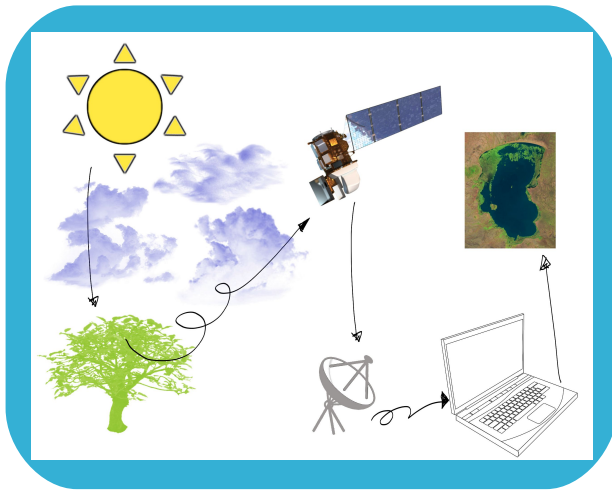


Teledetección para agricultura



1. Introducción.
2. Conceptos básicos de teledetección.
3. Plataformas y resolución de sensores remotos.
4. Parámetros biofísicos que proporciona la teledetección
5. Principales satélites disponibles
6. Características de las imágenes y tratamiento de la información
7. Uso de sensores en el ámbito agrícola



INSTITUTO ANDALUZ DE INVESTIGACIÓN
Y FORMACIÓN AGRARIA, PESQUERA,
ALIMENTARIA Y DE LA PRODUCCIÓN ECOLÓGICA
Consejería de Agricultura, Ganadería,
Pesca y Desarrollo Sostenible



UNIÓN EUROPEA

Teledetección para la agricultura. / [Andreu, A; Carpintero, E; González-Dugo, M.P.]. - Córdoba. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, 2018. 1-10 p. Formato digital (e-book) - (Área de Ingeniería y Tecnología Agroalimentaria)



Este documento está bajo Licencia Creative Commons.
Reconocimiento-No comercial-Sin obra derivada.
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es>

Teledetección para agricultura.

© Edita JUNTA DE ANDALUCÍA. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.
Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible.
Córdoba, Enero de 2018.

Autoría:

Ana Andreu ¹

Elisabet Carpintero¹

María P. González-Dugo ¹

¹ IFAPA, Centro Alameda del Obispo

1.- Introducción.

Hoy en día, las técnicas de **observación remota de la superficie de la Tierra** se han convertido en una herramienta esencial para apoyar la gestión y la planificación en muchos sectores y ámbitos, como el agrícola, el forestal, en hidrología, meteorología, o ecología, y en muchos otros campos no relacionados con las ciencias de la Tierra, como el humanitario o el militar.

La teledetección, tal y como la conocemos, surgió alrededor de la **década de 1960**. Como subrayó uno de sus padres, Ray D. Jackson, ya desde sus inicios la agricultura fue uno de sus principales objetivos (Jackson, 1984). El físico apuntó que, aunque los beneficios de la información proveniente de los satélites para la monitorización de la agricultura eran obvios (refiriéndose a Landsat-5, lanzado en 1984), estos no habían sido diseñados para dar información en tiempo real a los agricultores y ganaderos. Señaló que los datos que podían ser usados para tomar decisiones de manejo diarias estaban disponibles solo de manera rudimentaria, y que no existía un sistema operativo de detección remota por satélite que pudiera dar a los agricultores la información que necesitaban: **en tiempo real, con una frecuencia temporal suficiente, y alta resolución espacial.**

1.- Introducción.

En la actualidad la situación ha variado sustancialmente:

Con satélites y constelaciones de satélites diseñados para este fin, ofreciendo **información a más altas resoluciones**, y sensores a bordo de vehículos aéreos no tripulados que aumentan esta resolución hasta centímetros.

Con metodologías donde se **combinan diferentes tipos de información** remota (e.g. radar, ópticos, térmicos, multiespectrales, etc) con otras fuentes (e.g. datos de campo, meteorológicos, de reanálisis climático, etc), junto con **técnicas de fusión y agregación/desagregación** de datos, permitiendo cada vez más el desarrollo de aplicaciones operativas de seguimiento en agricultura (Anderson et al., 1997; Gao et al., 2006; Knipper et al., 2019; Guzinski and Nieto, 2019; Skakun et al., 2016).

Con **nuevas tendencias**, como los nano/microsatélites gestionados por empresas generalmente, que ofrecen imágenes de zonas determinadas a muy alta resolución (p.ej. cubesats <https://www.planet.com/markets/monitoring-for-precision-agriculture/>), o los satélites atmosféricos o pseudo-satélites ([Atmospheric satellite#](#)).

1.- Introducción.

Las **CARACTERÍSTICAS** de los datos proporcionados por la teledetección:

- Su cobertura global
- Con varias resoluciones temporales (diarias, semanales, quincenales)
- Con varias resoluciones espaciales (de metros a decenas de kilómetros)
- Su naturaleza no destructiva
- Su transmisión inmediata
- El formato digital
- La accesibilidad abierta de algunos de ellos (por ejemplo, las misiones Sentinel de la Agencia Espacial Europea -ESA, o las misiones Landsat y MODIS de la NASA)

los hacen **esenciales** para evaluar el funcionamiento de los ecosistemas. Son imprescindibles cuando los datos en campo son escasos, las redes de monitoreo son poco fiables o el acceso a los datos está restringido, y en las ocasiones en las que falta experiencia técnica para ejecutar campañas en campo (Sheffield et al. 2014).

1.- Introducción.

La existencia de estas fuentes de datos no necesariamente resulta en beneficios para la sociedad. **Los datos deben ser procesados y analizados**, a veces usando técnicas estadísticas y de modelado complejas, **a fin de extraer la información necesaria para cada usuario** con el nivel de procesamiento adecuado.

El volumen de datos generados actualmente hace el procesamiento más costoso, a nivel técnico y de capacidad de computación (por ejemplo el satélite de la ESA Sentinel 2 produce ~1T/día). Para lidiar con estas nuevas problemáticas varias agencias e intermediarios **pre-procesan** y ofrecen datos en diversas **plataformas** (p.ej., Google Earth Engine, las plataformas de explotación temática TEPS de la ESA) con la posibilidad de compartir algoritmos y cadenas de procesamiento, integrar diferentes fuentes de datos, y crear productos en servidores externos con capacidad necesaria para integrar un gran volumen de datos, permitiendo de esta manera realizar un seguimiento a largo plazo.

1.- Introducción.

Con esta guía pretendemos proporcionar una serie de conceptos básicos para el uso de la teledetección centrada en el sector agrícola, como primera lectura para proceder con otras publicaciones de esta plataforma que aprovechan la teledetección espacial con diferentes objetivos:

1. Cálculo del coeficiente de cultivo y estimación de evapotranspiración integrando teledetección.
2. Cálculo de la evapotranspiración mediante balance de energía integrando teledetección.
3. Cálculo de biomasa integrando teledetección (pasto y cultivos)

donde se describen con más detalle técnicas de interés para el sector agrario y forestal.

2.- Conceptos básicos

La teledetección es el proceso de detectar y monitorizar las características fisicoquímicas de una superficie midiendo a distancia la radiación que refleja y/o emite dicha superficie (descripción tomada del *United State Geological Survey, USGS*). La fotografía convencional es, por ejemplo, una forma de teledetección.

Entre la superficie de la tierra y el sensor se produce una interacción y el sensor registra la energía solar (radiación visible o infrarroja) reflejada por la superficie (conocida como reflectancia), o bien la reflejada por un haz de energía artificial (ej. radar), o la radiación emitida por la superficie (radiación térmica y microondas). La señal es transmitida a través de la atmósfera y capturada por los sensores, y la información es puesta finalmente a disposición para su posterior procesamiento en formato digital (Fig. 1).

2.- Conceptos básicos

Los sensores pueden ser pasivos, midiendo la energía solar reflejada o emitida por la superficie, o activos, que emiten y reciben un haz de energía artificial, como el radar y el lidar.

