



AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria



TELEDETECCIÓN

Maestría y Doctorado en Ingeniería
UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA

CLAUDIA MILENA SERPA IMBETT, PhD

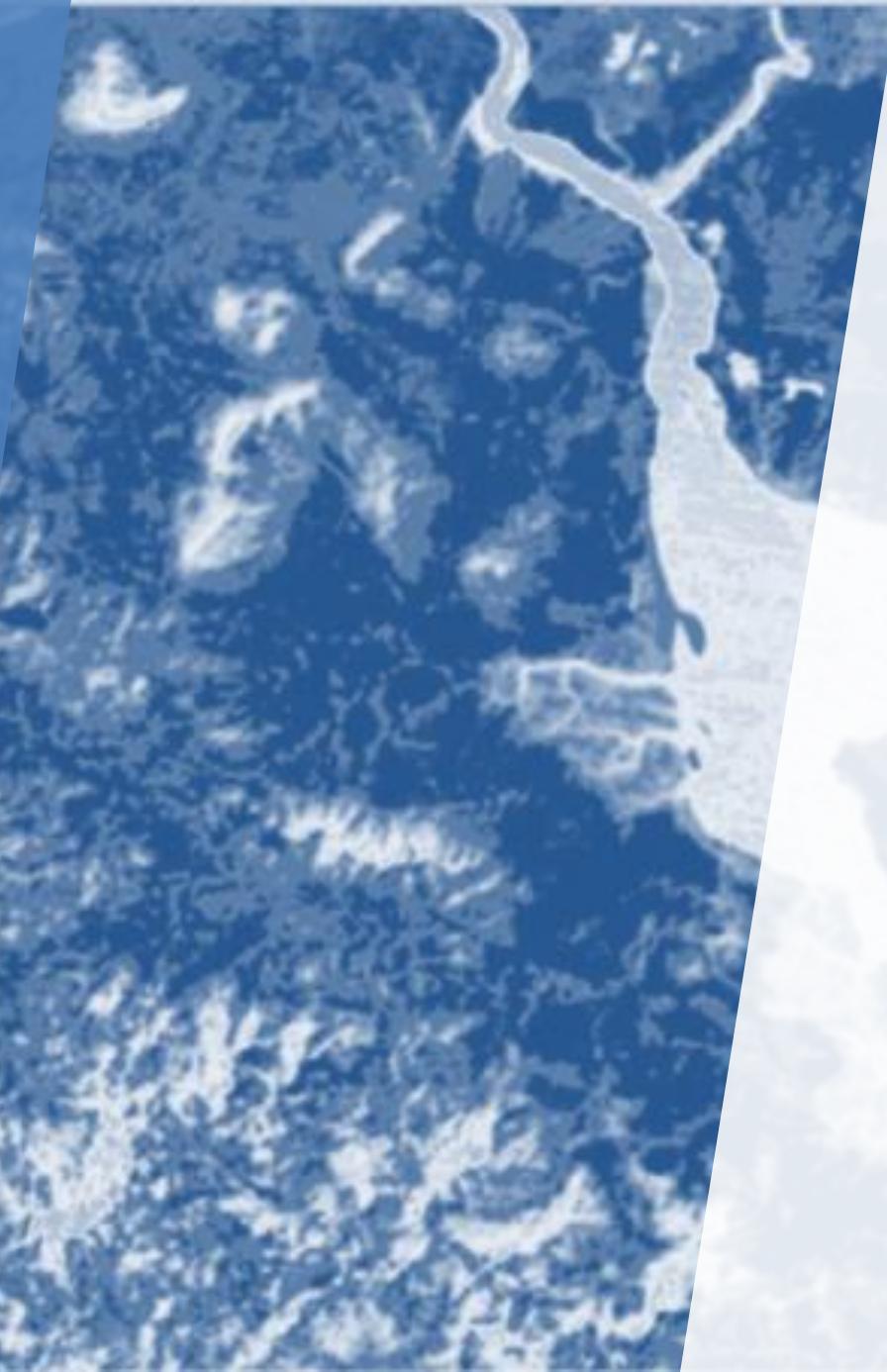
Posdoctorado - AGROSAVIA C.I Turipaná -
CERETÉ.

Docente de Universidad del Sinú -
MONTERÍA.

CONTENIDO

1. Fundamentos de teledetección
2. Imágenes pasivas
3. Imágenes activas





MODULO 1

FUNDAMENTOS DE TELEDETECCIÓN

CONTENIDO

1. Fundamentos de teledetección
2. Imágenes pasivas
3. Imágenes activas



¿Qué es la teledetección?

Es un conjunto de técnicas y tecnologías que permiten obtener información sobre la superficie terrestre u otros objetos a distancia, sin necesidad de estar en contacto directo con ellos. Esto se logra mediante la captación y análisis de la radiación electromagnética que los objetos emiten, reflejan o absorben.



¿Cómo funciona?

A través de sensores, pueden estar ubicados en:

Plataformas como: Satélites, Drones, Aviones, Globos estratosféricos.

Los sensores registran diferentes tipos de radiación (visible, infrarroja, microondas, etc.)

