

Misiones, plataformas y características de los sensores de teledetección

Editado por Ing. Manuel A. Pesantez G., Mg. Sc.



Ing. Manuel A. Pesantez G.

Indudablemente una de las disciplinas de la Física de mayor desarrollo en las últimas décadas es la teledetección, el alto crecimiento de diseños innovadores de plataformas, instrumentación y sensores remotos que permiten capturar, almacenar y transmitir imágenes a distancia.

La Teledetección trata de la adquisición de datos desde sensores de radiación instalados en plataformas espaciales y su posterior tratamiento para obtener información acerca de nuestro entorno. Es una disciplina que se basa en magnitudes medibles y en hipótesis contrastables que requiere una buena capacidad de análisis y síntesis que ofrece a la sociedad resultados directos que mejoran nuestro conocimiento del mundo físico.

Dentro de la teledetección podemos englobar a productos meteorológicos, aplicaciones destinadas a mejorar los rendimientos agrícolas, al cartografiado del terreno, al control de las sequías y los desastres naturales, a la búsqueda de nuevos yacimientos mineros a la gestión forestal, a la ordenación del territorio, entre otros, no ha hecho más que comenzar ya que se trata de una disciplina joven. La teledetección suministra mapas temáticos de nuestro planeta, rasgos y parámetros de interés relacionados el agua, el suelo, los cultivos y la vegetación natural suministrando información periódica y actualizada, facilitando el seguimiento continuo y a largo plazo y ayudando en la toma de decisiones a los gestores en tales ámbitos. Provee una forma de estudio de zonas sin acceso y con mínimo apoyo

La difusión de la tecnología electrónica y características de los sensores es poco difundida, por eso, este documento trata de explicar los elementos de la instrumentación sensorial y explicar sus características ópticas radiactivas que los identifican, para ello describiremos primero, los elementos involucrados en un proceso de teledetección

desde satélites, se muestran en la Figura 1. El primer requerimiento supone disponer de una fuente de energía que ilumine o provea energía al objeto de interés (cultivo, bosque, mar, ciudad, etc.). El caso más habitual consiste en que esa fuente sea el Sol. La radiación solar, en su “viaje” hacia la Tierra, atraviesa e interacciona con la atmósfera. Una vez alcanza la superficie terrestre interactúa con los objetos que en ella se encuentran. La radiación reflejada dependerá de las características de esos objetos, permitiendo distinguir a unos de otros. Un sensor a bordo de un satélite recoge y graba esa radiación reflejada por la superficie terrestre y la propia atmósfera

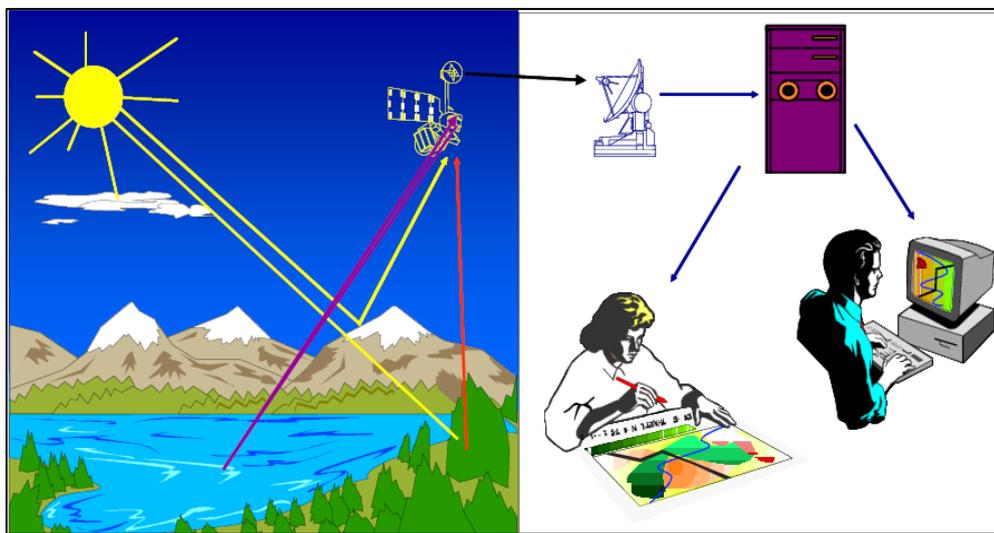


Figura 1: Elementos de un sistema de teledetección. Fuente: Chuveco, 2008

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

Características orbitales de los satélites de teledetección: En general los satélites de observación de la tierra describen dos tipos de órbitas, (1) heliosíncronas y (2) geoestacionarias, los satélites de teledetección quedan definidas por la altitud, orientación y rotación con respecto a la tierra, están inclinadas 90° respecto al plano del

Ecuador. La mayor parte de los satélites de teledetección se diseñan para seguir una órbita norte a sur, la cual, en conjunción con la rotación de tierra (de oeste a este), les permite cubrir la mayor parte de la superficie terrestre durante un cierto periodo de tiempo, los satélites de órbita heliosíncronas siempre tienen la misma hora de paso. La figura 2 muestra la trayectoria orbital de un satélite de teledetección y de comunicaciones, el satélite ENVISAT y barrido del sensor MIDAS.