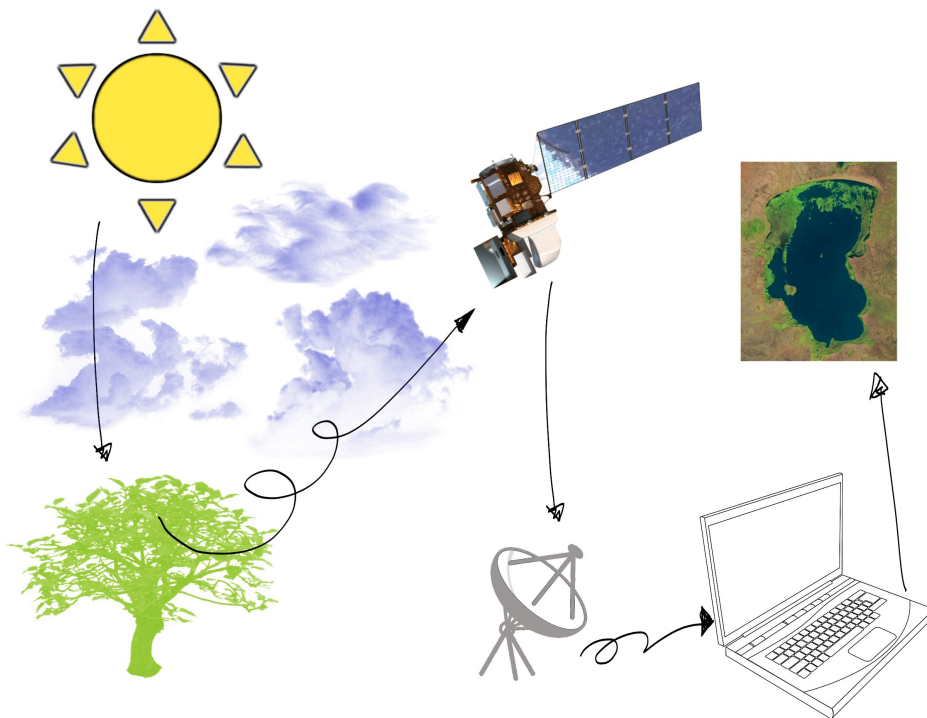


Fig. 1. Esquema de recepción de información por un sensor pasivo a bordo de satélites.

Teledetección para la Agricultura

2.- Conceptos básicos

El flujo de energía entre la superficie y el sensor toma la forma de radiación electromagnética y se define por su longitud de onda y frecuencia. Aunque el **espectro electromagnético** es continuo, muchos de los detectores lo dividen en bandas, dentro de las cuales la radiación muestra un comportamiento similar.

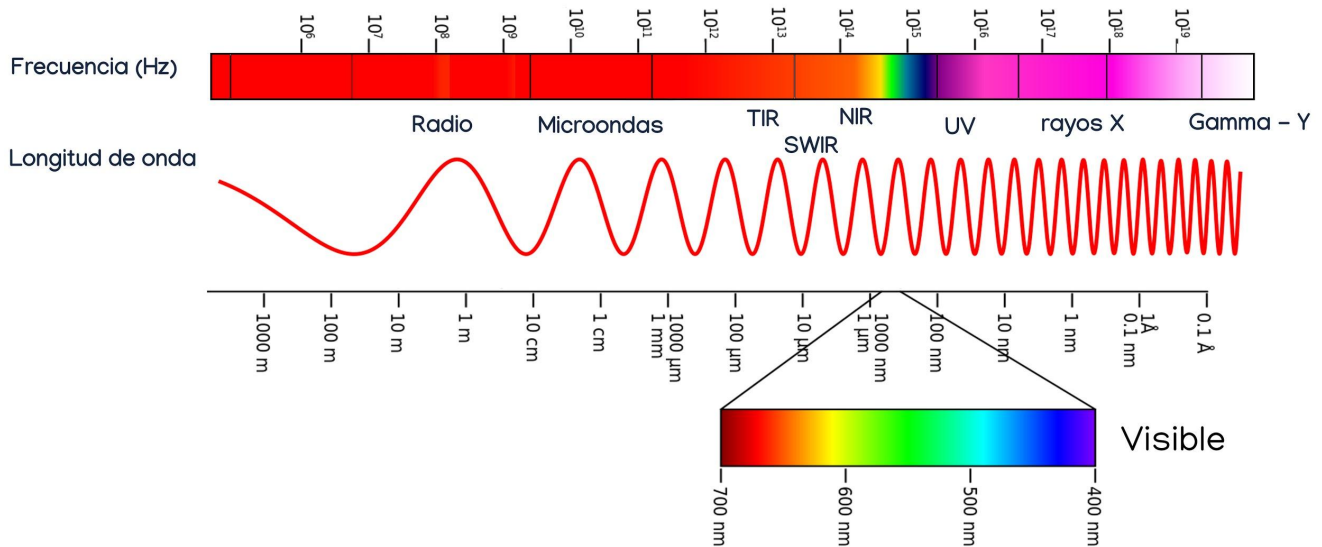


Fig. 2. Espectro electromagnético (imagen basada en la imagen de Wikipedia.org).

2.- Conceptos básicos

Las regiones más utilizadas en la teledetección agrícola son:

- La parte **visible del espectro** (VIS, 0.4-0.7 μm) y el **infrarrojo cercano** (NIR, 0.7-1.3 μm), útiles para discriminar la vegetación y la humedad del dosel;
- El **infrarrojo medio** (SWIR, 1.3-3 μm), donde la reflectancia de la energía solar y la emisividad de la superficie se muestran juntas;
- La **térmica** (TIR, 3-100 μm), que incluye la porción de emisividad del espectro en términos de temperatura de la superficie;
- Las bandas de **microondas** (1 mm - 1 m), radiación que puede penetrar en las nubes.

2.- Conceptos básicos

Cuando la radiación solar incide en una superficie puede transmitirse, absorberse (y re-emitirse en forma de calor) o reflejarse (Figura 6). La **reflectancia es la proporción de la energía incidente reflejada por una superficie**, una magnitud adimensional que varía entre 0 y 1, siendo el albedo de una superficie el porcentaje de radiación reflejada respecto a la radiación solar que incide sobre ella. Su valor depende de las características de la superficie, y de la distribución espectral y angular de la radiación solar incidente.

Para una superficie dada, la reflectancia varía en función de la longitud de onda, y la curva que representa esta variación se denomina **FIRMA ESPECTRAL** (Fig. 3). Este espectro es característico de cada superficie y su estado, y permite que los usos del suelo, los materiales, el estado de crecimiento de la vegetación, etc., sean discriminados y clasificados (Richards y Jia 2006).

2.- Conceptos básicos

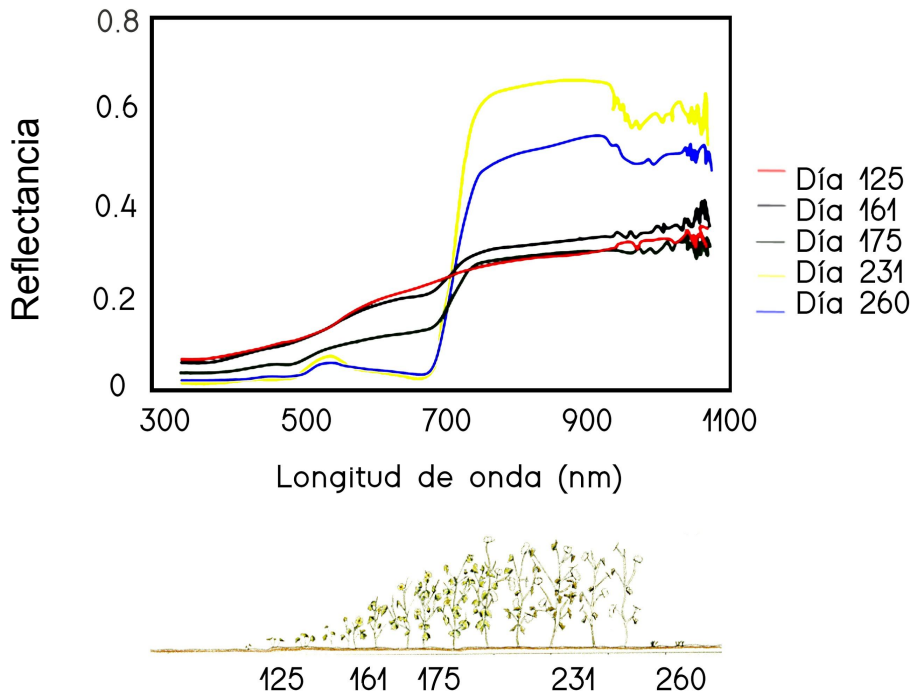


Fig. 3: Firma espectral de un cultivo de algodón en diferentes etapas de su crecimiento (datos originales de Paul Pinter, USDA).

2.- Conceptos básicos

Pueden existir grandes diferencias entre las curvas de los diferentes tipos de suelo, o entre suelos secos y húmedos. La vegetación tiene una firma espectral muy característica, aunque su forma variará ligeramente en función del tipo de vegetación, la especie (su estructura celular, los pigmentos de las hojas, o el contenido en agua) y su estado (sana, enferma, senescente o estresada).

La reflectancia de las plantas sanas es baja en las bandas del visible, porque la mayor parte de la luz es absorbida por los pigmentos de las hojas encargados de la fotosíntesis. La clorofila absorbe sobretodo en la región del azul y del rojo, reflejando un poco más en el verde (por eso la vegetación es percibida de color verde en el visible cuando está sana).

Además tiene una alta reflexión en el infrarrojo cercano y, como hemos señalado, baja en el rojo (Fig. 4), lo que hace posible distinguir las áreas vegetadas de aquellas con suelo desnudo: la diferencia en la respuesta en estas dos regiones espectrales es grande para áreas con vegetación y muy baja para suelo (Ver la sección 3, el apartado sobre índices de vegetación).

