Sintética (SAR) cuyo principio de operación se basa en el efecto Doppler que afecta a la observación realizada cuando existe un movimiento relativo entre el objeto y sensor.

Los radares pueden dividirse en seis variantes: monofrecuencia, multipolarizada, polarizada, circular, multifrecuencia, pancromática y policromática.

### 3.2.1.2. Lidar

Es un sistema activo que opera entre el ultravioleta y el infrarrojo cercano. Esta formado por un laser que emite radiación en pulsos o de manera continua que es recogida por medio de un sistema óptico.

Este sistema sólo es efectivo sobre área libres de nubes y tiene una resolución mayor que los sensores radar de microondas. Existen distintos sistema Lídár, de acuerdo a los principales tipos de dispersión: de Mie, Rayleigh y Raman, de resonancia de absorción diferencial y de fluorescencia inducida. Cada uno de estos tipos de Lídár se orientan a aplicaciones específicas. Hasta el momento, los más desarrollados son aquellos que intentan explorar situaciones atmosféricas: detección de aerosoles y partículas contaminantes del aire, medición de la humedad, presión y temperatura del aire, y estimación de la velocidad del viento.

En lo que se refiere a la teledetección de cubiertas terrestres, el Lídár más utilizados es el de fluorescencia inducida que permite detectar manchas de aceite, alga y contaminantes del agua, condiciones de humedad en la vegetación, contenido de pigmentos y cálculos de biomasa.

### **3.2.2. Sensores pasivos**

Entre los sensores pasivos cabe diferencias varias clases: fotográficos, exploradores de barrido, de empuje, cámaras vidicon y radiómetros de microondas.

#### **3.2.2.1.Sensores fotográficos**

Este tipo de sensores se siguen empleando en la actualidad, aunque en mucha menor medida que hace algunos años. Basan su funcionamiento en la impresión de la imagen enfocada en una película fotosensible. La escala de la fotografía depende de la longitud focal de la lente o sistema de lentes y de la altura del sensor sobre la superficie terrestre. Los sistemas basados en este principio se pueden dividir según varios criterios. De esta manera, según el tipo de película tenemos sensores pancromáticos, color e infrarrojo; según el número de objetivos, sensores mono o multibanda; el ángulo de observación, fotografía vertical y oblicua ... Los problemas de estos sensores es que sólo pueden emplearse de día, las nubes son un gran problema y la película es de un solo uso. Como es obvio su utilización en satélites es nula siendo su campo de aplicación en plataformas aéreas.

#### **3.2.2.2.Exploradores de vidicon**

Se trata de un sistema a la cámara de televisión, que puede trabajar en forma pancromática o multibanda. En estos sistemas la imagen se enfoca sobre un fotoconductor y se construye una réplica electrónica de la imagen óptica. Esta copia se mantiene hasta que un haz de electrones escanea de nuevo la superficie y restaura el equilibrio de partida. En el caso del RBV (Return Beam Vidicon), instalados en los Landsat, la señal deriva de la porción no usada del haz de electrones que retorna por la misma trayectoria del rayo incidente y se amplifica en un multiplicador de electrones. Este sensor tiene mayor sensibilidad a bajos niveles de luz y mayor resolución que el vidicon ordinario operando simultáneamente en cada banda. Estas cámaras han demostrado ser muy valiosas al proporcionar datos en tiempo real o casi real, especialmente de satélites meteorológicos.



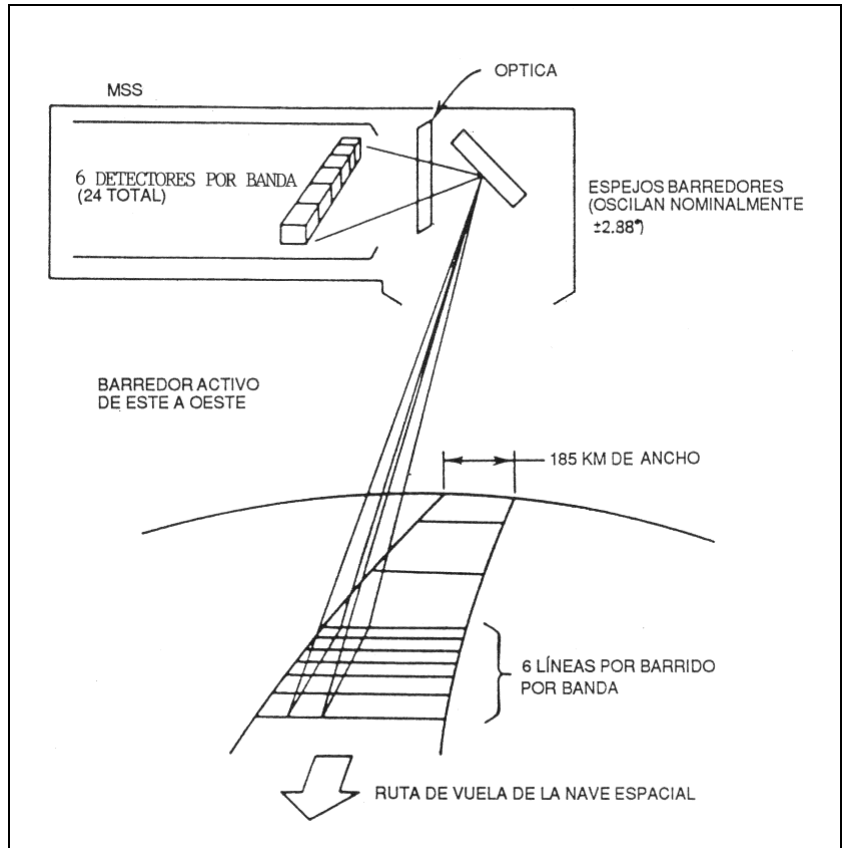
### 3.2.2.3. Radiómetros de microondas.