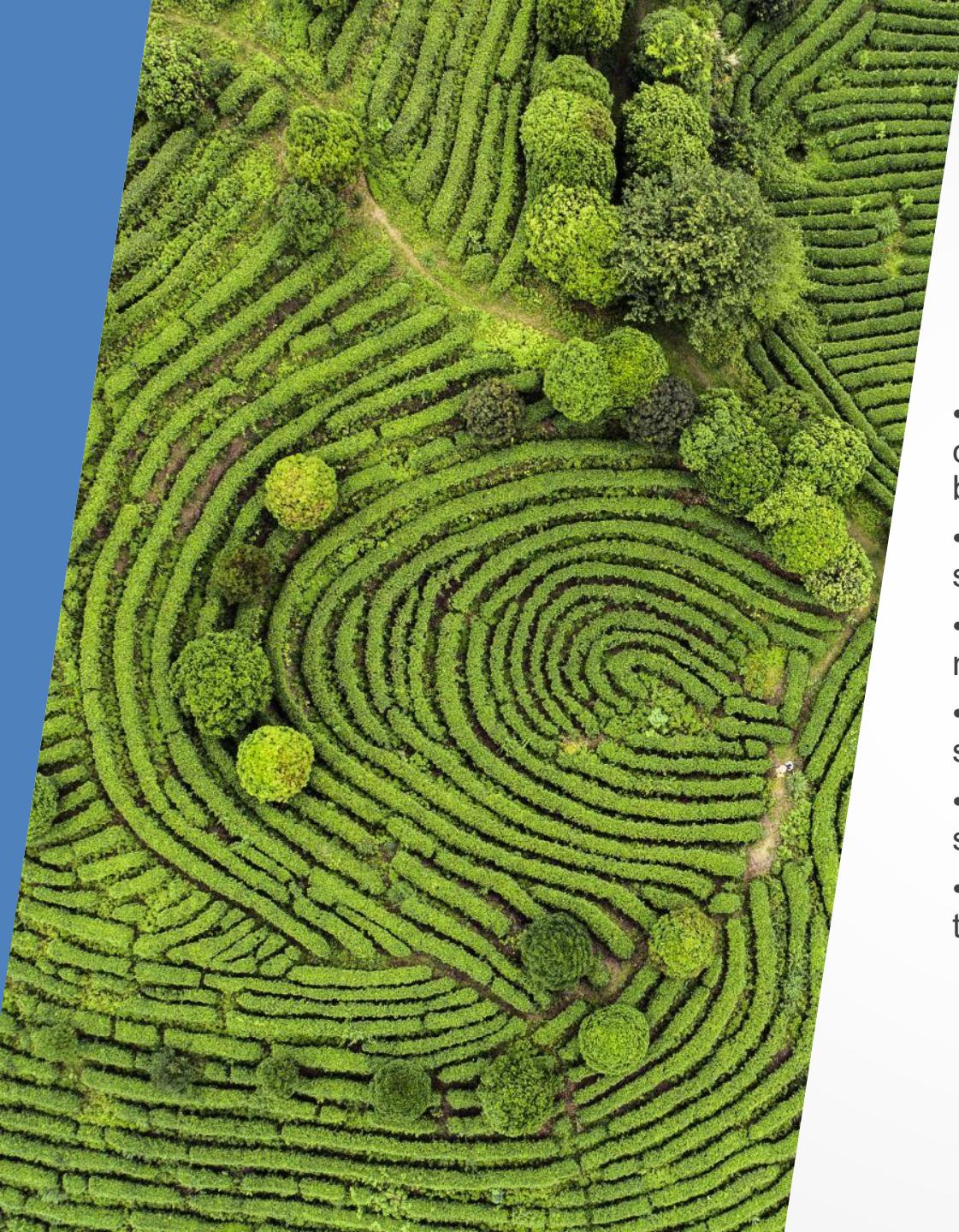




El (los) sensor(es) captura(n) la radiación “REFLEJADA, TRANSMITIDA O ABSORBIDA” de manera remota, por lo que la TELEDECCIÓN también se denomina “SENSADO REMOTO”

Tipos de TELEDETECCIÓN

- ▶ **PASIVA:** Captura la radiación natural, principalmente la luz solar **reflejada**. Ejemplo: imágenes satelitales ópticas (como las de Sentinel o Landsat).
- ▶ **ACTIVA:** El sensor emite su propia señal (como un radar o un LIDAR) y mide el “**tiempo**” rebote. Esto permite operar de noche y en condiciones de nubosidad.

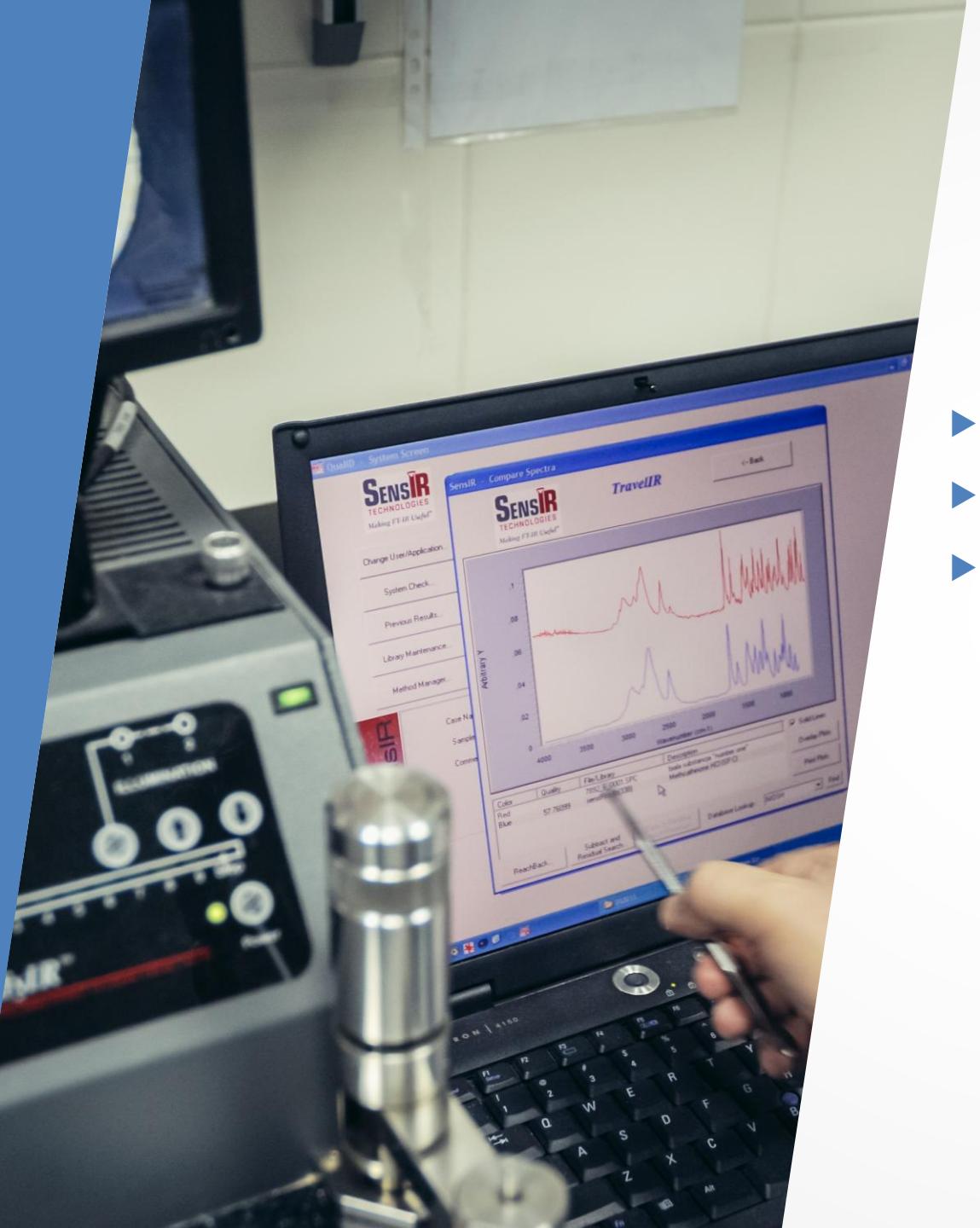


Aplicaciones de la TELEDECCIÓN o SENSADO REMOTO

- **Agricultura de precisión:** monitoreo de cultivos, estrés hídrico, estimación de biomasa.
- **Silvicultura:** detección de deforestación, salud del bosque.
- **Gestión ambiental:** evaluación de desastres naturales, monitoreo de cuerpos de agua.
- **Geología:** detección de fallas, análisis de suelos y minerales.
- **Urbanismo:** crecimiento urbano, uso del suelo.
- **Cambio climático:** monitoreo de glaciares, temperatura de la superficie terrestre.

Conceptos básicos

- ▶ Sensor
- ▶ Plataforma
- ▶ Resolución



Sensor

Un sensor es el dispositivo que capta la información desde la distancia, midiendo la radiación electromagnética reflejada, emitida o absorbida por los objetos.



Sensor

- **Ópticos** (visible, infrarrojo cercano): como los portados por los satélites Sentinel-2 y drones
- **Térmicos**: detectan energía en el infrarrojo térmico (temperatura).
- **Radar (SAR)**: sensor activo que emite microondas y mide su retorno (útil en condiciones de nubosidad o de noche).
- **LIDAR**: emite pulsos láser para medir distancias con gran precisión (usado en topografía y vegetación).





Plataforma

- ▶ Es el vehículo que transporta el sensor:
- ▶ Puede ser un dron, un satélite, un avión, globo estratosférico, etc.



Plataforma

Tipos de plataformas:

- **Satélites:** como Sentinel, Landsat, MODIS (alta cobertura, menor resolución temporal).
- **Aviones:** vuelos programados para estudios específicos (resolución intermedia).
- **Drones (UAVs):** permiten vuelos a baja altura y alta resolución espacial y temporal.
- **Globos estratosféricos:** permiten observaciones a gran altitud y son más económicos que los satélites

Resolución

Se refiere al nivel de detalle con el que se captan los datos.