2.- Conceptos básicos

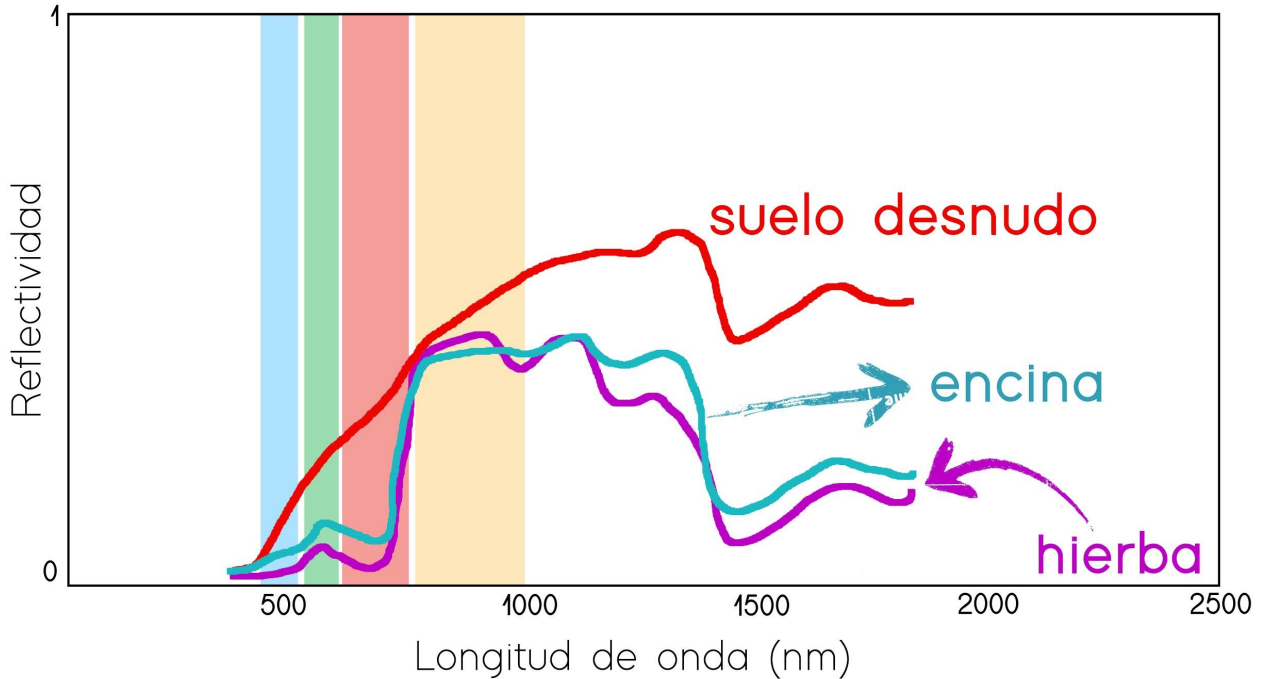


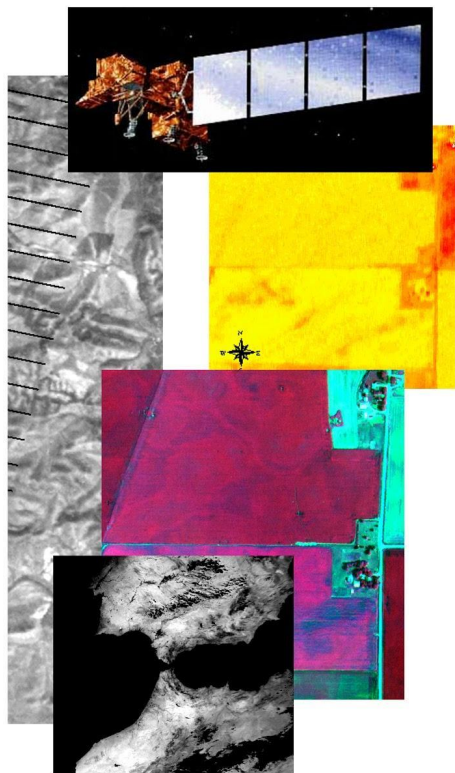
Fig. 4: Firma espectral de pasto verde, encina y suelo desnudo de dehesa. La región NIR en naranja, el RED en rojo, y las regiones del visible verde y azul en sus colores respectivos. yo las veo naranja y amarilla en mi ordenador

3.- Plataformas y resolución de sensores remotos

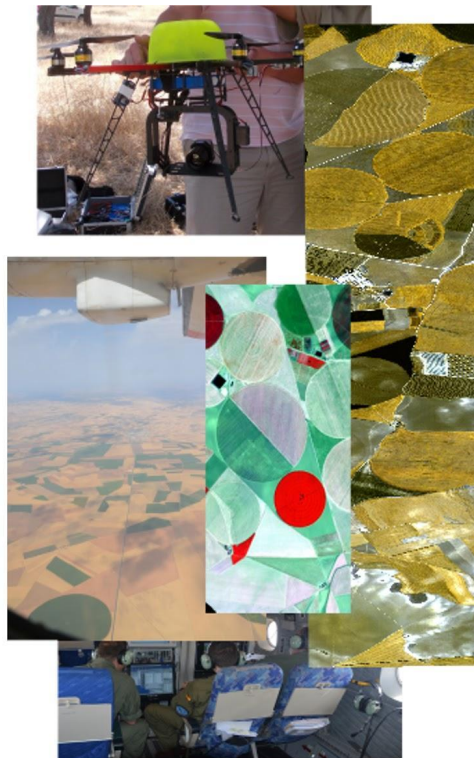
Los sensores pueden ir a bordo de plataformas en **satélites**, pueden ser aeroportados por **aviones** o **drones**, o pueden estar diseñados para su uso en **campo** (Fig. 5). El tipo de información producida dependerá de las propiedades específicas del instrumento y la plataforma, por ejemplo: de la órbita del satélite, de la altura de vuelo del dron, de la posición y la orientación del sensor en el campo, del tipo de instrumento y lentes ópticas, o de las capacidades de almacenamiento (Weiss et al., 2020). Las condiciones meteorológicas deben de ser tenidas en cuenta para que la señal sólo dependa de las propiedades radiativas del objetivo (Roy et al., 2002).

Teledetección para la Agricultura

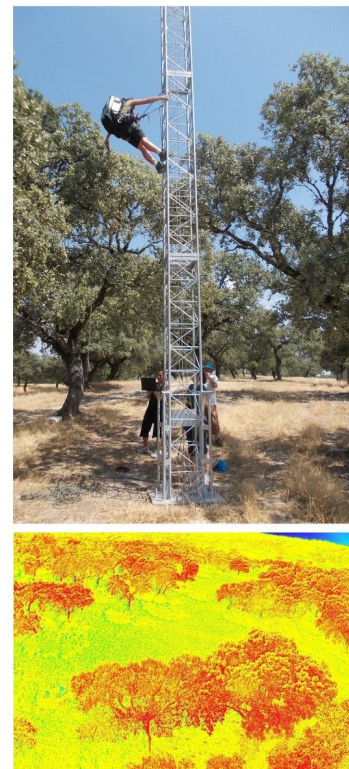
3.- Plataformas y resolución de sensores remotos



SATÉLITE



AEROPORTADOS



EN CAMPO

Fig. 5: Tipos de sensores

3.- Plataformas y resolución de sensores remotos

Cuando la radiación electromagnética atraviesa la atmósfera, es atenuada por los procesos de **absorción y dispersión** (Fig. 7). La absorción es la transformación que experimenta la energía cuando pasa a través de un medio. Los componentes atmosféricos (O_2 , CO_2 , O_3 y vapor de agua) absorben una fracción de la energía y la emiten a diferentes longitudes de onda. Los satélites utilizados en la teledetección están diseñados para operar fuera de las regiones donde los efectos de absorción son mayores, en lo que se llaman ventanas atmosféricas (Fig. 6).