Aunque las intensidades de la radiación de microondas son muy bajas comparadas con las de otras longitudes de onda, tienen la gran ventaja de que la cubierta nubosa no representa un obstáculo. Consta de un elemento direccional, un receptor que selecciona y amplifica la señal y un detector. En estos sistemas el IFOV (Instantaneous Field Of View) es circular con resolución espacial proporcional al diámetro de apertura. Las principales características de este tipo de sensores son su baja resolución espacial, el ancho rango observable de emisividad superficial y su independencia de las condiciones atmosféricas. El primer factor es también la mayor limitación del sistema, sin embargo se han utilizado con éxito en cartografía de hielo y nieve gracias a ser muy sensible a bajas temperaturas así como en hidrología y oceanografía.

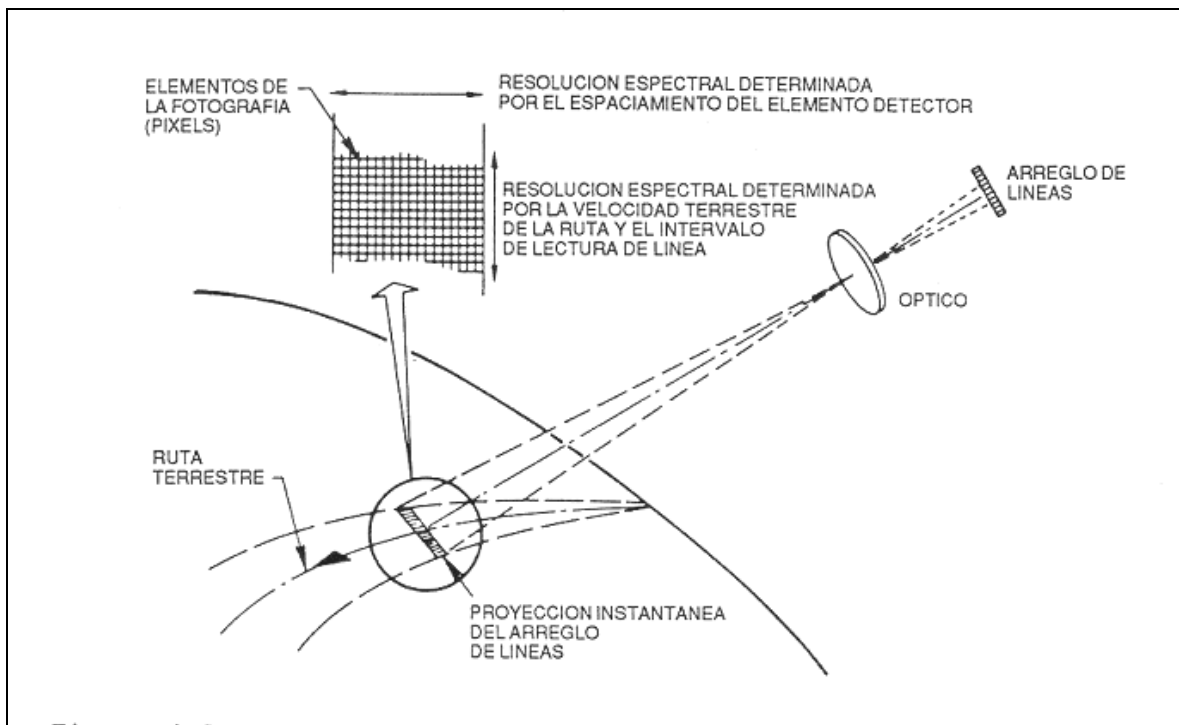
### 3.2.2.4. Exploradores de barrido y de empuje

Los exploradores de barrido suelen estar formados por un espejo móvil que oscila perpendicularmente a la trayectoria del satélite y escanea una línea de terreno a ambos lados de la *traza* del satélite. La radiación recibida en el espejo llega a una serie de detectores que la convierten en un valor numérico y los datos son transmitidos a tierra para su posterior procesamiento. La señal recibida desde el espejo se muestrea a intervalos regulares y conforma la unidad mínima de información adquirida por el sensor. Para sensores multiespectrales, la señal se compone en diversas longitudes de onda que son dirigidas hacia detectores sensibles a dichas radiaciones.