En teledetección hay 4 elementos esenciales que los caracteriza: a) una **plataforma** para sostener el instrumento, b) un **objeto** que se va a observar, c) un instrumento **sensor** para observar el objeto y la **información** que se obtiene con los datos de la imagen y cómo se emplea y almacena esta información.

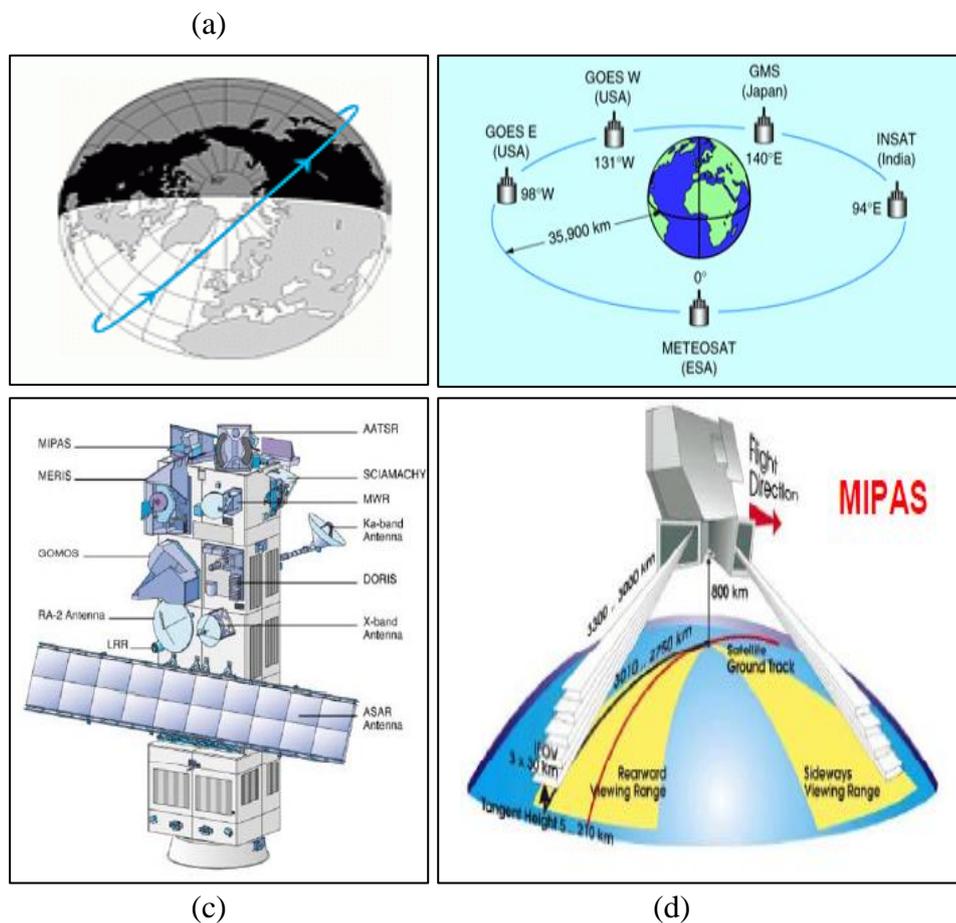


Figura 2: (a) Órbita heliosíncrona, (b) órbita geoestacionaria, (c) satélite ENVISAT con sus 10 instrumentos y (d) ancho de barrido del instrumento MIPAS. Fuente: ESA. 2023.

Los satélites de observación terrestre varían en función del tipo de órbita que describen, la carga útil que lleven a bordo y, en cuanto a los instrumentos de generación de imágenes, la resolución espacial, las características espectrales y la amplitud de franja

de los sensores. Todos esos parámetros se definen al principio de la misión, dependiendo de la aplicación a la que se vaya a destinar el satélite.

Para monitorizar la meteorología a gran escala y alta frecuencia, es conveniente que el satélite se sitúe en una órbita geostacionaria. En esa órbita, el satélite tiene una visión constante de casi un hemisferio entero. Sin embargo, si la órbita es muy alta (de unos 36.000 km sobre la Tierra), es difícil obtener una elevada resolución espacial. Por otra parte, para aplicaciones como el seguimiento de nubes sobre los continentes, no se requiere una resolución espacial elevada.

En las aplicaciones que requieren imágenes de alta resolución de una zona específica, como la monitorización del lago de un glaciar o la captación de los edificios destruidos por un terremoto, es necesario utilizar un sensor de alta resolución. Normalmente, un sensor de ese tipo capta una franja estrecha y se encuentra en un satélite de órbita terrestre baja (LEO, Low Earth Orbit), por ejemplo, a unos 600 km de la Tierra, como en el caso del satélite QuickBird. Desde esa órbita no se puede monitorizar continuamente la misma zona, debido al movimiento relativo del satélite respecto a la Tierra, sólo se pueden captar imágenes de una zona determinada cuando el satélite pasa sobre ella.