Resolución

Tipo de resolución	¿Qué significa?	Ejemplo
Espacial	Tamaño mínimo de un objeto detectable (tamaño de píxel)	10 m, 30 m, 1 m...
Espectral	Número y ancho de bandas espectrales que capta el sensor	RGB, infrarrojo, hiperespectral
Temporal	Frecuencia con la que se adquieren datos de un mismo lugar	Cada día, cada 5 días...
Radiométrica	Precisión en la medición de la radiación (niveles de gris o bits)	8 bits (256 niveles), 12 bits, etc.

Ejemplo de un sistema de teledetección o sensado remoto



Sensor: Cámara Multiespectral (captura en RGB (visible) + infrarrojo cercano + Infrarojo de Borde (RedEdge)



Plataforma: Drone



Resolución espacial: 10 cm/píxel y hasta 2.3 cm/pixel volando a 50 m (altísima resolución)

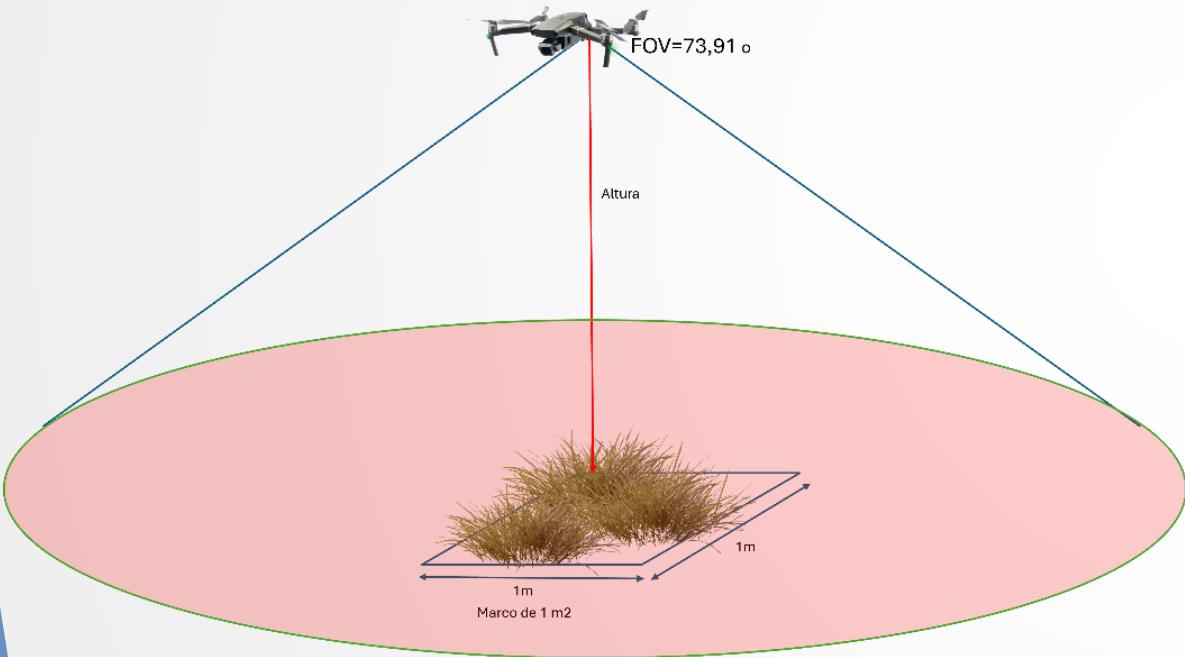


Resolución temporal: según el plan de vuelo, la temporalidad la escoge el usuario.



Resolución espectral: 5 bandas (rojo (R, Red), verde (G, Green), azul (B, Blue), infrarrojo cercano (NIR, Near Infrared), Infrarojo de borde (RE, RedEdge))

Ejemplo de un sistema de teledetección o sensado remoto



- ▶ Altura = 50 m.
- ▶ ¿Cuántos pixels hay en un marco si la resolución es de 2,3 cm/pixel?
- ▶ FOV es el Field of View o campo de vision que se refiere a la apertura angular del
- ▶ Tipo de sensor: multiespectral
- ▶ Plataforma es el dron.

Ejemplo



Sensor: Cámara Multiespectral (captura en RGB (visible) + infrarrojo cercano + Infrarojo de Borde (RedEdge)



Plataforma: Sentinel-2



Resolución espacial: 10 m/pixel.



Resolución temporal: cada 5 días en el trópico

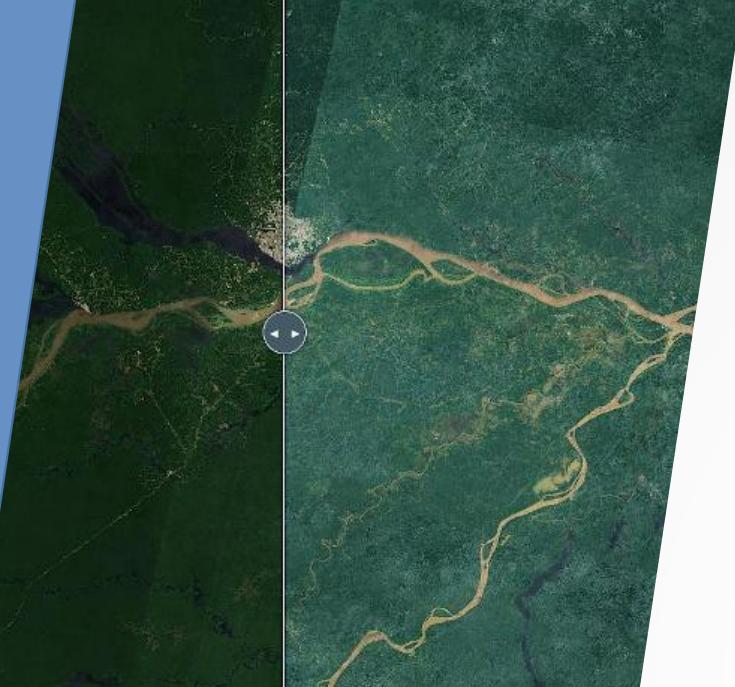


Resolución espectral: 5 bandas (rojo (R, Red), verde (G, Green), azul (B, Blue), infrarrojo cercano (NIR, Near Infrared), Infrarojo de borde (RE, RedEdge))

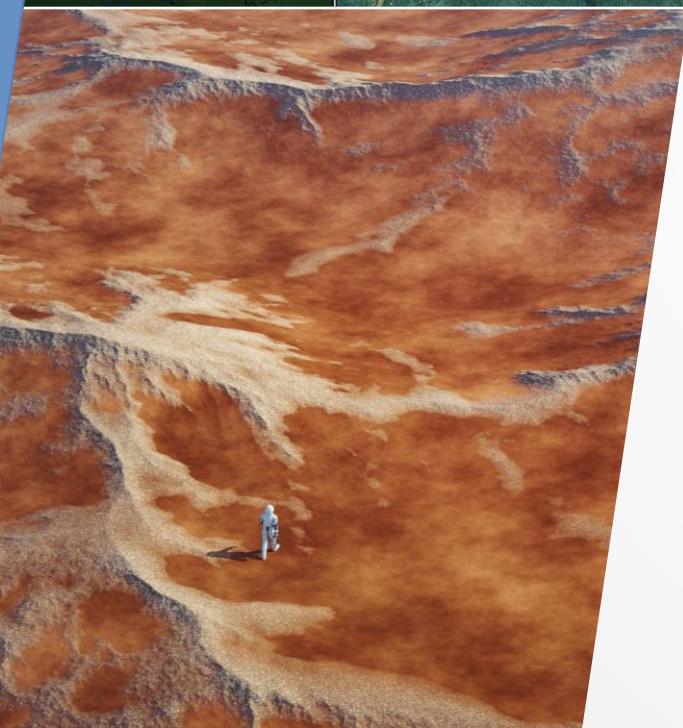
Ejemplo de un sistema de teledetección o sensado remoto