Los exploradores de empuje (pushbroom) eliminan el espejo oscilante e incorporan una matriz lineal de detectores. Cada elemento de una línea corresponde a un detector y la imagen se forma a medida que el satélite se mueve a lo largo de su trayectoria. Este sistema mejora la relación S/N de los mecanismos en los que un solo detector explora cada línea secuencialmente. Dado que el tiempo disponible para explorar cada línea es limitado, dado que el tiempo disponible de observación para cada punto se incrementa teóricamente se pueden obtener mejores resoluciones espectrales y radiométricas.



**Explorador de barrido (MSS del LANDSAT)**



**Explorador de empuje**

## 4. EL PROGRAMA LANDSAT

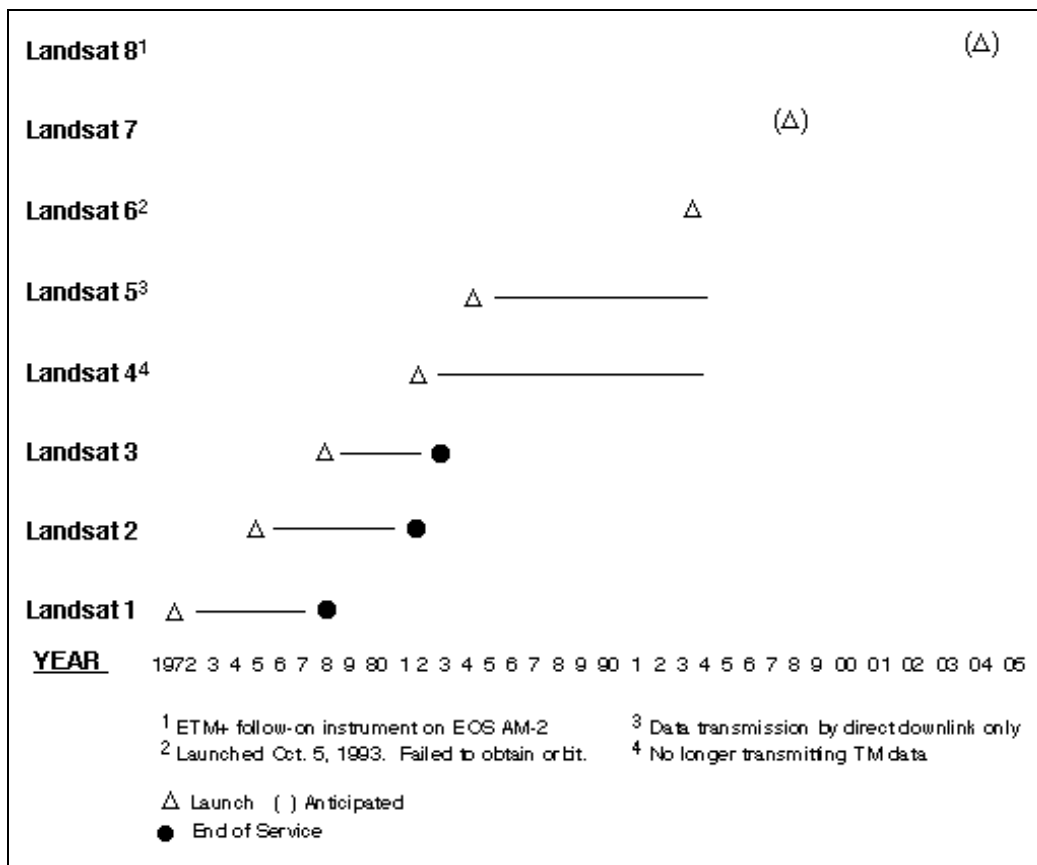
Gracias a los brillantes resultados que proporcionaron las primeras fotografías espaciales, la agencia espacial norteamericana (NASA) diseñó a finales de los años 60 el primer proyecto dedicado exclusivamente a la observación de los recursos terrestres. Fruto de estos trabajos fue la puesta en órbita del primer satélite de la serie ERTS (Earth Resource Technology Satellite) el 23 de Julio de 1972. Esta familia de satélites fue rebautizada como Landsat a partir del segundo lanzamiento, en 1975 (Landsat 2).

Entre los satélites de recursos, el programa Landsat puede considerarse el más fructífero puesto que ha proporcionado datos multiespectrales de alta resolución a una amplia gama de usuarios durante más de 25 años, lo que representa el registro más largo de información sobre la superficie terrestre obtenido de forma global y repetitiva desde el espacio.

A mediados de los 80, el programa Landsat entra en una nueva etapa en cuanto a financiación y funcionamiento con la transferencia del programa al sector privado. En 1985 la compañía EOSAT recibe los derechos para vender productos Landsat por un período de 10 años con el compromiso de participar en el desarrollo de futuros sensores. El gobierno mantenía la responsabilidad en el control físico de la plataforma y se comprometía a colaborar en el desarrollo de los Landsat 6 y 7.

Recortes presupuestarios pusieron en entredicho este compromiso y se temió por la continuidad de los Landsat. Ante las presiones de la comunidad científica y profesional, en 1992 una nueva ley, devuelve la gestión del programa al gobierno y se adquieren compromisos para una financiación estable que asegure la continuidad del Landsat 6 y 7 en los 90.