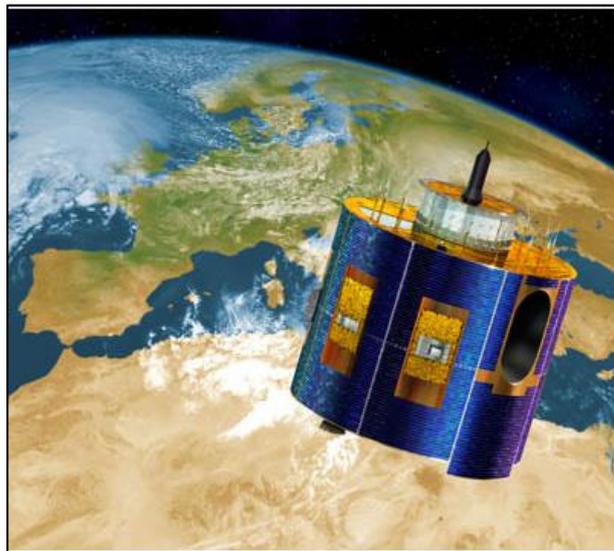


Figura 3: Representación artística del MSG (Meteosat de segunda Generación). Fuente:ESA

Tipos de satélites según la misión: los satélites pueden caracterizarse según las principales misiones de satélites de observación terrestre (figura 4)

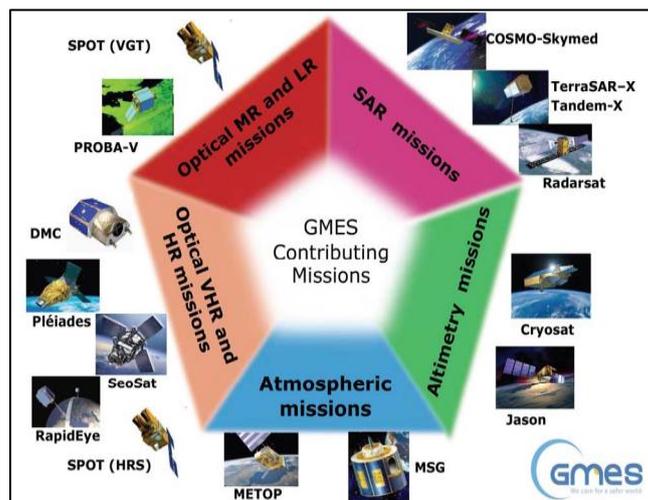


Figura 4: Misiones de contribución GMES (Global Monitoring for Environment and Security) hoy Copérnico

De cada misión se ofrece información sobre la órbita del satélite, la carga útil y las aplicaciones de observación terrestre para las que se ha creado y en el contexto internacional las misiones contributivas se desarrollan por la observación y exploración de los medios físicos naturales, la tabla 1 muestra algunos satélites según la misión de aplicación.

Tabla 1. Algunos satélites según la misión

Satélites de observación terrestre	Satélites meteorológicas	Satélites de exploración de la tierra	Satélites comerciales de alta resolución óptica
Landsat	Meteosat	GOCE	IKONOS
ERS	Meteosat de segunda generación	SMOS	QuickBird
RESURS	MetOp	CryoSat-2	WorldView
Envisat	NOAA		
SPOT			

Los futuros programas de observación de la tierra permitirán crear nuevos sistemas multiespectrales de muy alta resolución espacial de (0.5 / 1 / 5 m) o sistemas hiperespectrales que identifiquen la química de la superficie, o aquellos sistemas multiangulares en alta resolución que permita describir propiedades estructurales de las coberturas, además el empleo de nuevos sistemas de radar diferente al de la banda C se han implementado nuevos sistemas de radar en banda X / K / L / P / Ku, entre otros. Los radares de banda X son empleados en el estudio de la rugosidad del suelo (erosión), los

de la banda L estudian la penetración en el suelo (humedad) y cada banda tiene su aplicación específica que se quiera estudiar. Por otro lado, los sistemas en teledetección se describen como; a) sistemas de laboratorio (medidas de campo, diseño de sistemas avión/satélite), b) sistemas aerotransportados (pruebas de sensores, análisis de sistemas operacionales, simuladores de futuros satélites), c) sistemas espaciales (operacionales, experimentales)