- ▶ Altura = 786 km de la superficie terrestre.
- ▶ FOV es el Field of View o campo de vision que se refiere a la apertura angular del sensor ¿ Cuál es mayor: del satélite o del dron?
- ▶ Tipo de sensor: multiespectral
- ▶ Plataforma es el satélite

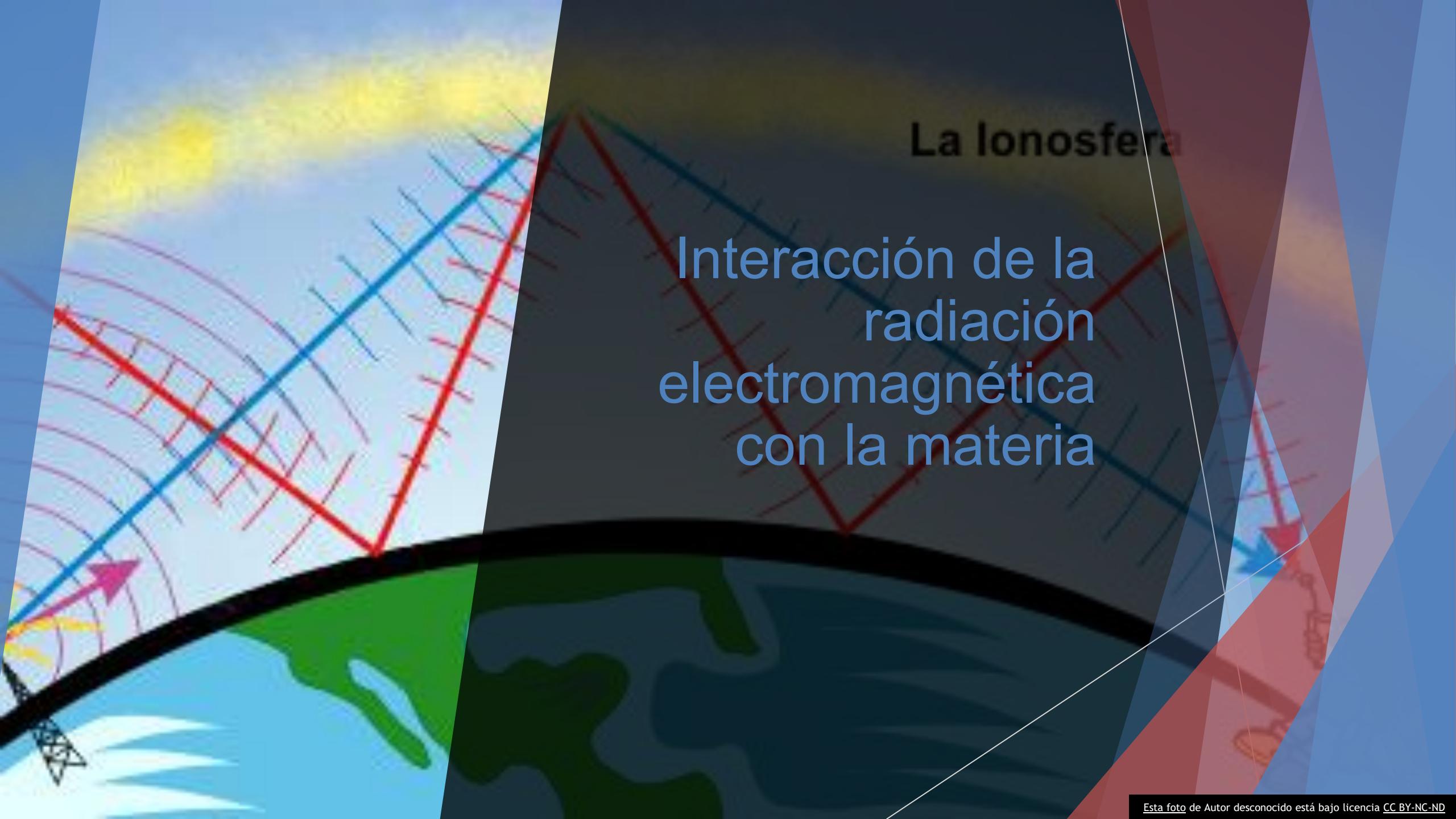


Características del Sentinel - 2.

- 
- 🚀 Altitud: ~786 km
 - ellites 🛰 Órbita: Polar, heliosincrónica (pasa por el mismo punto a la misma hora solar local cada día)
 - ⌚ Revisita: Cada 5 días (combinando Sentinel-2A y Sentinel-2B)
 - 📷 Resolución espacial:
 - 10 m para bandas RGB y NIR
 - 20 m para bandas Red Edge y SWIR
 - 60 m para bandas de corrección atmosférica
 - 🧭 Ancho de barrido (swath): ~290 km
 - 💾 Acceso: Gratuito a través de Copernicus Open Access Hub o Google Earth Engine.

Comparación entre plataformas dron (convencional) y satelital (Sentinel-2)

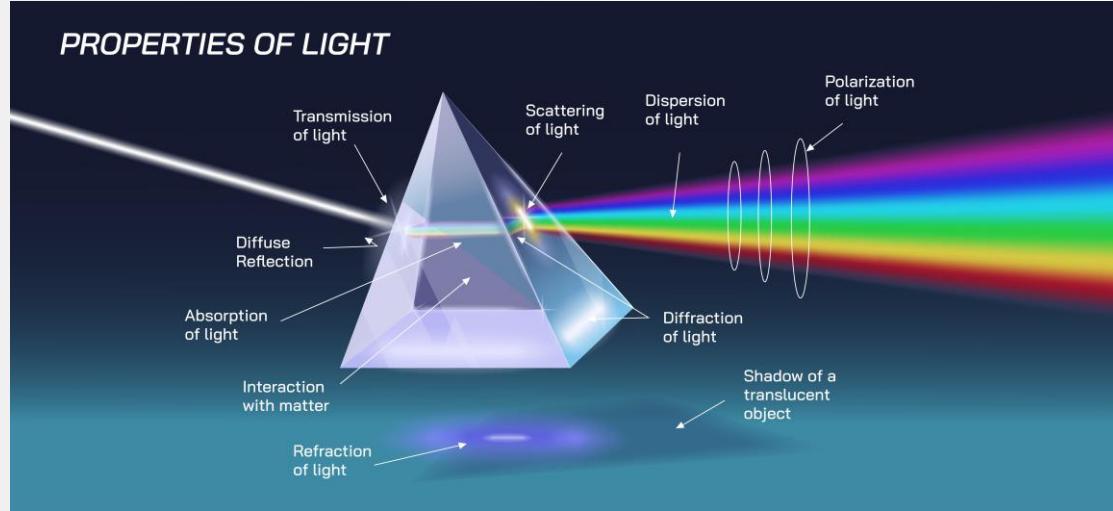
Tipo de resolución Espacial	Drone ~10 cm/píxel	Sentinel-2 10 m/píxel
Espectral	5-10 bandas (dependiendo del sensor)	13 bandas (VIS, NIR, SWIR)
Temporal	Según planificación	Cada 5 días (óptimas sin nubes)
Radiométrica	10-14 bits (alta precisión)	12 bits



La ionosfera

Interacción de la radiación electromagnética con la materia

PROPIEDADES DE LA LUZ



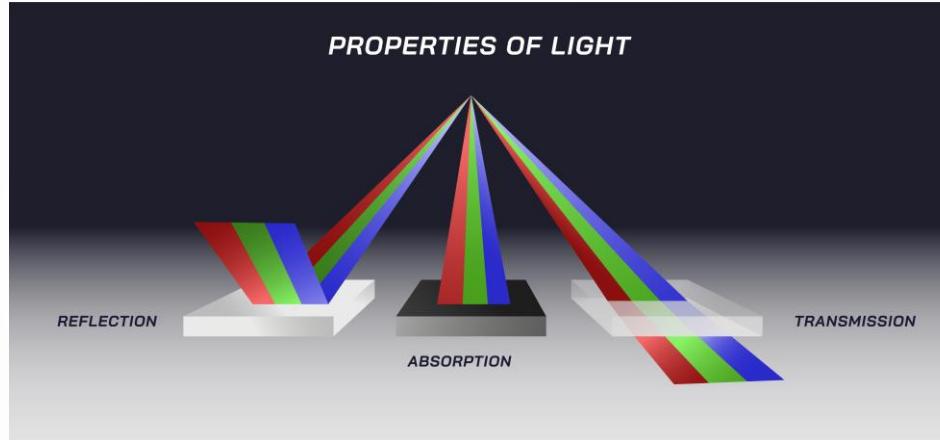
► Las propiedades de la luz son comprendidas por la óptica que es una rama de la física que estudia la **luz** y su comportamiento, así como sus interacciones con la materia.