El Landsat 6 se lanzó en 1993 pero por fallos de comunicación con la plataforma no se ubicó en la órbita precisa y se perdió. Este fracaso y el dudoso éxito de la gestión privada hizo temer por el futuro de estos satélites. No obstante, se inicia el proyecto Landsat 7 bajo un programa en el que participan 3 agencias: la NASA es responsable del desarrollo y lanzamiento del satélite y del sector de tierra, la NOAA se encarga de su operación y mantenimiento durante todo el tiempo de vida del satélite, y la USGS recoge, procesa y distribuye los datos y se encarga de mantener el archivo de datos.



### Historia de la cobertura del programa LANDSAT

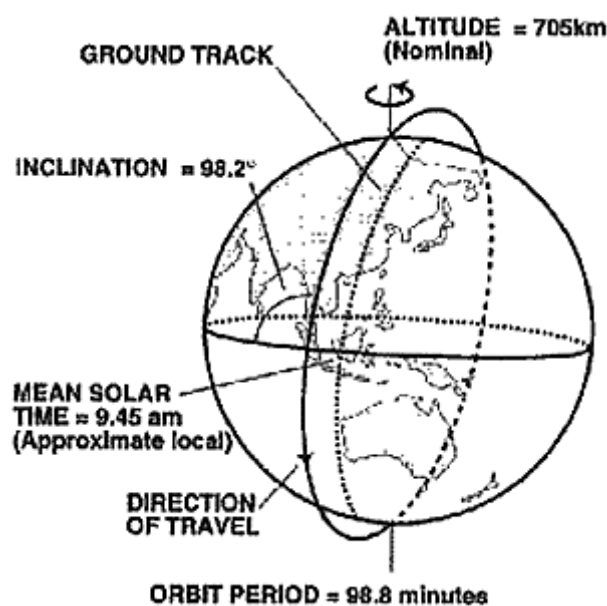
Este proyecto ha culminado con el lanzamiento en 1999 del Landsat 7, que se espera tenga una vida de cinco años. El Landsat 7 parece abrir nuevas expectativas en la distribución y comercialización de los datos con el abaratamiento de los productos y el consiguiente acceso a un mayor número de usuarios.

#### 4.1. Características orbitales

Los primeros tres satélites de la serie tenían unas características similares. El peso total del sistema se aproximaba a los 960 Kg. Su órbita era heliosíncrona, esto es que pasa por el mismo lugar a la misma hora, polar, ligeramente inclinada (99.1 grados). Con una altura orbital media de 917 Km, circundaba la tierra cada 103 minutos, con lo que realizaba 14 órbitas diarias para volver sobre la misma porción de la superficie terrestre a los 18 días, y a la misma hora local (entre 9:30 y las 10:30 según latitudes).

Con el fin de reducir al máximo las alteraciones en las condiciones de observación se dotó a los satélites de un sistema de estabilización según tres ejes, orientados hacia la superficie terrestre y la vertical del punto *nadir*. Las correcciones en la órbita, por tanto, se hacían desde las estaciones terrestres, lo que confería una gran estabilidad en la toma de datos.

Los satélites posteriores (4 ... 7) modificaron su forma y sus característica orbitales. La altura de vuelo se reduce de 917 a 705 Km, aunque se mejora el ciclo de recubrimiento, de 18 a 16 días, gracia a su menor periodo orbital (98.9 grados). Sin embargo, el momento de adquisición se mantiene en torno a las 9:45 hora local en nuestras latitudes.



## 4.2. Instrumentos de observación

En lo que a equipamiento se refiere el programa Landsat puede ser estructurado en 3 generaciones. Una primera fase constituida por los Landsat 1, 2 y 3 cuyo equipamiento estaba formado por una explorador de barrido multiespectral MSS (Multispectral Scanner) y un conjunto de tres cámaras vidicon RBV (Return Beam Vidicon).

Los satélites de la segunda generación Landsat 4 y 5 mantienen el sensor MSS para garantizar la continuidad de los datos anteriores, eliminan las cámaras RBV e incorporan un nuevo sensor denominado TM (Thematic Mapper) diseñado para la cartografía temática que proporciona datos de mayor resolución espacial, espectral y radiométrica

Con el lanzamiento del Landsat 7 (ya que el 6 no llegó a funcionar) se entra en una versión mejorada de la segunda generación con la incorporación de una versión actualizada del TM denominado ETM (Enhanced Thematic Mapper).