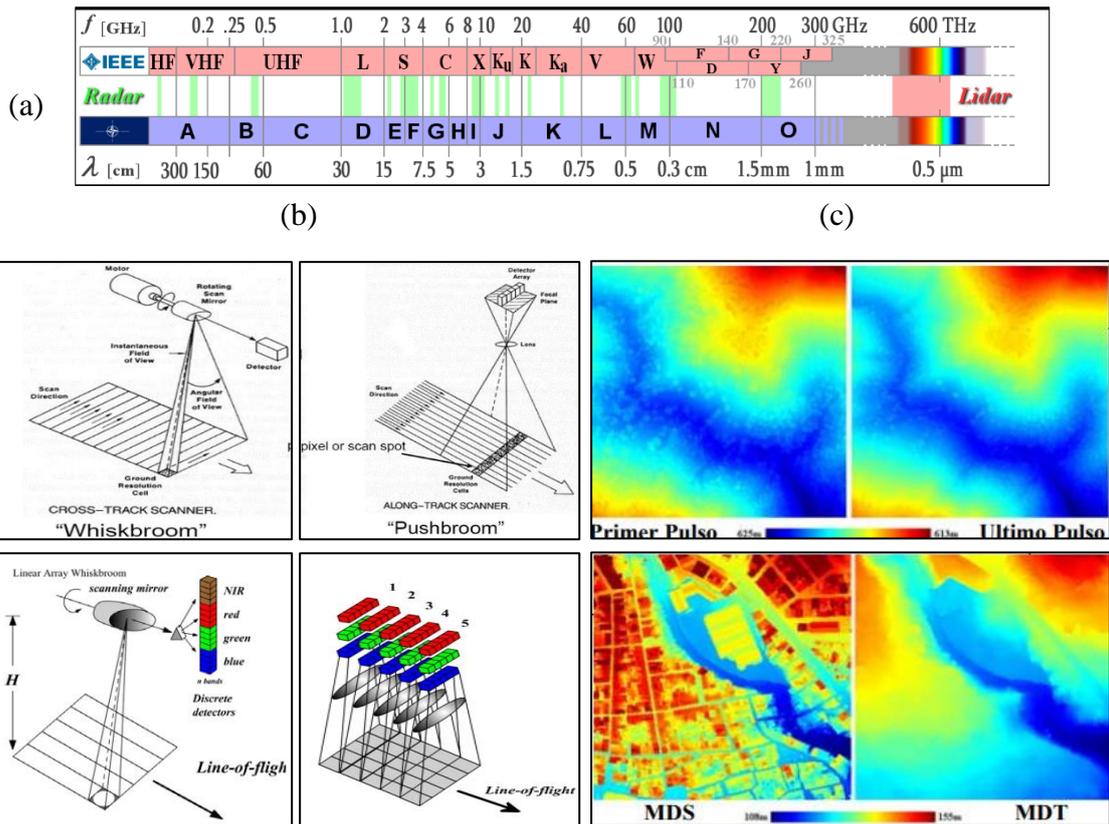


Figura 5: (a) bandas de frecuencia para radar, b) barrido de satélites de bandas multispectrales c) imágenes de radar MDS y MDT y d) modelo de elevación digital realizado con radar. Fuente:

Plataformas y sensores remotos: los sensores instalados en los satélites de teledetección poseen una serie de particularidades que determinan las características de las imágenes que van a proporcionar (Labrador et al., 2012).

Las plataformas son los satélites (LANDSAT, METEOSAT, NOAA, SPOT) o aviones que transportan los instrumentos necesarios para captar, almacenar y transmitir imágenes a distancia, por otro lado, los sensores son los que reúnen la tecnología necesaria para captar imágenes a distancia y que es transportado en una plataforma. Puede captar información para diferentes regiones del espectro y cada región se lo denomina canal o banda.

Los sensores son los elementos principales de los satélites y son de dos tipos *pasivo* y *activo* según el tipo de misión o programa que se desarrolle.

Los sensores **pasivos** reciben la radiación emitida o reflejada por la tierra, tiene un ángulo diferente de iluminación y de visión, no alteran las condiciones del sistema y son sensibles a condiciones de iluminación, baratos y sencillos, pueden ser fotográficos y óptico-electrónicos que se combinan para lograr un sistema de detección electrónica conocidos como radiómetros por barrido o empuje, la radiancia que reciben los componentes ópticos se descomponen en varias longitudes de onda, cada una de ellas se envían a un conjunto de detectores sensibles a esa región del espectro que la amplifican y la convierten en señal eléctrica y finalmente en un valor numérico conocido como **Nivel Digital (ND)**. Estos valores numéricos pueden convertirse otra vez a valores de radiancia conociendo los coeficientes de calibrado.

Los sensores **activos** tienen sus características contrario a los sensores pasivos y requieren de mucha energía para funcionar.

La figura 6 detalla los elementos electrónicos de los sensores activos y pasivos y su equivalente fisiológico humano, por otro lado, la tabla 2 detalla algunos tipos de sensores y sus aplicaciones que se utilizan en Teledetección.