► Se ocupa de fenómenos como la reflexión, la refracción, la dispersión y la difracción, entre otros.

PROPIEDADES DE LA LUZ

Existen dos enfoques principales en el estudio de la óptica:

1. Óptica geométrica: Se enfoca en la trayectoria rectilínea de la luz y los principios de reflexión y refracción. Aquí se explican cómo se forman las imágenes a través de lentes y espejos, como ocurre en cámaras o telescopios.

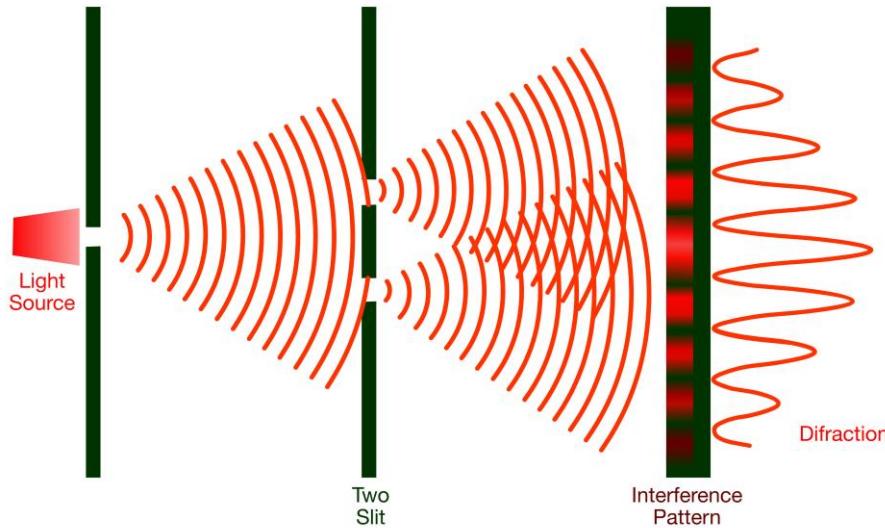


PROPIEDADES DE LA LUZ

Existen dos enfoques principales en el estudio de la óptica:

2. Óptica física: Estudia la luz como una onda, analizando fenómenos que no se pueden explicar solo con la óptica geométrica, como la interferencia y la difracción.

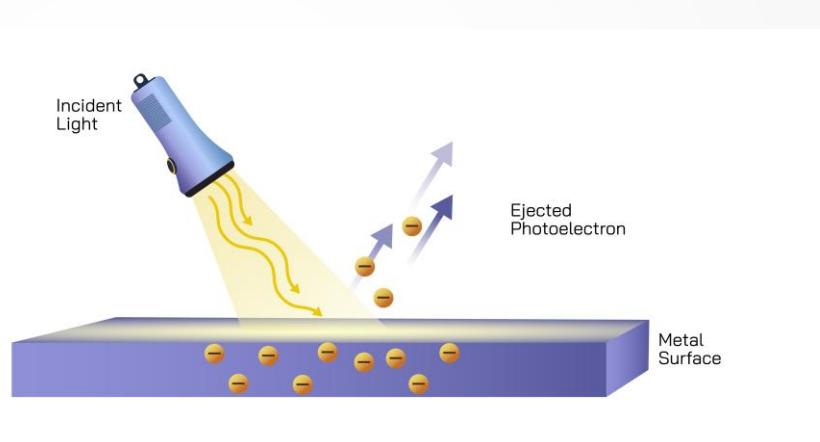
Young's Double-Slit Experiment



PROPIEDADES DE LA LUZ

Las propiedades de la luz también son comprendidas a través de la fotónica es el campo de la ciencia y la tecnología que estudia la **generación, manipulación, transmisión y detección de fotones**, es decir, de partículas de luz.

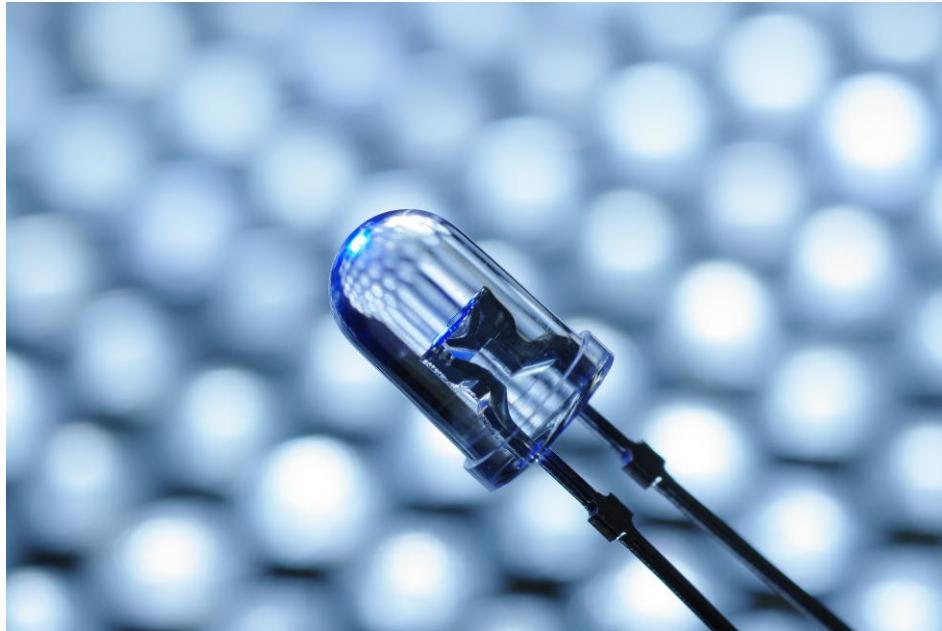
A diferencia de la electrónica, que usa electrones para procesar y transmitir información, la fotónica utiliza la luz (fotones) para realizar estas funciones.