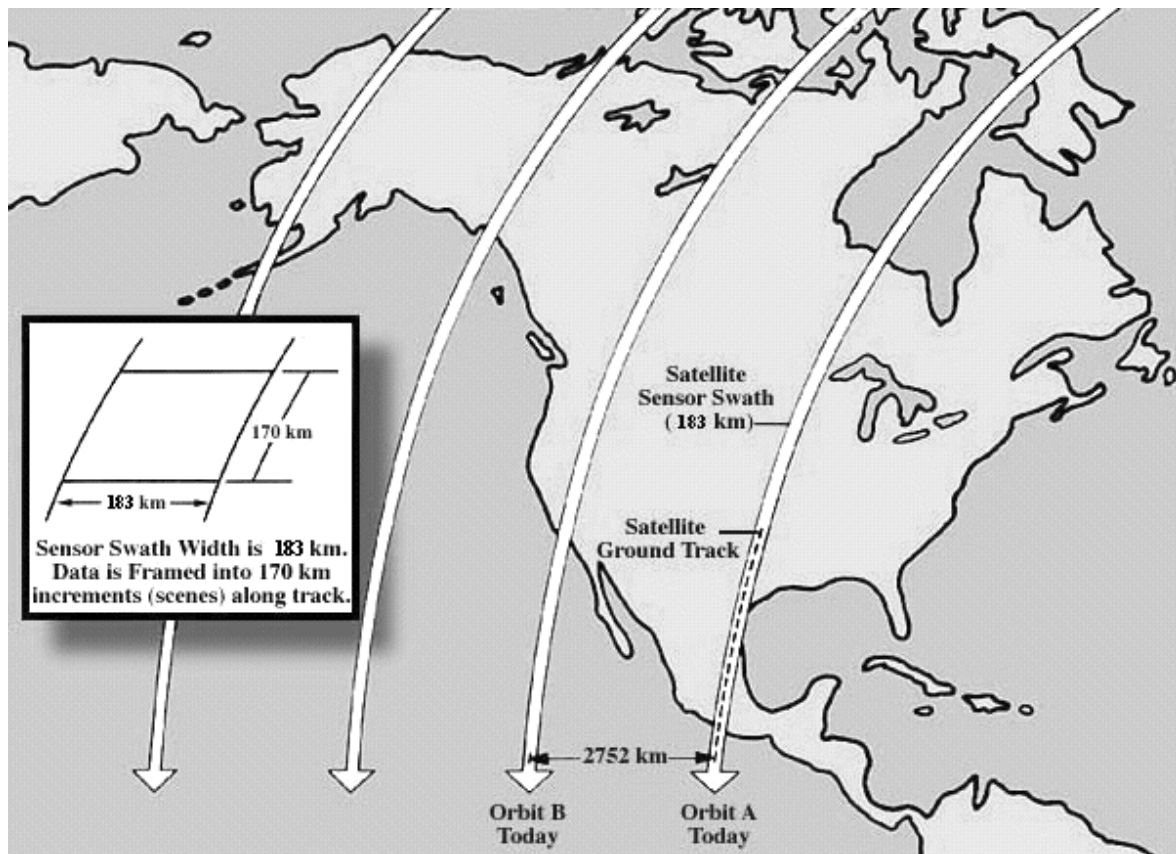
En los siguientes apartados vamos a resumir las características más importantes de cada uno de estos sensores.

La tabla siguiente resume la información más relevante de cada uno de los satélites que conforma la serie Landsat.

Satélite	Lanzamiento (fin servicio)	Altitud (km)	Periodicidad (días)	Sensor	Banda: intervalo espectral ( $\mu\text{m}$ )	Resolución espacial (m)
Landsat 1	23/07/72 06/01/78	917	18	RBV	(1) 0.48 0.57 (2) 0.58 0.68 (3) 0.70 0.83	80 80 80
				MSS	(4) 0.5 0.6 (5) 0.6 0.7 (6) 0.7 0.8 (7) 0.8 1.1	79 79 79 79
Landsat 2	22/01/75 25/02/82	917	18	Idéntico al Landsat 1		
Landsat 3	05/03/78 31/03/83	917	18	RBV	(1) 0.5 0.75	40
				MSS	(4) 0.5 0.6 (5) 0.6 0.7 (6) 0.7 0.8 (7) 0.8 1.1 (8) 10.4 12.6	79 79 79 79 240
Landsat 4	16/07/82 (83)	705	16	MSS	(4) 0.5 0.6 (5) 0.6 0.7 (6) 0.7 0.8 (7) 0.8 1.1	82 82 82 82
				TM	(1) 0.45 0.52 (2) 0.52 0.60 (3) 0.63 0.69 (4) 0.76 0.9 (5) 1.55 1.75 (6) 10.4 12.5 (7) 2.08 2.35	30 30 30 30 30 120 30
Landsat 5				Idéntico al Landsat 4		
Landsat 6	05/10/93 05/10/93	705	16	Fallos en el sistema		
Landsat 7	15/04/99	705	16	ETM+	(1) 0.45 0.52	30
					(2) 0.53 0.61	30
					(3) 0.63 0.69	30
					(4) 0.78 0.9	30
					(5) 1.55 1.75	30
					(6) 10.4 12.5	120
					(7) 2.09 2.35	30
PAN 0.5 0.90	15					

### 4.2.1. Sensor MSS

El sensor MSS es un equipo de barrido óptico-electrónico con un campo total de visión de 11.56 grados, lo que a la altura orbital del satélite, le permite explorar una franja de terreno de 185 Km, divididos a ambos lados de la vertical de la traza.