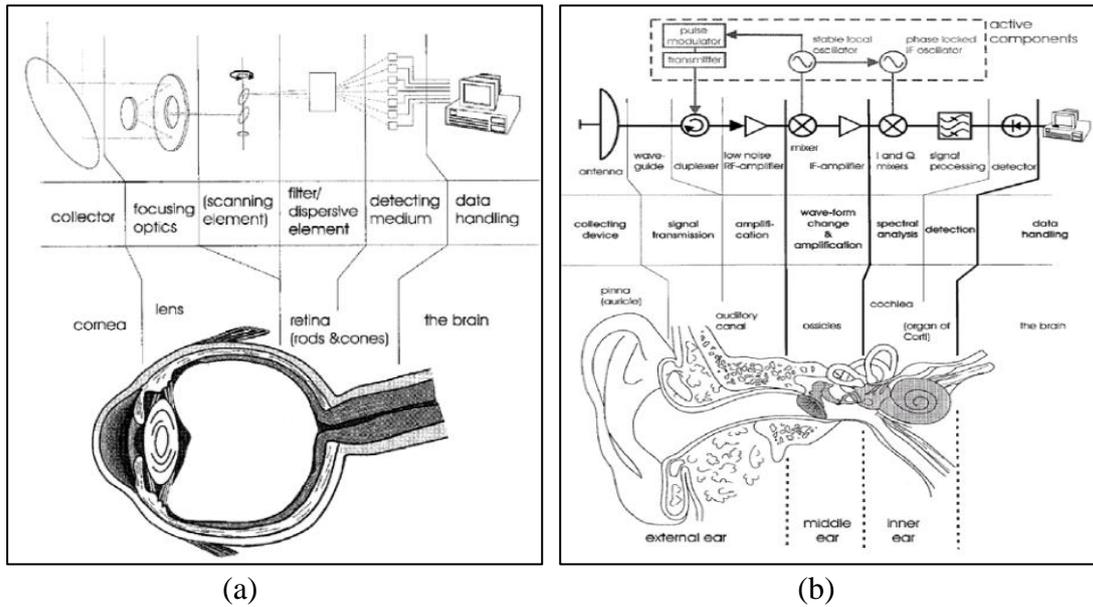


Figura 6: (a) Similitud electrónica del sensor óptico pasivo y b) similitud electrónica del sensor acústico activo

Tabla 2. Tipos de sensores y sus diversas aplicaciones

	Tipo	aplicaciones
Sensor pasivo (ópticos)	Pancromáticos	Muy alta resolución espacial
	Multi-espectrales	“color”
	Hiper-espectrales	Miden la composición química
	Multi-angulares	Miden la composición estructural
Sensor activo (microondas)	LIDAR	Topografía (altura vegetación)
		LIDAR de aerosoles
		Estructura 3D (distribución geométrica)
	DIAL	Vapor de agua, CO ₂ , química elementos
	Doppler LIDAR	Perfil vertical de viento y turbulencia
Radar	Polarimétrico, Interferométrico	

La salida de radiación (emitida o reflejada) de la superficie terrestre es un fenómeno continuo en 4 dimensiones (**espacial, espectral, temporal, radiométrico** y **longitud de onda**). El modo en que esta discretización se lleva a cabo define los cuatro tipos de resolución con los que se trabaja en teledetección.

Resolución Espacial: es el tamaño del pixel o una medida del objeto de menor tamaño que puede distinguir un sensor, en algunos casos se emplea el concepto de IFOV (campo de visión instantáneo) que se define como la sección angular (en radianes)

observada en un momento determinado. La resolución espacial depende de: altura orbital, longitud focal y número de detectores. Existe un amplio rango de resoluciones espaciales en los satélites. METEOSAT y satélites geostacionarios ofrecen una resolución de 5000 m, los satélites de la serie de NOAA y AVHRR tienen resoluciones que van de 500 a 1100, Landsat-TM, Landsat 7, 8 y 9, resoluciones de 30, 10 m.