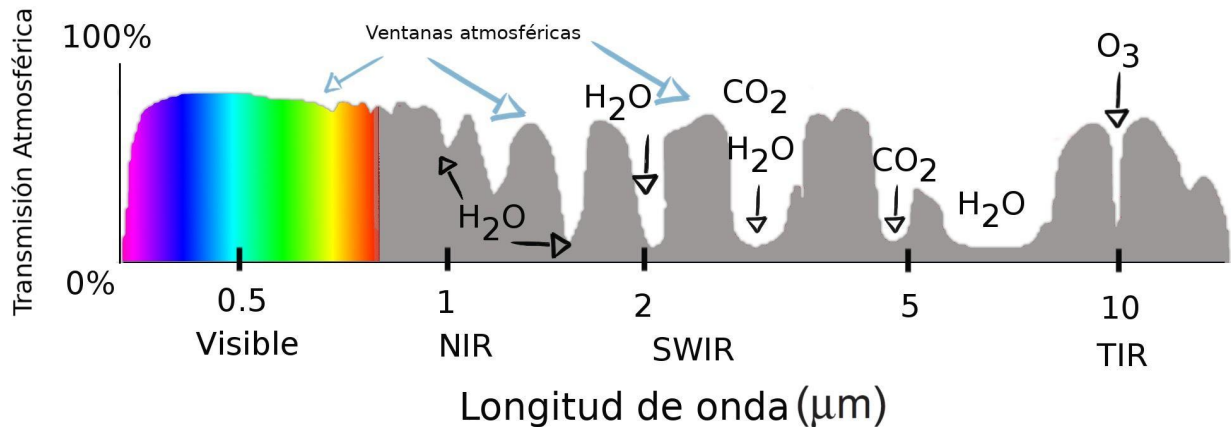


Fig. 6: Ventanas atmosféricas de los satélites. Figura adaptada de (Casey, Kääb, and Benn 2012)

3.- Plataformas y resolución de sensores remotos

El proceso de dispersión produce un cambio en la dirección de una porción de la radiación que incide en relación con la original, debido a la interacción entre la energía y las partículas atmosféricas suspendidas.

Para evitar los efectos de estos procesos en el análisis, es necesario corregir los datos originales adquiridos por el sensor utilizando varios métodos, dependiendo de la parte del espectro a corregir (Gordon y Morel 1983; Saunders y Kriebel 1988; Asrar, Kanemasu, y Yoshida 1985; Lenoble 1993; Kaufman y Sendra 1988).

Teledetección para la Agricultura

3.- Plataformas y resolución de sensores remotos

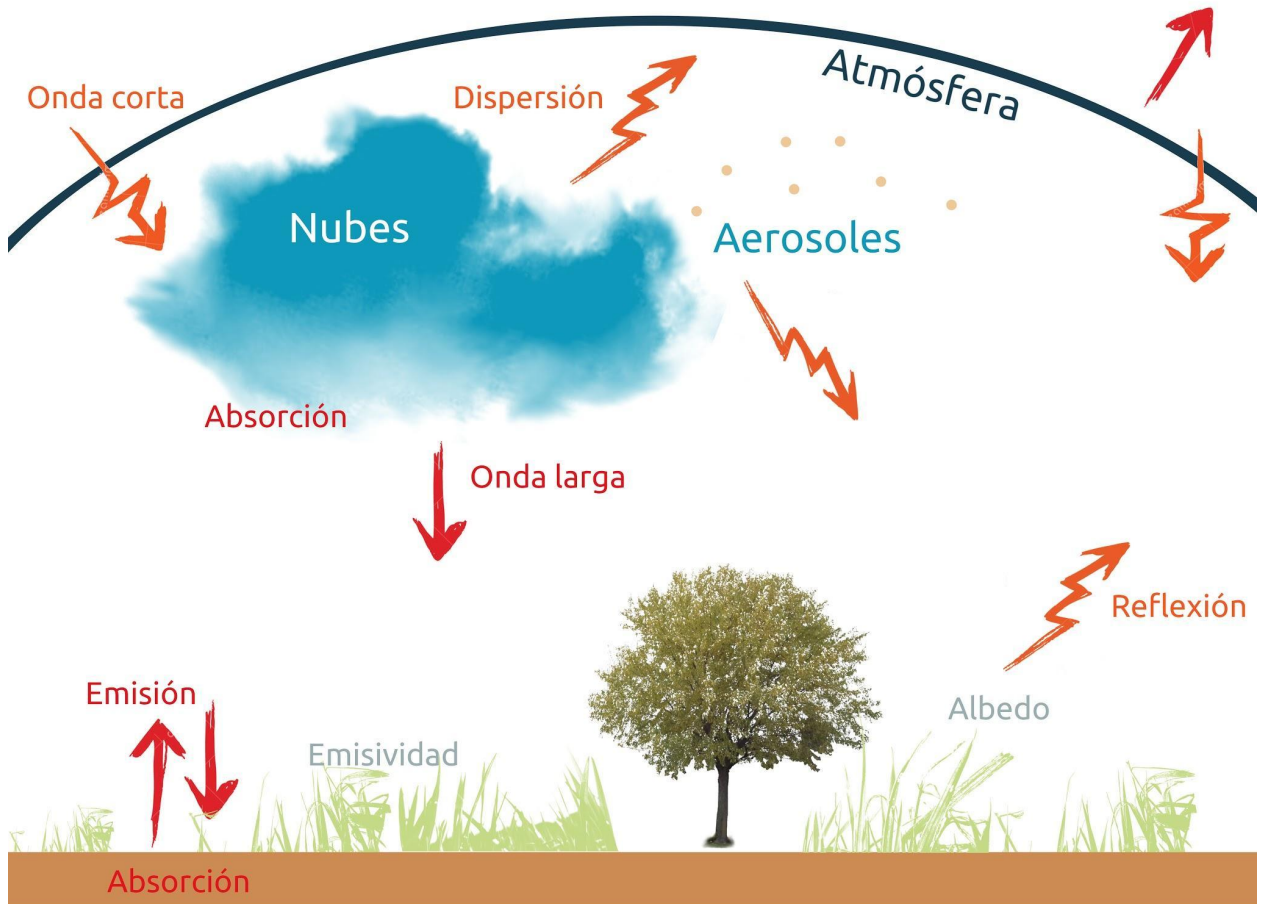


Fig. 7: Absorción y dispersión. Transmisión de la energía en la atmósfera y la superficie.

Teledetección para la Agricultura

3.- Plataformas y resolución de sensores remotos

Los sensores instalados a bordo de satélites siguen una órbita alrededor de la Tierra dependiendo de los objetivos y características de su misión. En general, las órbitas se definen por su altura, orientación y rotación en relación con la Tierra.

36000 KM



METEOSAT

10000 KM



LANDSAT



SPOT

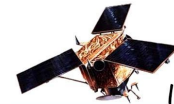


NOAA

Transbordador espacial



ISS



Ikonos

200 KM

20 KM

Capa atmosférica



Sensores aeroportados



Radiómetros



Cámaras

Fig. 8: Altitud respecto a la superficie de los diferentes sensores.

3.- Plataformas y resolución de sensores remotos

Las órbitas geoestacionarias se encuentran a altitudes de alrededor de 36,000 km (Fig. 9), siempre viendo la misma porción del globo porque replican la velocidad angular de la Tierra (por ejemplo, los satélites meteorológicos como METEOSAT o GOES, o los satélites de telecomunicación).

La mayoría de los satélites están en órbita polar, cubriendo la misma porción de la superficie a una hora diaria fija, lo que garantiza condiciones de luz similares para la información que adquieren (Fig. 8), con una frecuencia temporal característica del satélite.

En su movimiento alrededor de la Tierra, los satélites cubren un área determinada de la superficie, con el ancho de franja dependiendo del **campo de visión del satélite** (field of view -FOV) y el tamaño de píxel en el campo de visión instantáneo del sensor (instantaneous field of view -IFOV).

3.- Plataformas y resolución de sensores remotos

Los satélites de observación de la tierra varían según el tipo de órbita, su carga útil y los instrumentos que miden la señal electromagnética, diseñados dependiendo de su misión. Los sensores diferirán dependiendo de sus características espectrales y su ancho de franja, que determinarán su resolución espectral.

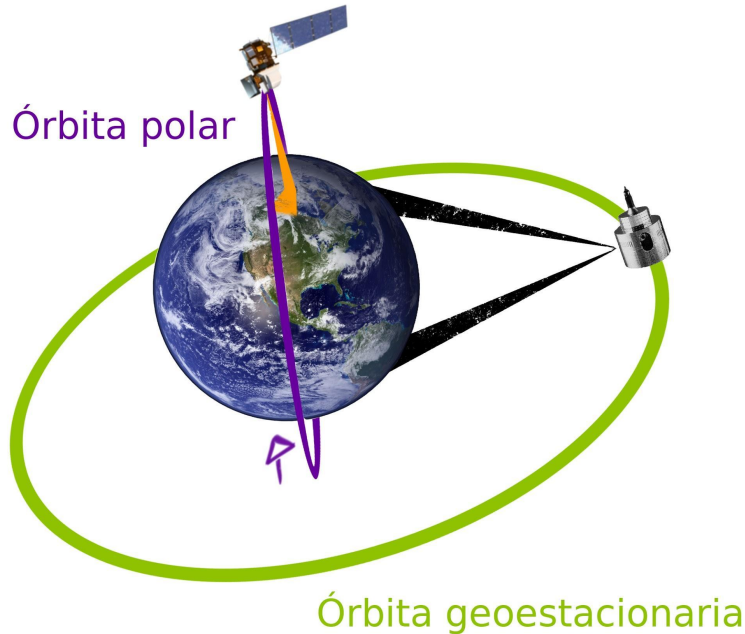


Fig. 9: Diferentes órbitas de los satélites, las polares a diferente velocidad de la rotación terrestre y los geoestacionarios a la misma velocidad que la Tierra.