Con objeto de acoplar la secuencia de barrido a la velocidad del satélite, el sensor MSS registra seis líneas simultáneamente con cada oscilación del espejo. La radiación recibida por el sistema focal se transmite a un sistema óptico que la descompone en cuatro bandas, y la envía a distintos detectores. Por tanto, el MSS dispone de 24 detectores (6 líneas x 4 bandas), compuestos por foto-diodos de silicio (banda 7), y por tubos foto-multiplicadores (banda 4 a 6). En el caso del Landsat 3, se añadió una banda térmica (banda 8), registrada por detectores de mercurio-cadmio-telurio.



Una escena adquirida por el sensor MSS comprende 2.340 líneas de barrido y 3.240 columna por línea. Cada pixel corresponde a una superficie real de 79 m de lado (0.62 Ha), si bien en la transformación digital se le asigna un formato nominal de 57 x 79 m, lo que explica la disimetría final entre el número de líneas y de columnas en la imagen. En los primeros MSS la resolución espectral era de 7 bits (0 a 127) para las banda 4 a 6, 6 bits (0 a 63) para la banda 7. Los MSS de la segunda generación codificaban las cuatro bandas con 8 bits (0 a 255).

Los sensores MSS cubrían 4 bandas de análisis. Las bandas visibles (4 y 5) permitía la detección de aspectos antrópicos, como áreas urbanas o vías de comunicación a la vez que podían proporcionar información sobre la calidad de la aguas. Las dos bandas del infrarrojo cercano (6 y 7) permitían registrar parámetros vitales en la actividad de las plantas, además de ser especialmente sensibles a la humedad.

#### 4.2.2. Sistema Vidicon

Los dos primeros satélites Landsat incorporaron un sistema de tres cámaras RBV, cada una de las cuales registraba información en una banda espectral comprendida entre el verde y el infrarrojo cercano. Su resolución espacial se cifraba en 80 m, cubriendo por lo tanto la misma superficie del sensor MSS.

Este sistema no funcionó adecuadamente en los dos primeros Landsat, por lo que fue sustituido en el tercero por otro sistema Vidicon. En este caso, el planteamiento se dirigió más a mejorar la resolución espacial que la espectral, por lo que se montaron dos cámaras pancromáticas de alta resolución operando simultáneamente con el MSS. Estas cámaras cubrían un abanico espectral de 0.505 a 0.705  $\mu\text{m}$ , proporcionando, en cuatro adquisiciones, la misma cobertura del MSS, pero con una resolución aproximada de 40 m. El registro entre ambas permitió utilizar el RBV como auxiliar del MSS, especialmente para mejorar la calidad visual de sus imágenes. Para ello, se emplearon diversas técnicas de fusión, como la normalización de bandas MSS, a partir de la proporcionada por RBV, o la transformación HSI.

En el campo de las aplicaciones temáticas, el RBV se ha utilizado en estudios morfológicos y en cartografía de la cubierta del suelo, si bien la escasa pervivencia de este sensor ha reducido sensiblemente su rango de aplicaciones.

### 4.2.3. Sensor Thematic Mapper (TM) y el ETM+.

En la segunda generación del programa Landsat se introdujo un nuevo tipo de sensor, denominado Thematic Mapper (TM), diseñado para la cartografía temática.

Al igual que su predecesor, el MSS, el Thematic Mapper es un equipo de barrido multi-espectral. Frente al MSS, el TM aumenta el número de detectores, de 24 a 100, a la vez que se reduce el IFOV, se aumenta los niveles de codificación y se realiza el barrido en dos direcciones. Todo ello le permite mejorar la resolución espacial, espectral y radiométrica: de 79 a 30 m, de 4 a 7 bandas, y de 6 a 8 bits.

En el TM, cada oscilación del espejo supone 16 líneas de barrido, frente a 6 en el MSS. De esta forma se precisan 16 detectores por banda, salvo la banda térmica que registra una menor resolución (120 m) y solo requiere cuatro detectores. Este aumento en el número de detectores complica el proceso de calibración, a la par que aumenta el volumen de datos a procesar (6 veces superior al MSS). Los detectores están formados por tubos de silicio, para la bandas 1 a 4, indio-antimonio para las bandas 5 y 7, y mercurio-cadmio-telurio para la banda 6.

El diseño del TM pretendió paliar las deficiencias observadas en la imágenes MSS, incorporando información de cuatro bandas del espectro no contempladas en el MSS (azul, dos en el infrarrojo medio y una en el térmico), mientras se sustituían las bandas 6 y 7 del sensor, ambas en el infrarrojo cercano, por una sola.

Con esta nueva configuración, los Landsat de segunda generación permitieron una sensible mejora en las aplicaciones terrestres y marinas sobre el sensor MSS: detección de turbideces y contaminantes en el agua (banda azul), exploración minera (infrarrojo medio), contenidos de humedad en las plantas y suelo (infrarrojo medio), detección de focos de calor (infrarrojo medio y térmico) además de mantener las ya existentes para el MSS.

Por la parte de los inconvenientes de este sensor frente al MSS fue su coste y el gran volumen de datos que se generaban. A modo de ejemplo decir que una sola imagen del TM era 6 veces más cara que una adquirida por el MSS (sobre el mismo territorio). Por otro lado la cantidad de datos suponía 231 millones de pixels, frente a los 28 millones de una imagen MSS, lo que para la época suponía un problema ya que se precisaban computadoras de elevadas prestaciones para poder manipularlas.