PROPIEDADES DE LA LUZ

Algunas áreas clave dentro de la fotónica son:

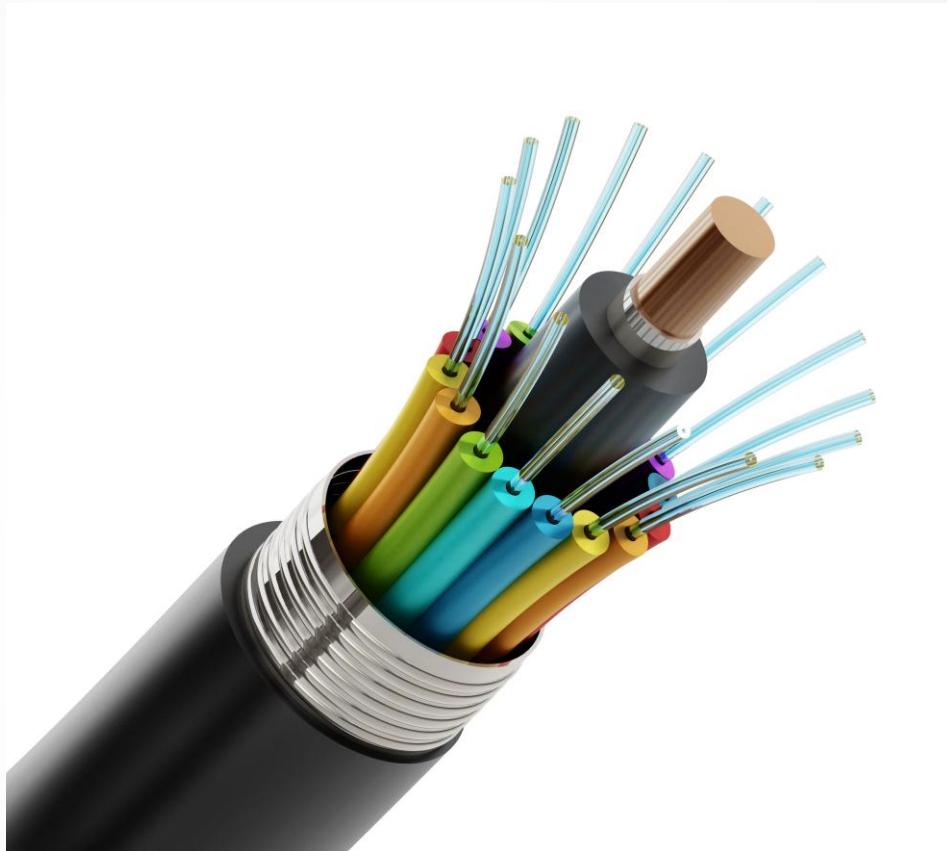
- 1. Generación de luz:** Incluye fuentes de luz como los láseres y los diodos emisores de luz (LEDs).



PROPIEDADES DE LA LUZ

Algunas áreas clave dentro de la fotónica son:

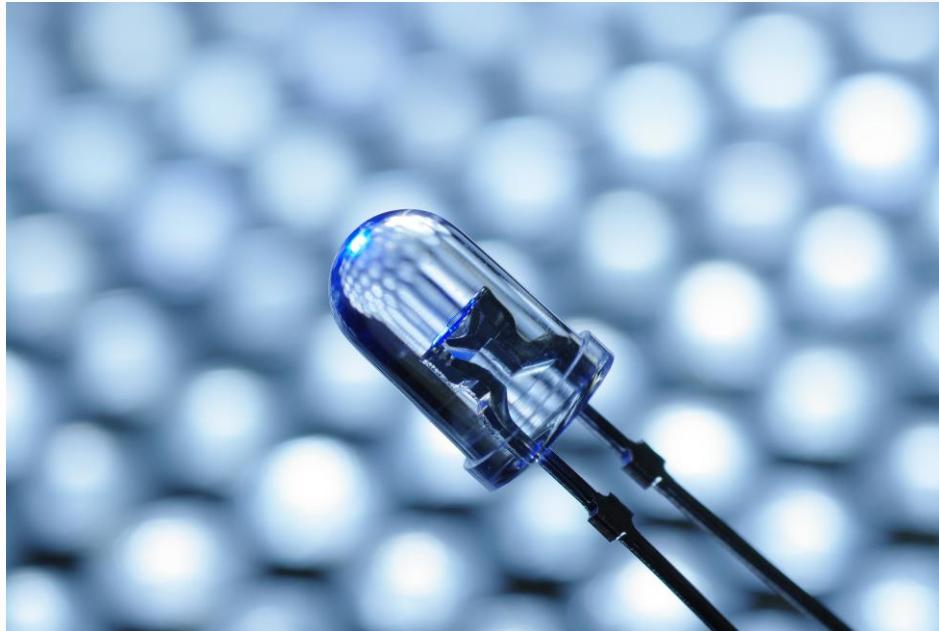
2. Transmisión y control de la luz: Se refiere a cómo la luz se puede guiar a través de fibras ópticas o manipular usando dispositivos como moduladores ópticos.



PROPIEDADES DE LA LUZ

Algunas áreas clave dentro de la fotónica son:

3. Detección de luz: Incluye tecnologías como los fotodetectores y sensores ópticos.



PROPIEDADES DE LA LUZ

Algunas áreas clave dentro de la fotónica son:

4. Procesamiento óptico: Involucra la transmisión de datos y procesamiento de información a través de luz, lo que tiene aplicaciones en telecomunicaciones, tecnologías de la información y teledetección.



PROPIEDADES DE LA LUZ



La óptica tiene aplicaciones en el desarrollo de instrumentos como gafas y telescopios.



La fotónica tiene aplicaciones relacionadas con las **telecomunicaciones** (por ejemplo, a través de la fibra óptica), la **medicina** (láseres en cirugía), la **fabricación de chips** y la **fabricación de cámaras** y sistemas de detección. Además, se considera una tecnología clave en el desarrollo de la computación cuántica y en sistemas de energía más eficientes (páneles solares)



La **biofotónica** investiga la interacción de la luz con sistemas biológicos, lo que permite tanto el análisis y diagnóstico como la intervención en organismos vivos, y esta directamente relacionada con la teledetección y el sensado remoto.