3.- Plataformas y resolución de sensores remotos

La resolución de un sensor viene dada por su capacidad para registrar y discriminar información, y depende del efecto combinado de una serie de criterios, como su **resolución espacial, espectral, radiométrica y temporal** (Fig. 10).

La resolución espacial está determinada por el campo de visión instantáneo del sensor, la altura de la plataforma y el ángulo de visión del sensor. Se define como la sección angular en radianes observada en un momento particular. Por lo general, se refiere a la distancia correspondiente a este ángulo sobre la superficie. Esta distancia será el tamaño mínimo de la información registrada: el píxel o mínimo elemento de la imagen. Cuanto menor sea el tamaño del píxel, mayor será la resolución espacial que puede proporcionar el sensor (es decir, podrá discriminar un mayor número de objetos de la superficie).

3.- Plataformas y resolución de sensores remotos

La resolución espectral de un sensor es el número, el centro de la longitud de onda y el ancho, de las bandas espectrales que puede discriminar y registrar, y depende del filtro óptico instalado.

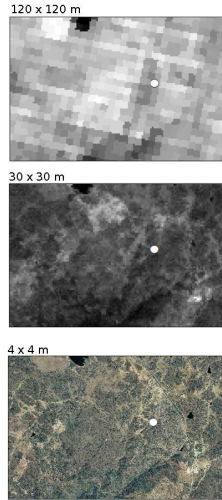
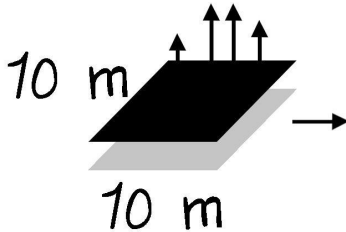
La resolución radiométrica se define como la cantidad mínima de energía que se necesita para aumentar el valor de píxel en un número digital. Se conoce como la sensibilidad del sensor.

La resolución temporal es el intervalo de tiempo entre dos adquisiciones sucesivas de imágenes de la misma parte de la superficie, dependiendo de las características orbitales y del sensor.

Teledetección para la Agricultura

3.- Plataformas y resolución de sensores remotos

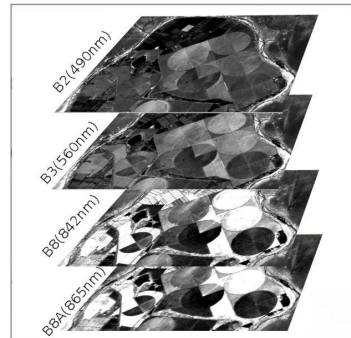
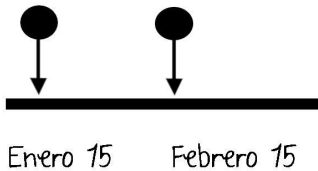
Resolución espacial



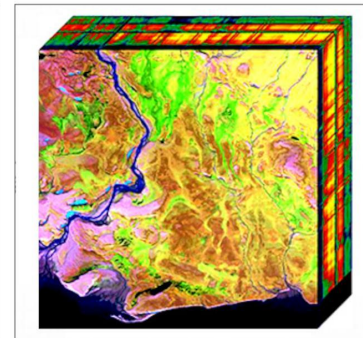
Resolución espectral



Resolución temporal



Sentinel 2 satellite, ESA.



Autor: Dr. Nicholas M. Short (NASA). Wikipedia.

Fig. 10: Resolución temporal, espectral y espacial (basado en Jensen, 2000) .

3.- Plataformas y resolución de sensores remotos

En términos generales, los satélites meteorológicos (p. ej., NOAA, METEOSAT) tienen una resolución espacial más baja (1000 - 5000 m) y una alta resolución temporal (diaria o menor), y los satélites de monitoreo de recursos naturales (como Sentinel 2A, 2B, Landsat, SPOT, IRS, etc.) tienen menor resolución temporal y mayor resolución espacial (aproximadamente 10-100 m).

Las imágenes de sensores aerotransportados tienen en general una alta resolución espectral y espacial (incluso centímetros), y la frecuencia temporal que marque el usuario, pero el coste es mayor que en el caso de los satélites (Fig. 11).

Teledetección para la Agricultura

3.- Plataformas y resolución de sensores remotos

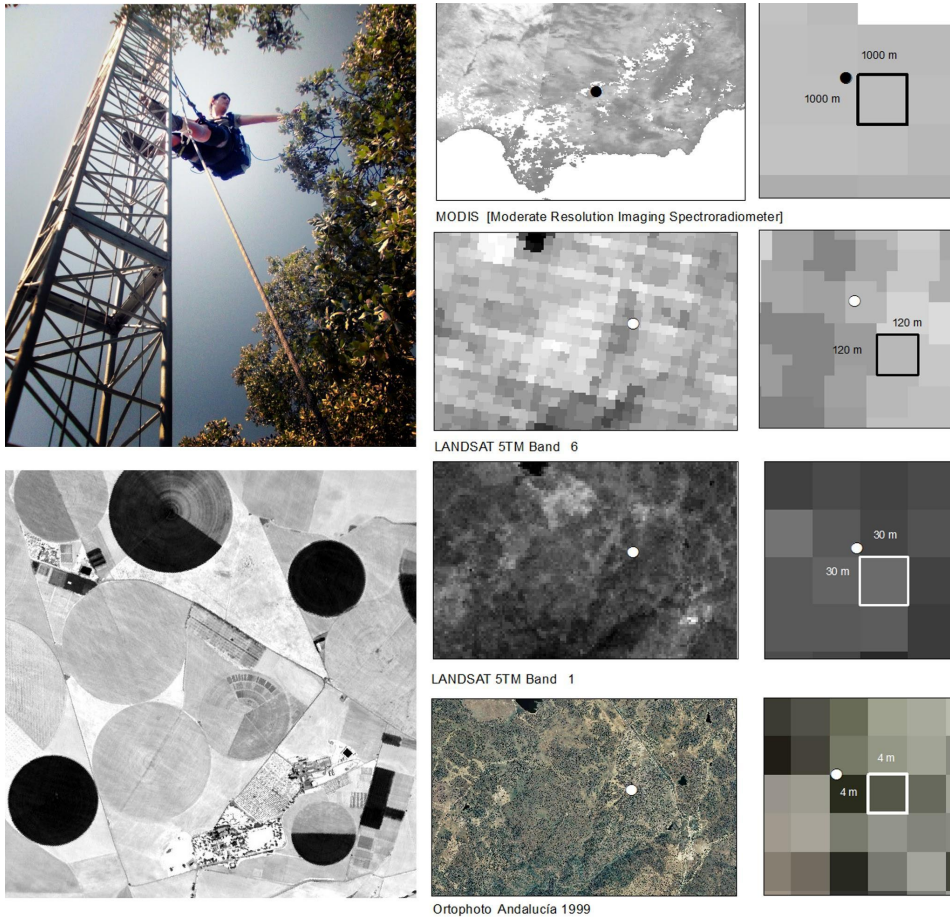


Fig. 11: Resolución espacial.

4.- Parámetros biofísicos que proporciona la teledetección

La información que proporcionan los sensores remotos de interés para la agricultura consiste en la **descripción de las características** (morfológicas, biogeoquímicas, fisiológicas, estructurales, y fenológicas) **que definen el sistema** (planta, suelo-planta, ecosistema, etc), y de **cómo** éstas **varían en el espacio y en el tiempo**, influenciando el estado del sistema (Nock et al., 2016).

Los rasgos agronómicos pueden ser:

- tipológicos (p.ej., tipo de cultivo),
- físicos (p.ej., dosel del cultivo, temperatura, o humedad del suelo),
- químicos (p.ej., contenido de nitrógeno en la hoja),
- biológicos (p.ej., fenología del cultivo),
- estructurales (p.ej., inclinación de la hoja) o
- geométricos (p.ej., densidad de plantas),
- o el resultado de una serie de procesos relacionados.

4.- Parámetros biofísicos que proporciona la teledetección

La teledetección no mide estos rasgos, sino que son **inferidos** debido a la relación entre lo que se mide (p.ej., reflectancia) y dichos rasgos, relación más o menos compleja de modelar en función de la variable de interés.

Entre las principales variables primarias (que están involucradas en el proceso de transferencia radiativa) se encuentran parámetros biofísicos que describen el estado y la dinámica del suelo y de la vegetación, como el albedo, la temperatura radiométrica de la superficie, la fracción de cobertura vegetal (fC), o el índice de área foliar (LAI) (Moran, Humes y Pinter 1997 ; Glenn et al.2008; Chuvieco y Huete 2010), el contenido bioquímico de la hoja, su orientación, la altura de la vegetación, la fracción de radiación absorbida por la vegetación, la temperatura de la vegetación/suelo, y la humedad del suelo (Weiss et al., 2020)

4.- Parámetros biofísicos que proporciona la teledetección

Las diferentes regiones/bandas en las que se divide el espectro electromagnético (VIS, NIR, SWIR, TIR, radar, microondas-MWIR) tienen diferentes aplicaciones, determinadas por sus capacidades (Fig. 12). Usando combinaciones numéricas simples de la información espectral medida a diferentes longitudes de onda, principalmente las regiones visibles e infrarrojas cercanas del espectro, es posible extraer información sobre el estado y la estructura de la vegetación (Ver sección 1: Conceptos básicos), minimizando la perturbación causada por el suelo y las condiciones atmosféricas (Huete 1988).