En la actualidad el Landsat 7 está equipado con una versión mejorada del TM denominado ETM+ (Enhanced Thematic Mapper) por lo que todo lo explicado en este apartado para el TM es de aplicación para el ETM+. El ETM+ incorpora a mayores una banda pancromática (0.5 a 0.9  $\mu\text{m}$ ) con una resolución espacial de 15 m, lo que permite obtener ampliaciones a una escala de hasta 1:25.000.

### 4.3. Transmisión, procesado y distribución de la información

Las imágenes obtenidas de los distintos sensores dan lugar a una gran cantidad de información que debe ser transmitida lo antes posible con el fin de no saturar la memoria del satélite. Para ello, LANDSAT dispone de una red de 13 estaciones distribuidas a lo largo del planeta para el envío de esta información.

Ground Station	FY 1999 4th Qtr	FY 2000 1st Qtr	FY 2000 2nd Qtr	FY 2000 3rd Qtr	FY 2000 4th Qtr	Total Scenes	Scenes by Cooperator	Start of Operations
<b>Argentina</b> - Cordoba Nat'l. Commission for Space Activities (CONAE)	1,456	2,297	2,327	2,397	2,420	10,897	10,897	July 18, 1999
<b>Australia</b> ASA - Alice Springs Australia Centre for Remote Sensing (ACRES)	2,856	3,469	3,236	2,851	2,906	15,318	17,225	July 6, 1999
<b>Australia</b> HOA - Hobart Australia Centre for Remote Sensing (ACRES)	404	425	427	333	318	1,907		July 14, 1999
<b>Brazil</b> CUB - Cuiaba Nat'l. Institute for Space Research (INPE)	2,418	3,150	2,097	0	0	7,665	7,665	July 8, 1999
<b>Canada</b> GNC - Prince Albert Canada Centre for Remote Sensing (CCRS)	1,345	1,362	1,269	2,229	2,208	8,413	31,799	July 6, 1999
<b>Canada</b> PAC - Gatineau Canada Centre for Remote Sensing (CCRS)	5,170	3,630	1,726	6,444	6,416	23,386		July 6, 1999
<b>China</b> BJC - Beijing China Academy of Science Remote Sensing Satellite Ground Station (BSGS)	0	0	1,714	2,412	2,960	7,086	7,086	March 1, 2000
<b>ESA</b> FUI - Fucino, Italy European Space Agency	2,460	3,169	3,088	3,148	2,868	14,733	58,945	July 8, 1999
<b>ESA</b> KIS - Kiruna, Sweden European Space Agency	4,703	2,633	3,337	3,917	3,919	18,509		July 8, 1999
<b>ESA</b> MPS - Maspalomas, Spain European Space Agency	0	385	1,098	692	83	2,258		Dec. 14, 1999
<b>ESA</b> NSG - Neustrelitz, Germany European Space Agency	4,512	5,147	5,185	4,829	3,772	23,445		July 15, 1999
<b>Indonesia</b> ORI - Parepare Indonesia Nat'l. Institute of Aeronautics & Space (LAPAN)								Anticipated Oct.-Nov. 2000
<b>Japan</b> HEJ - Hiroshima Nat'l. Space Development Agency (NASDA)	0	0	425	1,992	1,240	3,657	5,214	March 1, 2000
<b>Japan</b> HAJ - Hatoyama Nat'l. Space Development Agency (NASDA)	0	0	0	483	1,074	1,557		May 1, 2000
<b>TOTALS</b>	<b>25,324</b>	<b>25,667</b>	<b>25,929</b>	<b>31,727</b>	<b>30,184</b>	<b>138,831</b>	<b>138,831</b>	

Los datos adquiridos sobre Europa son recibidos en las cuatro estaciones de la ESA (Kiruna, Neustrelitz, Fucino y Maspalomas) y distribuidos a través de la empresa Eurimage.

En el pasado en el caso de que un satélite no se encontrara bajo la cobertura de alguna antena terrestre, los primeros Landsat incorporaban un sistema de grabación a bordo denominado WBVTR ( Wide Band Video Tape Recorders), que permitía adquirir imágenes de áreas remotas. En el Landsat 7 el WBVTR ha sido sustituido por un registrador de estado sólido con una capacidad de almacenamiento de 378 Gigabits, que puede recoger 42 minutos de datos procedentes del ETM+ y 29 horas de datos de telemetría de manera concurrente. Posteriormente serán transmitidas a la estación terrestre más cercana.

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

Las imágenes Landsat7 están disponibles en 2 niveles, Level 0 y Level 1. El Level 0, o más conocido como Level 0R, son imágenes donde no se han aplicado ningún tipo de corrección. A partir de las imágenes Level 0R se pueden aplicar correcciones radiométricas, pasando a ser Level 1R o bien con correcciones radiométricas y geométricas Level 1G.