Espectro electromagnético y firmas espectrales



Espectro electromagnético y firmas espectrales

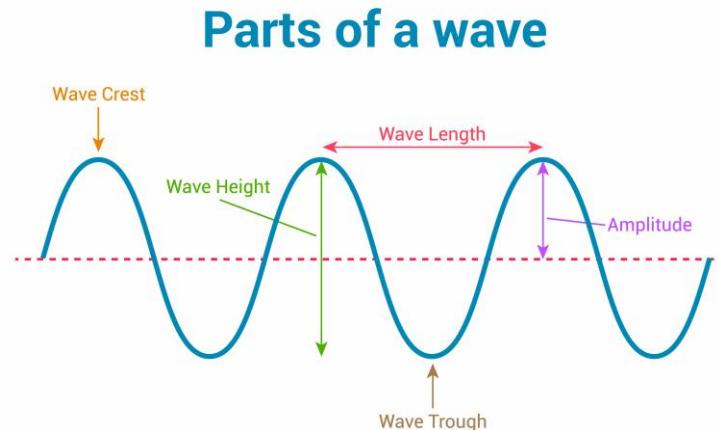
Partes de una onda

$$\lambda = c/f$$

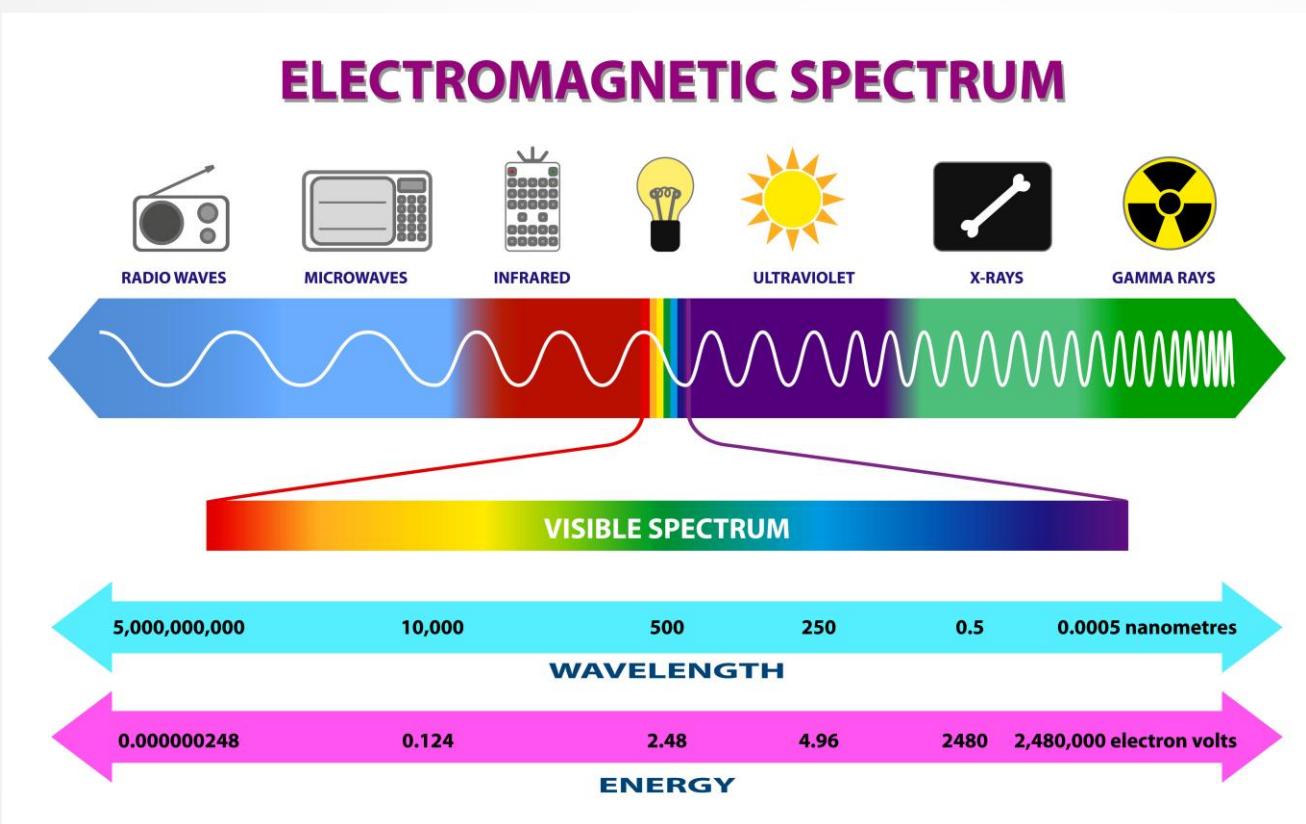
λ es la longitud de onda (wavelength)

c es la velocidad de la luz $3 \times 10^8 \text{ m/s}$

f = frecuencia en Hz (Hertz) o s^{-1}

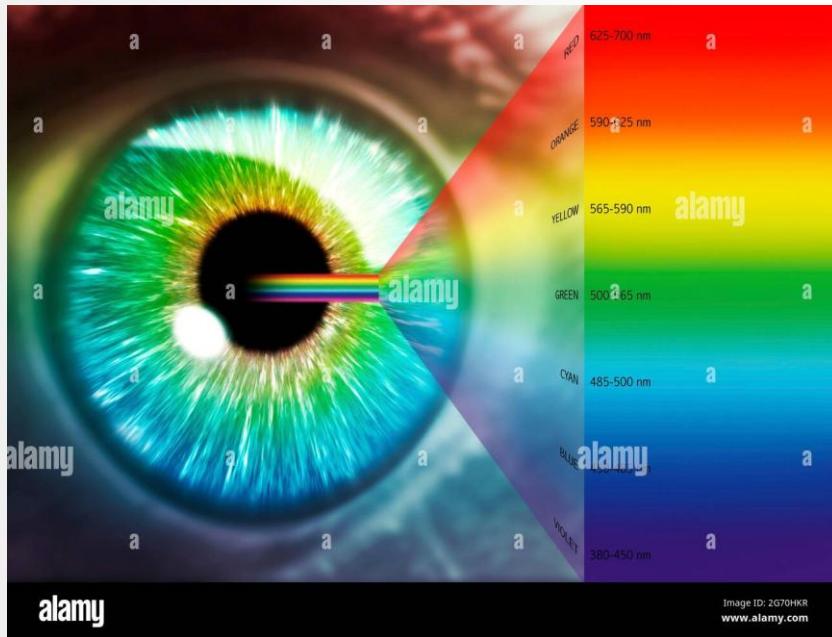


Espectro electromagnético y firmas espetrales

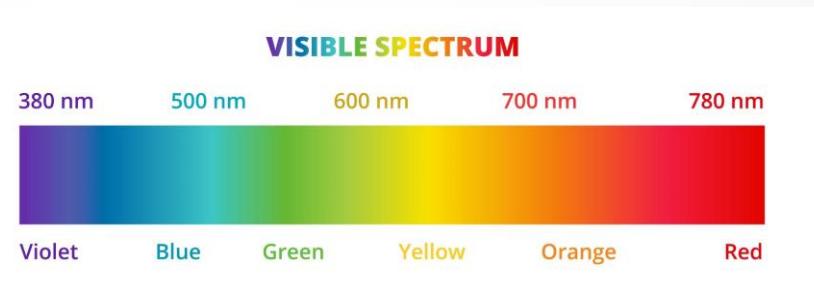


Espectro electromagnético y firmas espetrales

Espectro óptico

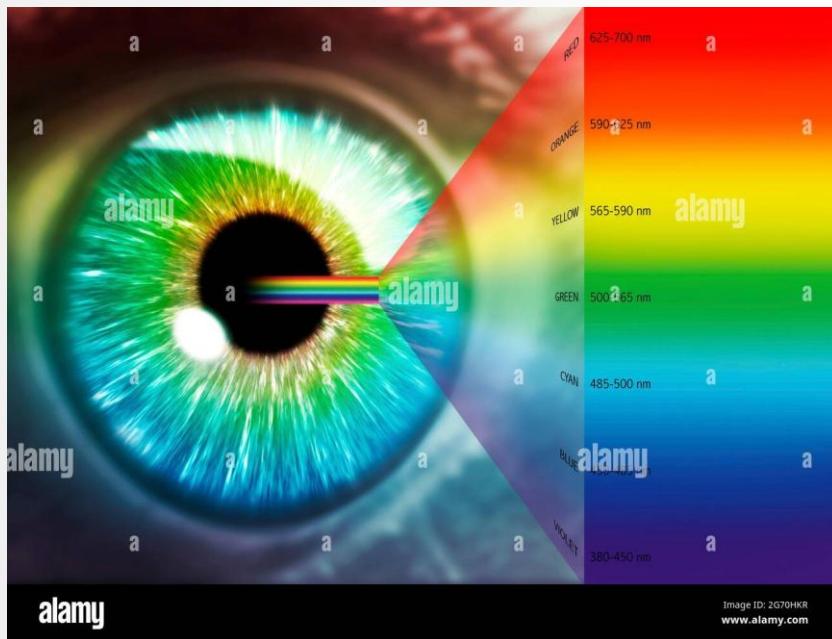


Bandas del espectro óptico: frecuencia del orden de 10^{12} Hz (Terahertz) y longitudes de onda de cientos de nanómetros