Estas combinaciones se denominan **índices de vegetación** (VI), y algunos de los más utilizados son el Índice de Vegetación Normalizado de la Diferencia (NDVI), el SAVI (Índice de Vegetación Ajustado al Suelo) o el EVI (Índice de Vegetación Mejorado), calculados a partir del Azul (0.4-0.5 nm), Rojo (0.6- 0.7 nm), y las regiones del infrarrojo cercano (NIR, 0.7-1.1 nm) del espectro (Asrar, Kanemasu y Yoshida 1985; Choudhury et al. 1994; Wittich y Hansing 1995; Huete et al. 2002; Chuvieco y Huete 2010).

Teledetección para la Agricultura

4.- Parámetros biofísicos que proporciona la teledetección

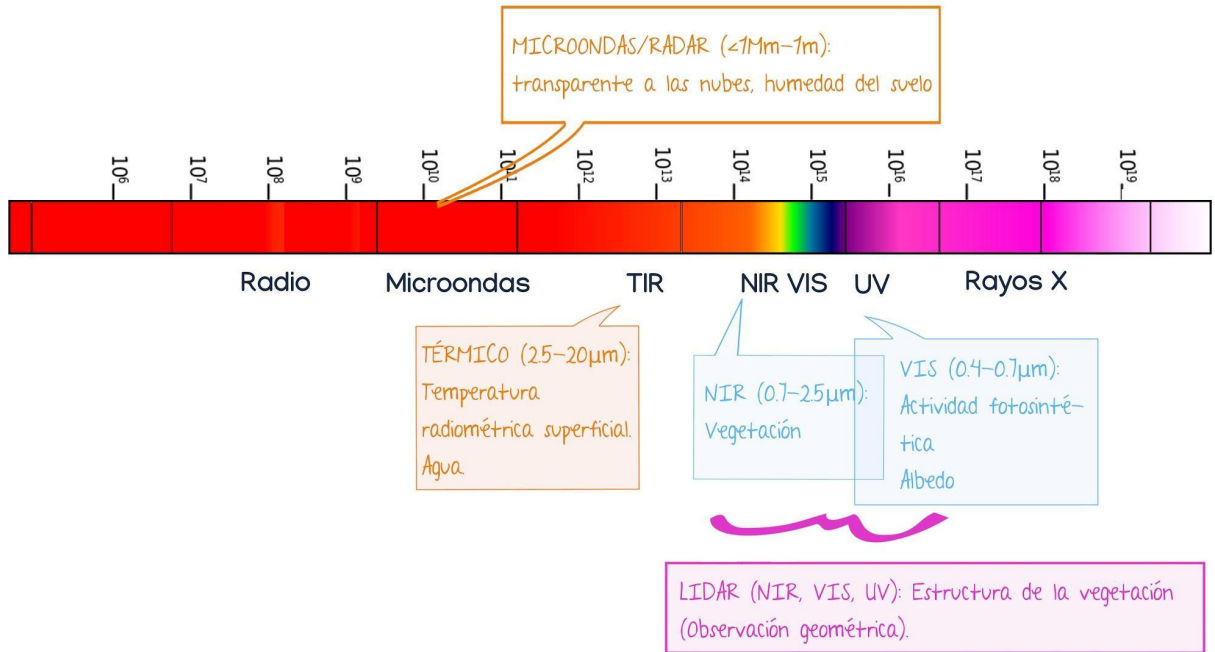


Fig. 12: Principales porciones del espectro empleados en teledetección y sus usos en agricultura.

4.- Parámetros biofísicos que proporciona la teledetección

El **estrés hídrico** de la planta puede detectarse por medio de la **porción térmica del espectro**, debido a la relación directa entre el proceso de transpiración y la temperatura de la cubierta. La transpiración que se produce en las hojas enfría la planta, si ésta no dispone de agua el proceso se interrumpe y la temperatura de la cubierta aumenta a valores superiores a los de la temperatura del aire (Idso y Baker, 1967). La transpiración condiciona el buen funcionamiento de los sistemas agrícolas, y una reducción en el contenido de agua disponible para el cultivo tiene un impacto en el crecimiento de las plantas y en sus funciones fisiológicas (Hsiao, 1973).

4.- Principales satélites disponibles

La Organización Meteorológica Mundial desarrolló la Herramienta de Análisis y Revisión de la Capacidad de los Sistemas de Observación (OSCAR), que entre otras funcionalidades proporciona información detallada sobre la lista con misiones y satélites pasados, actuales y futuros, meteorológicos y de observación de la tierra (<https://www.wmo-sat.info/oscar/satellites>), y sus instrumentos (Fig. 13).

Teledetección para la Agricultura

4.- Principales satélites disponibles

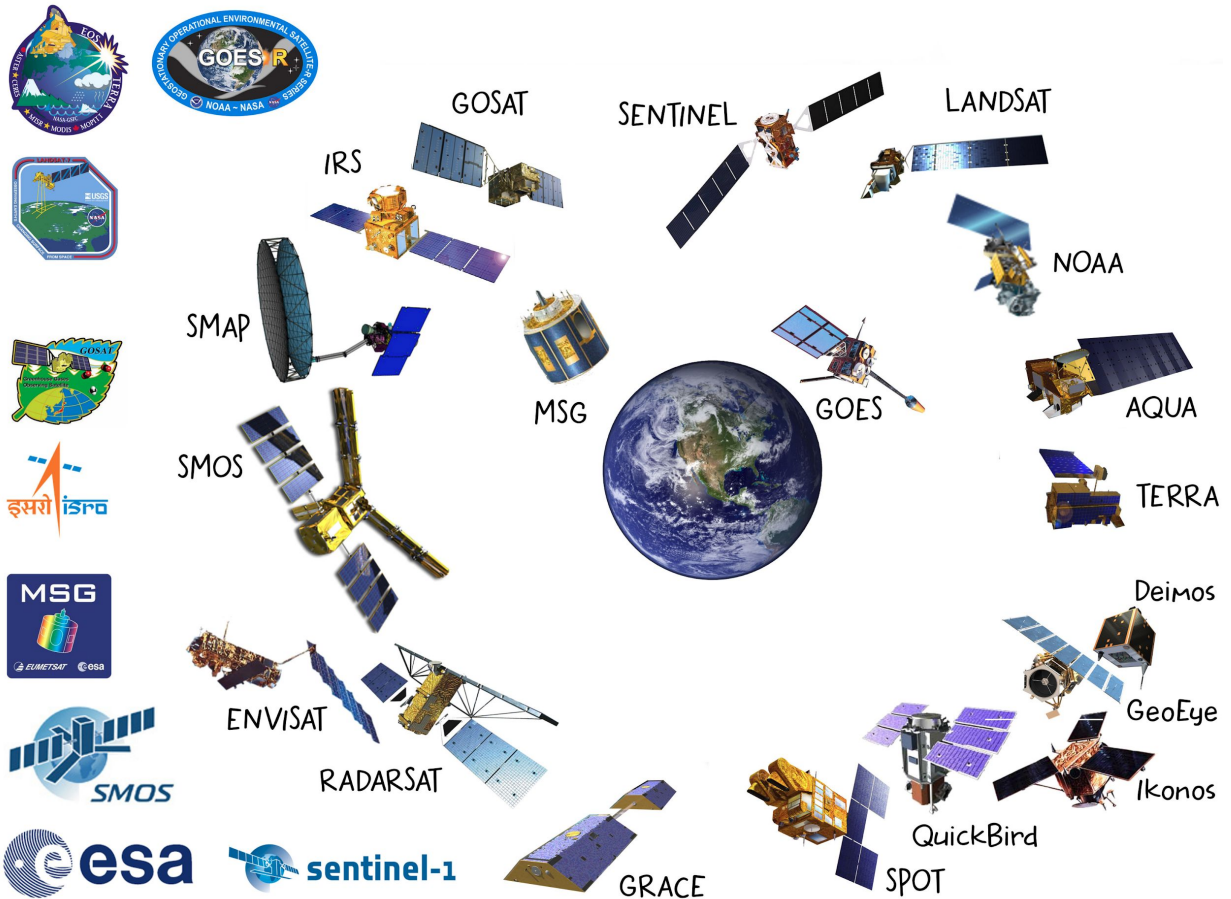


Fig. 13: Algunos satélites de Observación de la Tierra y Meteorológicos.