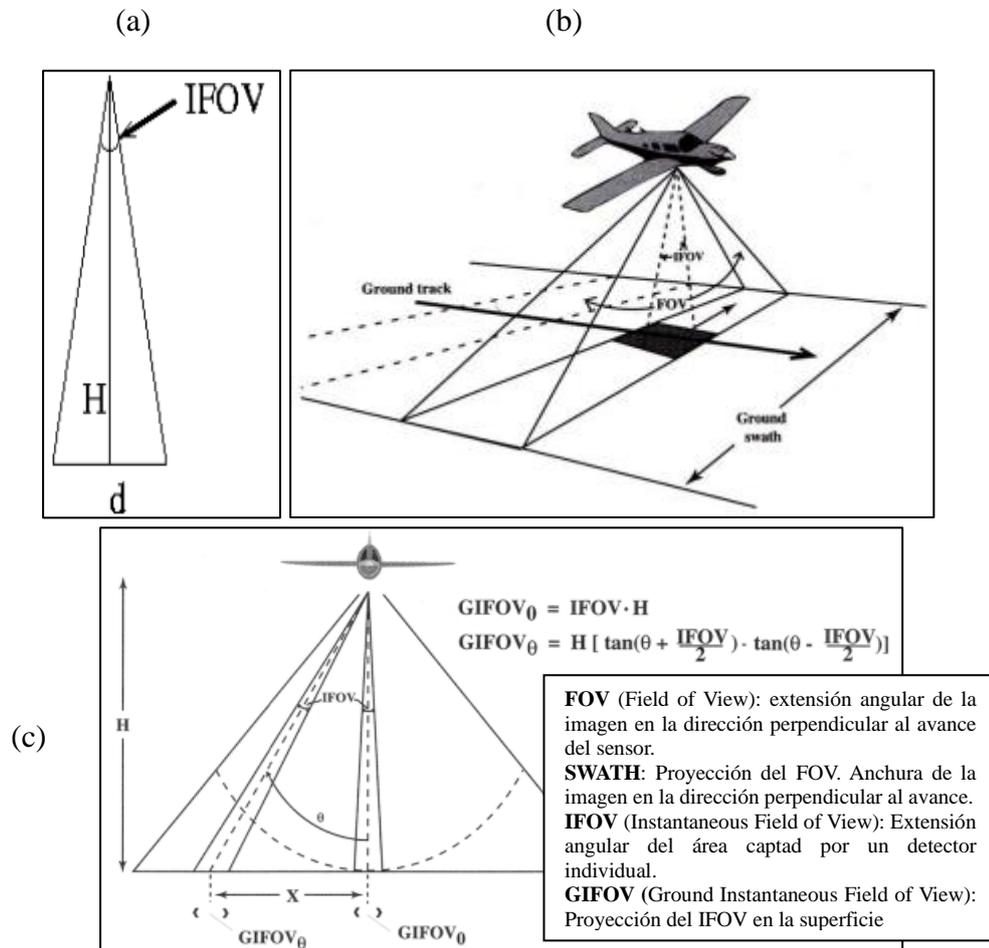


Figura 7: (a) Proyección del IFOV, (b) recorrido y avance del avión instrumental y segmentación del pixel FOV y el SWATH del sensor c) proyección del GIFOV, Fuente:

Resolución Espectral: las distintas superficies responden de manera diferente a la radiación electromagnética. Esto significa que se puede obtener una firma espectral específica para cada superficie. Así, los diferentes tipos de superficie, naturales o no, se pueden identificar en base a sus firmas espectrales. La resolución espectral de un sensor indica el número y anchura de las bandas, a mayor resolución espectral mejor reconocimiento de los rasgos de absorción específicos de cada cubierta.

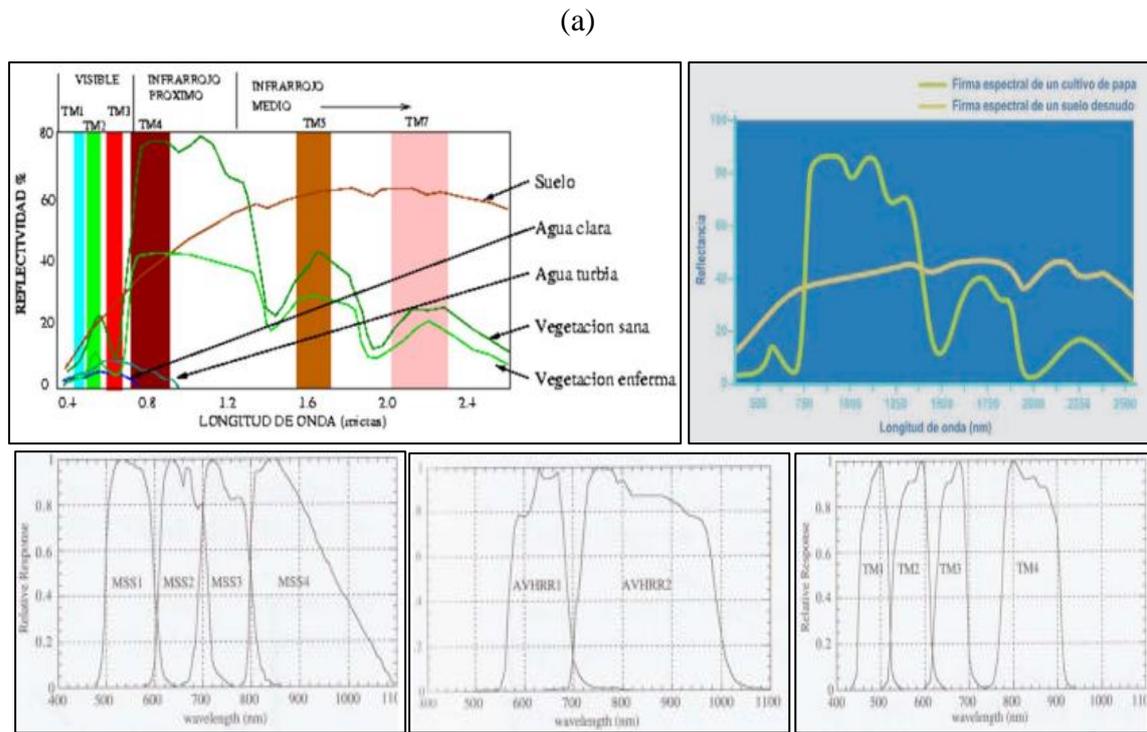


Figura 8: (a) Firma espectral para diferentes longitudes de onda en diversas cubiertas, b) firmas espectrales para diversas series de los sensores MSS, AVHRR y Landsat TM.

Resolución temporal: indica el intervalo de tiempo entre cada imagen obtenida por la plataforma (la que queramos en el caso de los aviones) cada media hora en el caso de los satélites geosíncronos y variable en el caso de los satélites heliosíncronos. Depende de: características orbitales de la plataforma (altura, velocidad, inclinación) y del ángulo total de apertura (tamaño de la imagen), la resolución temporal efectiva depende de las condiciones atmosféricas.