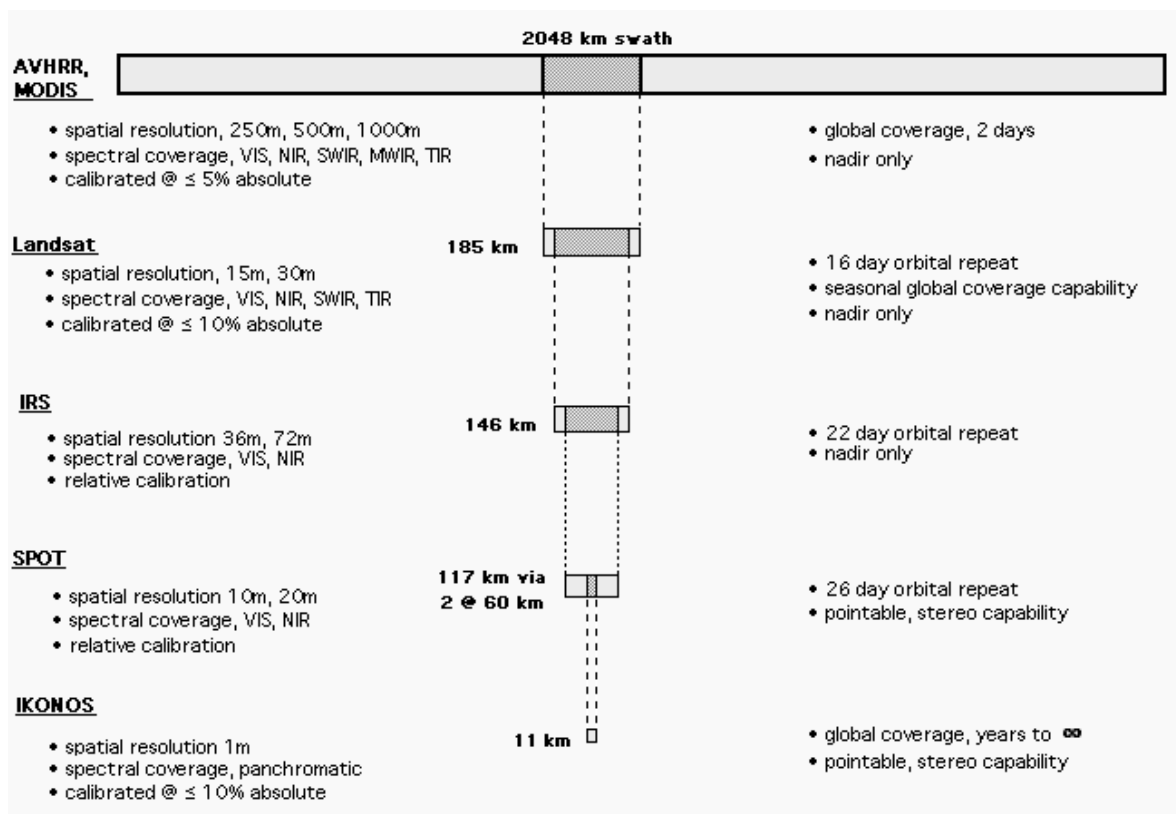
La siguiente tabla resume los productos Landsat 7 que se pueden adquirir, formatos de distribución y precio.

<b>Product</b>	<b>Description</b>	<b>Format</b>	<b>Media</b>	<b>Price</b>
Level 0R	Image data as transmitted from the satellite, processed into "pixels"	HDF	8mm, ftp	\$475
Level 1R	L0R data input, radiometrically corrected, gain and bias applied, no scan correction applied	HDF	8mm, ftp, CD	\$600
Level 1G	L0R data input, radiometrically and geometrically corrected, map projection applied	HDF, GeoTIF, FastL7a	8mm, ftp, CD	\$600

#### 4.4. Landsat versus ....

La siguiente tabla visualiza las características más destacables de distintos tipo de satélites dedicados a la teledetección. Vemos que el Landsat combina una serie de características como es una buena resolución espacial (15 o 30 m) con una gran cobertura espectral (VIS, NIR, SWR, TIR) con un ciclo orbital corto y un ancho valor de traza (swath).

A esto hay que sumarle un archivo retrospectivo de 25 años de operatividad lo que le confiere un lugar privilegiado dentro de los satélite de teledetección.



VIS : Espectro visible.  
 NIR: Infrarrojo cercano.  
 SWIR: Infrarrojo de onda corta.  
 TIR: Infrarrojo térmico.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Fundamentos de teledetección espacial / Emilio Chuvieco (1990)
- Elementos de teledetección / Carlos Pinilla (1995)
- Aplicación de la tecnología de percepción remota a las pesquerías marinas: manual introductorio / FAO (1990)
- Landsat 7 Program Report FY2000 (pdf incluido en el CD)

## 6. RECURSOS DISPONIBLES EN INTERNET

- [http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook\\_toc.html](http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_toc.html)  
(Página oficial del Landsat 7).
- <http://www.aeroterra.com.ar/HTMs/landsat7ETM.htm>  
(Página de la empresa Aeroterra)
- <http://landsat.gsfc.nasa.gov>  
(Web de la Nasa sobre el Landsat)
- <http://landsat7.usgs.gov>  
(Web de la USGS sobre el Landsat)