4.- Principales satélites disponibles

La Tabla 1 recopila y describe algunos de los principales satélites lanzados útiles para fines agrícolas. Futuras misiones, p.ej. la Fluorescence Explorer (FLEX) para monitorear la fluorescencia global de clorofila en la vegetación terrestre, o Biomass de seguimiento de la cantidad de carbono almacenado en los bosques del mundo, que pueden ser útiles a nivel agrológico (ambas de la ESA), se han dejado fuera de la tabla.

Teledetección para la Agricultura

4.- Principales satélites disponibles para aplicaciones agrícolas

Misión	Agencia	Propósito principal y carga útil	Res. espacial	Res. temporal	Periodo
SPOT	CNES, Spot Image	Observación de la superficie y la vegetación de alta resolución. HRV/HRVIR/HRG (canales VIS, NIR, SWIR, MS y PAN)	Desde 5 m (PAN) to 10-20 m (VNIR, SWIR)	26 días. Puntos estratégicos: 3 días	1986-2015
MODIS AQUA, TERRA	NASA	Multi-propósito: nubes, océano, hielo y tierra. Imágenes ópticas de resolución moderada. (VIS, NIR, SWIR, MWIR, TIR channels)	Desde 0.25 km (2 canales) to 1.0 km (29 canales)	2 veces o una vez al día.	2000-presente
Landsat 4/5 TM	NASA	Observación de la tierra y la vegetación a alta resolución. TM (Thematic Mapper, VIS, NIR, SWIR, TIR)	TM: 30 m VNIR 120 m TIR	16 días	1982-2013
Landsat 7 +ETM	NASA	ETM+ (Enhanced Thematic Mapper + PAN,VIS,NIR,SWIR, TIR)	ETM+: 30 m VNIR, 15 m PAN, 60 m TIR	16 días	1999-presente
Landsat 8 OLI	NASA	OLI (Operational Land Imager, PAN,VIS,NIR,SWIR) TIRS (Thermal Infra-Red Sensor, TIR)	OLI: 30 m VNIR, 15 m PAN, TIRS 100 m	16 días	2013-presente
Ecoestress (ISS)	NASA (ESA, JAXA, CSA...)	ECOSystem Spaceborne Thermal Radiometer Experiment on Space Station. Temperatura de la superficie terrestre en diferentes momentos durante el ciclo diurno para detectar el estrés hídrico en las plantas.	Radiómetro de 5 canales TIR, ~70 m (30 m for ET dis-ALEXI USDA Daily L3 Global and ESI index)	Variable, dependiendo de la órbita de la ISS	2018≥2023

Teledetección para la Agricultura

4.- Principales satélites disponibles para aplicaciones agrícolas

Misión	Agencia	Propósito principal y carga útil	Res. espacial	Res. temporal	Periodo
Sentinel-1 (A,B) *	ESA	Monitoreo terrestre y oceánico. C-SAR (C-band Synthetic Aperture Radar)	5x5 m a 25 x 100 m (mode)	175 órbitas en 12 días	A2014, B2016
Sentinel-2 (A,B)	ESA	Vegetación terrestre de alta resolución. Mitigación de riesgos. MSI: Multi-Spectral Imager (VIS/NIR/SWIR).	10 m, 20 m, 60 m, dependiendo del canal	10 días (5 días con los 2 satélites)	A2015, B2017
Sentinel-3 (A,B) *	ESA	Misión terrestre y oceánica. DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite), LRR (Laser Retro-Reflector), MWR (Micro-Wave Radiometer), SRAL (Synthetic aperture Radar Altimeter), OLCI (Ocean and Land Colour Imager), SLSTR (Sea and Land Surface Temperature Radiometer).	MWR (20 km), OLCI (300 m), SLSTR: 0.5 km para canales de onda corta 1 km para onda larga SAR: 300 m x 1000	27 días OLCI y SLSTR, 2 días	A2016, B2018

4.- Principales satélites disponibles para aplicaciones agrícolas

Misión	Agencia	Propósito principal y carga útil	Res. espacial	Res. temporal	Periodo
ENVISAT *	ESA	Química atmosférica, climatología, océano y hielo. Observación de tierras y vegetación. AATSR (Advanced Along-Track Scanning Radiometer), ASAR (Advanced Synthetic Aperture Radar C-band SAR), MWR (Micro-Wave Radiometer), etc	AATSR 1 km, MERIS 300 m MWR, RA-2 20 km	Entre 1 a 3 días MWR, RA-2, 35 días	2002-2012
SMAP	NASA JPL, GSFC	Humedad del suelo Activo-Pasivo (Soil Moisture Active-Passive). Radiómetro MW, VV, HH y HV para el SAR	Radiómetro: 40 km; SAR: 30 km (apertura real), 3 km (procesado)	1.5 días	2015-presente
SMOS	ESA , CDTI, CNES	Humedad del suelo y salinidad del océano (Soil Moisture and Ocean Salinity)	GPS, MIRASM (radiómetro de microondas, 50 km), STA.	3 días	2009-presente

5.- Características de las imágenes y tratamiento de la información

Actualmente hay una amplia variedad de satélites cuyas imágenes se proporcionan de forma gratuita, existiendo un gran volumen de información distribuida de la superficie terrestre.

Previamente al uso de esta información es necesario **calibrar y corregir las imágenes** (Fig. 14) geoméricamente (para posicionar la imagen en la zona territorial adecuada y eliminar distorsiones, georeferenciando la información: dando a cada píxel su localización en un sistema de coordenadas estándar), radiométricamente (corrección de problemas mecánicos y potenciales fallos de calibración de los sensores, eliminando imperfecciones presentes en los píxeles, transformando la información digital a radiancia), atmosféricamente (eliminando las distorsiones que la atmósfera introduce en los valores de radiancia que llegan al sensor desde la superficie) y topográficamente si procede (en zonas con un gradiente vertical muy acentuado).

Cada vez más, la tendencia de las distintas agencias es a **ofrecer las imágenes de satélite ya corregidas**, o las herramientas necesarias para su pre-procesamiento (p.ej. el plugin de Sen2cor para la corrección atmosférica del óptico para Sentinel 2, integrado en SNAP).

5.- Características de las imágenes y tratamiento de la información

Las imágenes son matrices numéricas (Fig. 15), donde los valores de cada píxel están colocados siguiendo un sistema de coordenadas. El tamaño del píxel es igual a la resolución espacial de la imagen del satélite.

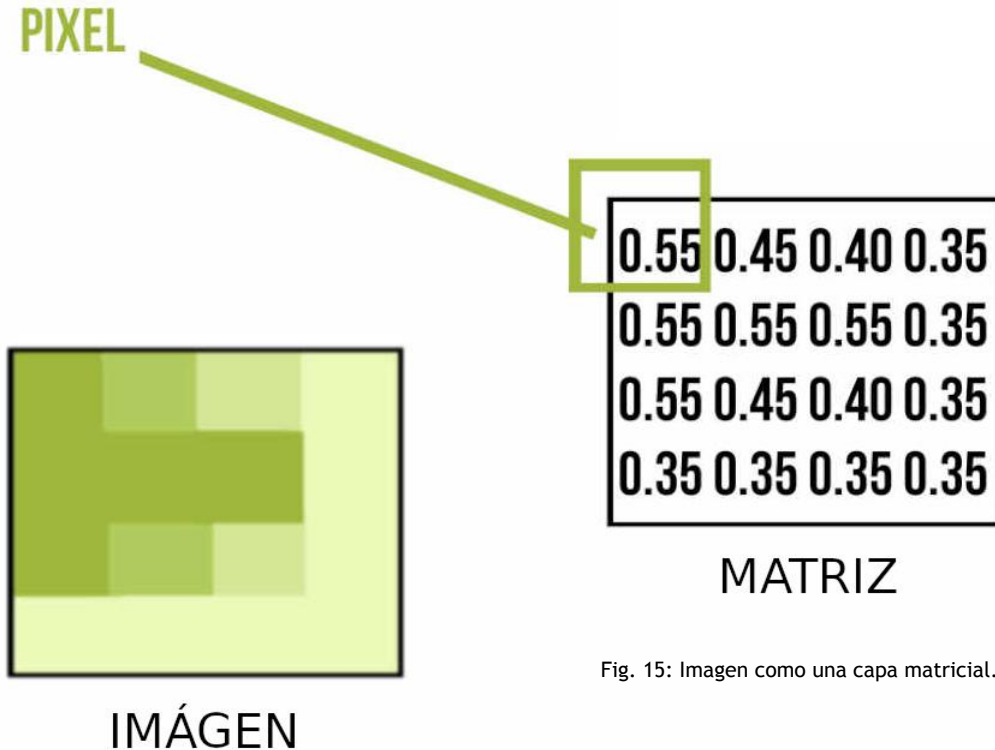


Fig. 15: Imagen como una capa matricial.

5.- Características de las imágenes y tratamiento de la información

Estas matrices se pueden cargar y manipular en computadoras, junto con otras fuentes de datos, mediante técnicas de procesamiento de imágenes digitales y sistemas de información geográfica (Fig. 16).