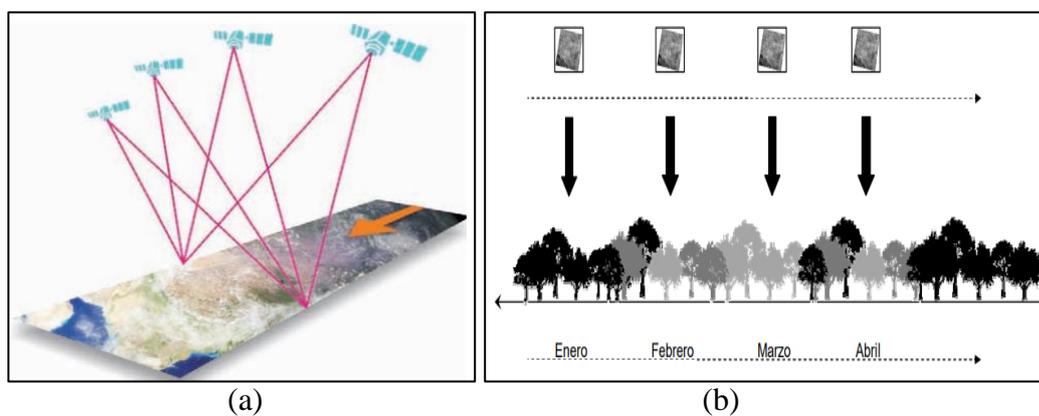


Figura 9: (a) Firma espectral para diferentes longitudes de onda en diversas cubiertas, b) firmas espectrales para diversas series de los sensores MSS, AVHRR y Landsat TM.

Resolución radiométrica: indica la sensibilidad del sensor, es decir la capacidad de discriminar entre pequeñas variaciones en la radiación que capta. Suele expresarse mediante el número de bits necesarios que se precisan para almacenar cada pixel. Por ejemplo, Landsat-TM utiliza 8 bits lo que da $2^8 = 256$ niveles de energía (Niveles Digitales, ND) que pueden ser captados. Cuanto mayor sea la precisión radiométrica mayor número de detalles podrán captarse en la imagen

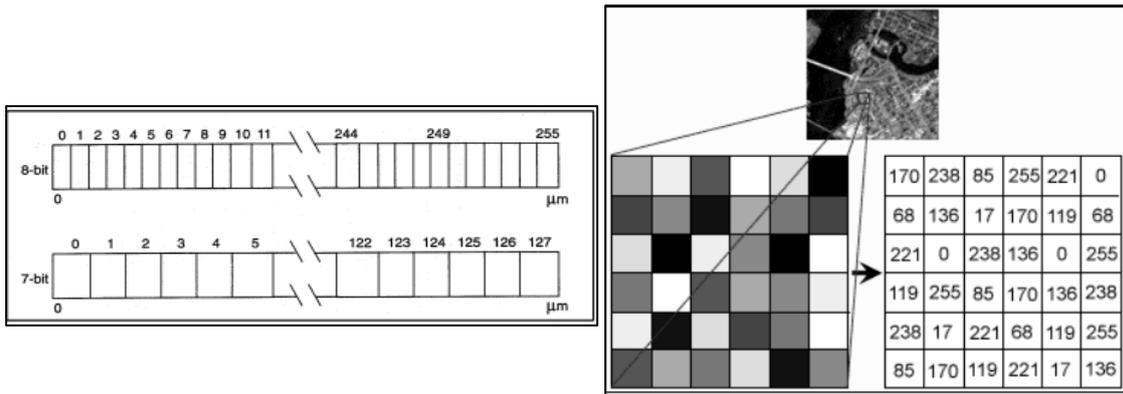


Figura 10: Niveles de gris para un pixel representado para datos almacenados de 8 bits digitales en una imagen de una sola banda

A continuación, realizamos un resumen de las características de los sensores de varios satélites

Tabla 3: características de resolución del sensor Sentinel 2A/2B: fuente: propia

Sensor	SENTINEL 2A/B MSI nivel 1C					
Satélite	S2-MSI					
Denominación de la banda	Nro. De banda	Ancho de banda (nm)	Resolución espacial (m)	Resolución radiométrica	Resolución temporal	Observaciones
Aerosol	1	0.43-0.45	60	12 bits	10 días	
Azul	2	0.45-0.52	10			
verde	3	0.54-0.57	10			
rojo	4	0.65-0.68	10			
borde rojo 1	5	0.69-0.71	20			
borde rojo 2	6	0.73-0.74	20			
borde rojo 3	7	0.77-0.79	20			
NIR 1	8	0.78-0.90	10			NIR: Infrarojo cercano
NIR 2	8a	0.85-0.87	20			
Vapor de agua	9	0.93-0.95	60			
Cirrus	10	1.36-1.39	60			
SWIR1	11	1.56-1.65	20			SWIR1: Infrarojo de onda corta
SWIR2	12	2.10-2.28	20	SWIR2: Infrarojo de onda corta		