La información se puede descargar de diferentes plataformas web, por ejemplo:

- Sentinel-hub de la ESA <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>
- Earth Explorer <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- usgs-glovis <https://glovis.usgs.gov/> de la NASA
- etc...

para procesarla directamente en nuestro sistema mediante diversos softwares

Sin necesidad de descargarlas, a través de plataformas que nos permitan manipular la información directamente en el servidor:

- TEPS <https://tep.eo.esa.int/>
- Google Earth Engine <https://earthengine.google.com/>

5.- Características de las imágenes y tratamiento de la información

Existen programas de acceso abierto para el procesamiento de imágenes, como:

- SNAP-ESA (<https://step.esa.int/main/toolboxes/snap/>)
- QGIS (<https://qgis.org/en/site/>),

y lenguajes de programación:

- Python (<https://www.python.org/>)
- R (<https://www.r-project.org/>)

con librerías que permiten el procesamiento de imágenes (p.ej. gdal <https://gdal.org/>) siendo posible encontrar en internet código abierto para realizar acciones específicas con información remota.

Teledetección para la Agricultura

5.- Características de las imágenes y tratamiento de la información

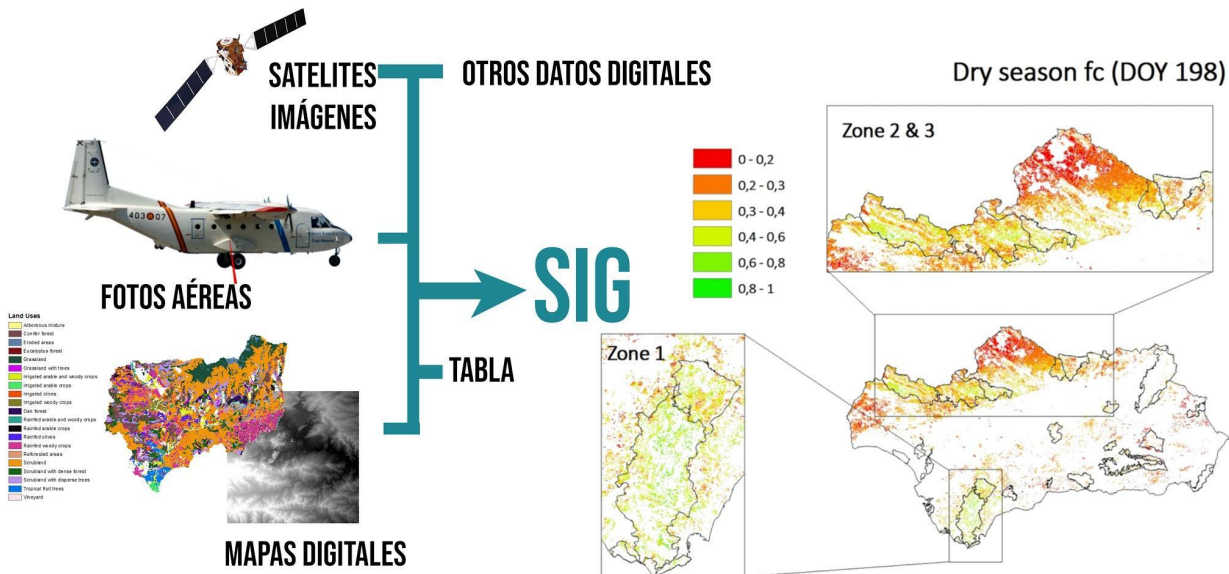


Fig. 16: Esquema de un sistema de información geográfico, para almacenar, manipular, mostrar y analizar diferentes fuentes de datos referenciados geográficamente. Fuente: Andreu et al., 2018b.

5.- Características de las imágenes y tratamiento de la información

Para obtener de la medida de teledetección un rasgo primario agronómico son necesarios **enfoques empíricos** (modelos que relacionan directamente las medidas con el rasgo con medios estadísticos puros, calibrando directamente la relación entre la medida de la señal y la variable de interés, p.ej. Regresiones lineales), **mecanicistas** (se centran en los procesos que ocurren, en los mecanismos envueltos en la producción de ese rasgo, por ejemplo invirtiendo modelos basados en la teoría de transferencia radiativa), **la combinación de ambos** (Baker et al., 2018), o en **modelos contextuales** (basados en las propiedades espaciales y temporales que existen entre las series de imágenes) (Weiss et al., 2020).

Las variables secundarias (indirectamente vinculadas a la transferencia radiativa) relacionadas con el funcionamiento de la vegetación, como su estado hídrico o la cantidad de nitrógeno, resultan de la combinación de múltiples procesos dentro del continuo suelo-planta-atmósfera.

6.- Uso de sensores en el ámbito agrícola

El seguimiento preciso del estado de los cultivos es de gran importancia, entre otras cosas, debido al incremento en la demanda agrícola por el aumento poblacional (FAO, 2017), y al contexto de cambio climático y agotamiento de recursos naturales en el que nos encontramos.

El incremento de la producción debe venir acompañado de un manejo sostenible de estos recursos y de las tierras agrícolas. Es necesario reducir los impactos negativos de la agricultura sobre la cantidad y calidad de las aguas, los recursos de suelo, la degradación de la tierra, las emisiones de gases invernaderos, y la biodiversidad (Gomiero et al., 2011).

Para ello, es clave **realizar un seguimiento preciso del crecimiento y el estado del cultivo en múltiples áreas y contextos medioambientales, a varias resoluciones temporales y para diferentes propósitos (Weiss et al., 2020).**

La prevención, y la alerta temprana de eventos extremos son fundamentales para minimizar su impacto en el sistema alimentario (Wheeler y von Braun, 2013). Mediante el uso de la información suministrada por la teledetección es posible anticipar eficientemente la producción de alimentos, o su escasez, y así reforzar la seguridad alimentaria en las regiones más vulnerables (Di Falco et al., 2012). También es posible optimizar las prácticas de gestión para que cumplan requisitos de sostenibilidad (Areal et al., 2018). Además la teledetección permite realizar esta evaluación con una visión a largo plazo, integrando las lecciones aprendidas en la definición de políticas o prácticas agrarias.

6.- Uso de sensores en el ámbito agrícola

La teledetección aporta información valiosa para (revisión recomendada Weis et al., 2020):

- Detección del contenido de humedad del suelo para programación de riego, evaluación de áreas vulnerables, o seguimiento de la sequía.
- Seguimiento del estrés hídrico (avisos-impacto sequía), monitoreo del vigor de la vegetación y del estrés por sequía.
- Mejora del fenotipado: selección de los mejores cultivares para mejorar la producción de cultivos.
- Monitoreo del uso de la tierra agrícola, mapeo de alteraciones, cambios en el uso y cobertura del suelo (LULC). Estimación de superficie de cultivo y mapeo de tierras de cultivo, clasificación de cultivos, superficie, etc.
- Seguimiento del ciclo fenológico del cultivo, de la cobertura vegetal, del estado del cultivo.
- Producción de biomasa (predicción-estimación de cosecha) y rendimiento de cultivos.
- Seguimiento de cultivos para optimizar el rendimiento: agricultura de precisión.
- Seguimiento del uso de agua del cultivo (evapotranspiración).
- Evaluación de las deficiencias de nutrientes del cultivo, el estado, y la calidad (p.ej. fertilización nitrogenada-proteína pastos).
- Seguimiento de la enfermedad de cultivos, infestación de malezas e insectos.

6.- Uso de sensores en el ámbito agrícola

Algunas aplicaciones concretas se pueden encontrar en los siguientes informes técnicos de la plataforma Servifapa:

1. Cálculo del coeficiente de cultivo y estimación de evapotranspiración integrando teledetección. / [Carpintero, E; Andreu, A; González-Dugo, M.P.]. - Córdoba. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, 2018. 1-10 p. Formato digital (e-book).
2. Cálculo de la evapotranspiración mediante balance de energía integrando teledetección. / En preparación / [Andreu, A; González-Dugo, M.P.]. - Córdoba. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, 2018. 1-10 p. Formato digital (e-book).
3. Cálculo de biomasa integrando teledetección (pasto y cultivos). / En preparación / [Gómez-Giraldez, P.; González-Dugo, M.P.]- Córdoba. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, 2018. 1-10 p. Formato digital (e-book).

Teledetección para la agricultura

Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera

Avenida de Grecia s/n
41012 Sevilla (Sevilla) España
Teléfonos: 954 994 595 Fax: 955 519 107
e-mail: webmaster.ifapa@juntadeandalucia.es
www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa



www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa



INSTITUTO ANDALUZ DE INVESTIGACIÓN
Y FORMACIÓN AGRARIA, PESQUERA,
ALIMENTARIA Y DE LA PRODUCCIÓN ECOLÓGICA
Consejería de Agricultura, Ganadería,
Pesca y Desarrollo Sostenible

Este trabajo ha sido financiado por la beca MSCA-IF-SWATCH GA número 703978



UNIÓN EUROPEA