Tabla 4. Características de resolución de los sensores:

(a) Ikonos, (b) Spot, (c) Aster, (d) Landsat 4 y 5

IKONOS				
Porción del espectro	Nro. de banda	Resolución espacial	Resolución radiométrica	Resolución temporal
Pancromática	1	4 m	11 bits	1.5 días
Azul	2			
Verde	3			
Rojo	4	1 m		2.9 días
IRC	5			

SPOT				
Porción del espectro	Nro. de banda	Resolución espacial	Resolución radiométrica	Resolución temporal
Verde	1	10 m	8 bits	26 días
Rojo	2			
VNIR	3	5 m		
Pancromática	4			

ASTER				
Porción del espectro	Nro. de banda	Resolución espacial	Resolución radiométrica	Resolución temporal
VNIR	1	15 m	8 bits	16 días
	2			
	3N			
	3B			
SWIR	4	30 m	8 bits	16 días
	5			
	6			
	7			
	8			
TIR	9	90 m	12 bits	16 días
	10			
	11			
	12			
	13			
	14			

LANDSAT 4 Y 5								
Porción del espectro	Nro. de banda	Rango espectral (um)				Resolución espacial	Resolución radiométrica	Resolución temporal
		TM		ETM+				
Azul	1	0.45	0.52	0.45	0.52	30 m	8 bits	16 días
Verde	2	0.52	0.6	0.53	0.61			
Rojo	3	0.63	0.69	0.63	0.69			
IRC	4	0.76	0.9	0.78	0.9			
IRM	5	1.55	1.75	1.55	1.75			
IT-Térmico	6	10.4	12.5	10.4	12.5	60 m		
IRM	7	2.08	2.35	2.09	2.35	30 m		
Pancromático	8			0.52	0.9	15 m		

Tabla 5. Características de resolución del sensor MODIS: fuente ATBD MODIS

Sensor	MODIS				
Satélite	AQUA/TERRA				
Uso Primario	Nro. Bandas	Ancho de banda	Radiancia espectral (W/m ² μm – sr)	SNR requerido	Sensibilidad radiométrica
Delimitaciones aerosoles suelo/nubes	1	620-670	21,8	128	12 bits
	2	841-876	24.7	201	
Propiedades de los aerosoles/ suelo/nubes	3	459-479	35.3	243	
	4	545-565	29	228	
	5	1230-1250	5.4	74	
	6	1628-1652	7.3	275	
	7	2105-2155	1.0	110	
Biogeoquímico/fhytoplankton/color del océano	8	405-420	44.9	880	
	9	438-448	41.9	838	
	10	483-493	32.1	802	
	11	526-536	27.9	754	
	12	546-556	21	750	
	13	662-672	9.5	910	
	14	673-683	8.7	1087	
	15	743-753	10.2	586	
	16	862-877	6.2	516	
Vapor de agua atmosférico	17	890-920	10	167	
	18	931-941	3.6	57	
	19	915-965	15	250	
Temperatura superficie/nubes	20	3.660-3.840 μm	0.45 (300K)	0.05	
	21	3.929-3.989	2.38 (335K)	2	
	22	3.928-3.989	0.67(300K)	0.07	
	23	4.020-4.080	0.79 (300K)	0.07	
Temperatura atmosférica	24	4.433-4.498	0.17 (250K)	0.25	
	25	4.482-4.549	0.59 (275K)	0.25	
Vapor de agua nubes cirrus	26	1.360-1.390	6	150 (SNR)	
	27	6.535-6.895	1.16 (240K)	0.25	
	28	7.175-7.475	2.18 (250K)	0.25	
Propiedades nubes	29	8.400-8.700	9.58 (300K)	0.05	
Ozono	30	9.580-9.880	3.69 (250K)	0.25	
Temperatura superficie/nubes	31	10.780-11.280	9.55 (300K)	0.05	
	32	11.770-12.270	8.94 (300K)	0.05	

Altitud máxima nubes	33	13.185-13.485	4.52 (260K)	0.25
	34	13.485-13.785	3.76 (250K)	0.25
	35	13.785-14.085	3.11 (240K)	0.25
	36	14.085-14.385	2.08 (220K)	0.25

Tabla 6. Características de resolución de la serie Landsat 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

Satélite	Lanzamiento (fin servicio)	Altitud (km)	Periodicidad (días)	Sensor	Banda: intervalo espectral (µm)	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					

Referencias

[1] Labrador M, Évora J., Arbelo M., (2012). Satélites de teledetección para la gestión del territorio.

[2] García J., (2012). Introducción al reconocimiento de patrones. Master oficial de teledetección. Universidad de Valencia.

[3] Niclòs Raquel C, (2013). Sistemas, sensores e imágenes. Master oficial de teledetección, Universidad de Valencia.

[4] Moreno José F. Fundamentos de Teledetección. Master oficial de teledetección. Universidad de Valencia

https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_ES/SEMXM3E3GXF_0.html

<https://www.radartutorial.eu/07.waves/pic/radarfrequencies.print.png>

<https://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/>