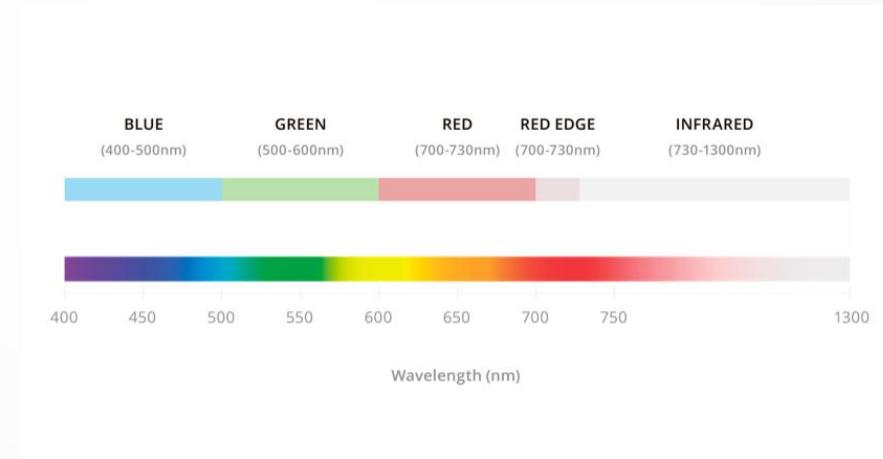


Espectro electromagnético y firmas espetrales

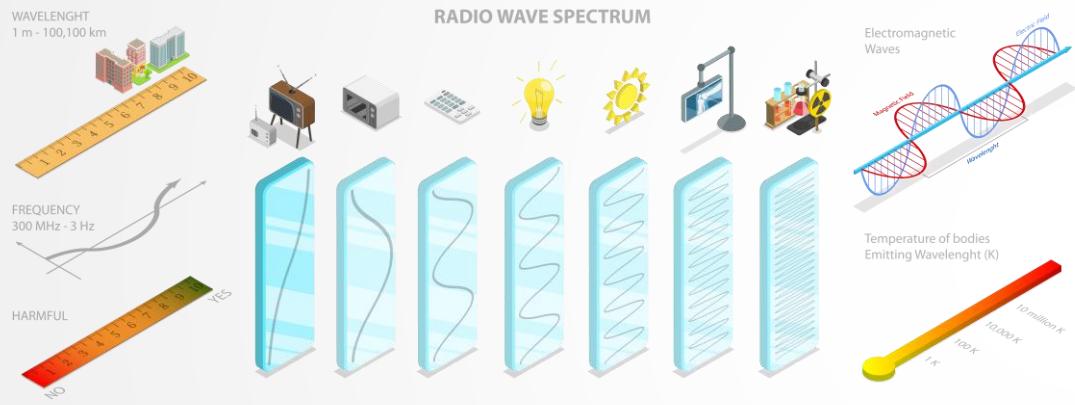
Espectro óptico



Bandas del espectro óptico: frecuencia del orden de 10^{12} Hz (Terahertz) y longitudes de onda de cientos de nanómetros



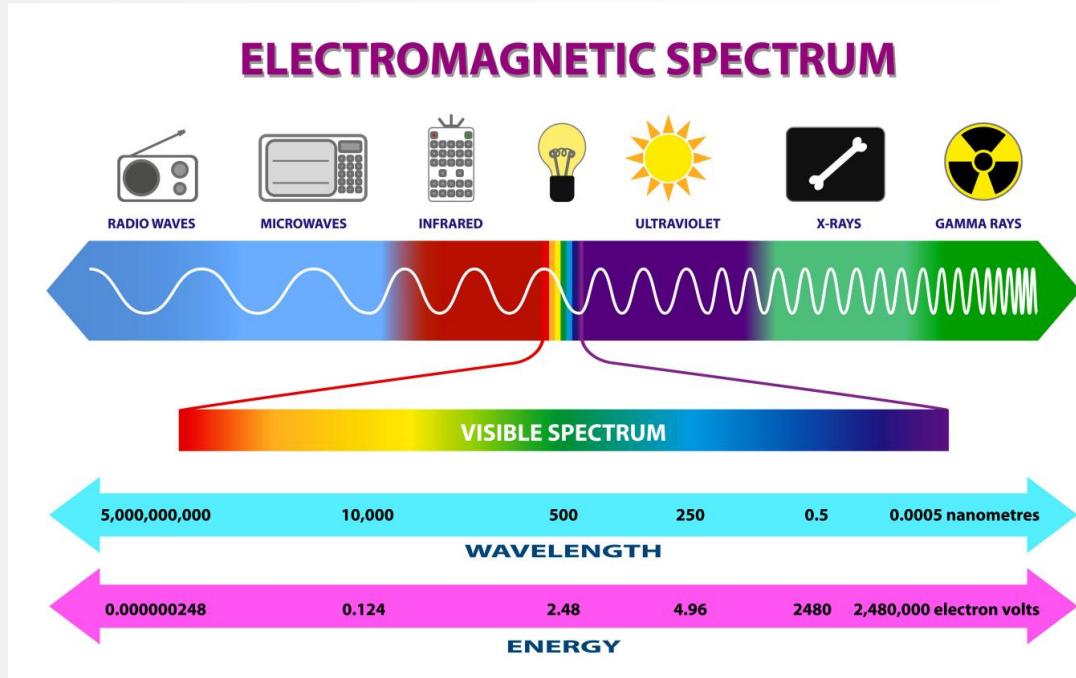
Espectro electromagnético y firmas espectrales



►BANDAS RADIOFRECUENCIA

►frecuencia del orden de 10^9 Hz (Gigahertz) y longitudes de onda de m y cm

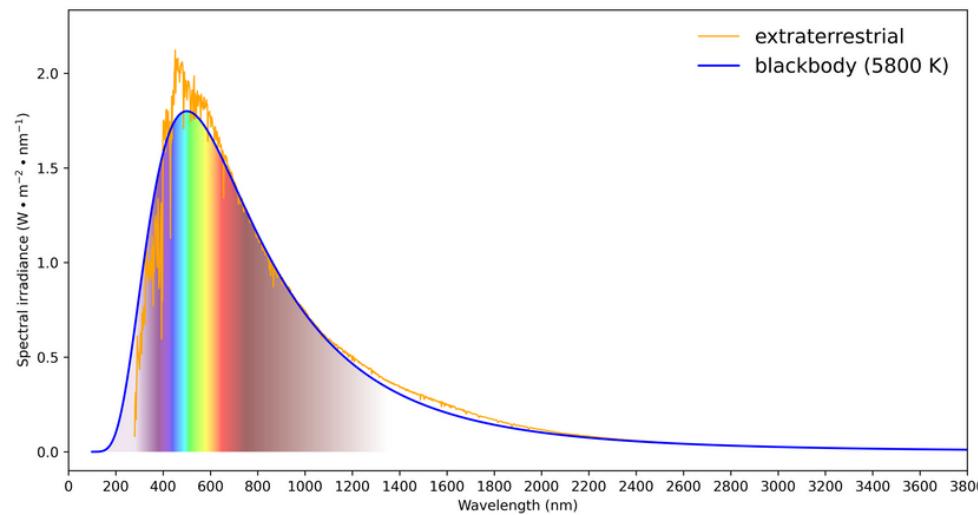
Espectro electromagnético y firmas espectrales



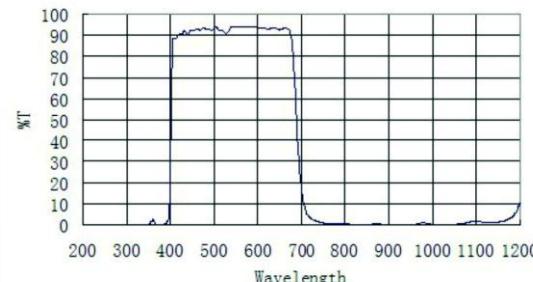
- ▶ 1.1. Bandas de interés y filtros ópticos
 - ▶ Banda óptica (300 nm - 2000 nm) que incluye el espectro visible y el infrarojo cercano (NIR, Near Infrared hasta 1100 nm) y el infrarojo (desde 1100 nm hasta 2000 nm).
 - ▶ Espectro de radiofrecuencias (1-10 GHz).

Espectro electromagnético y firmas espetrales

Espectro solar

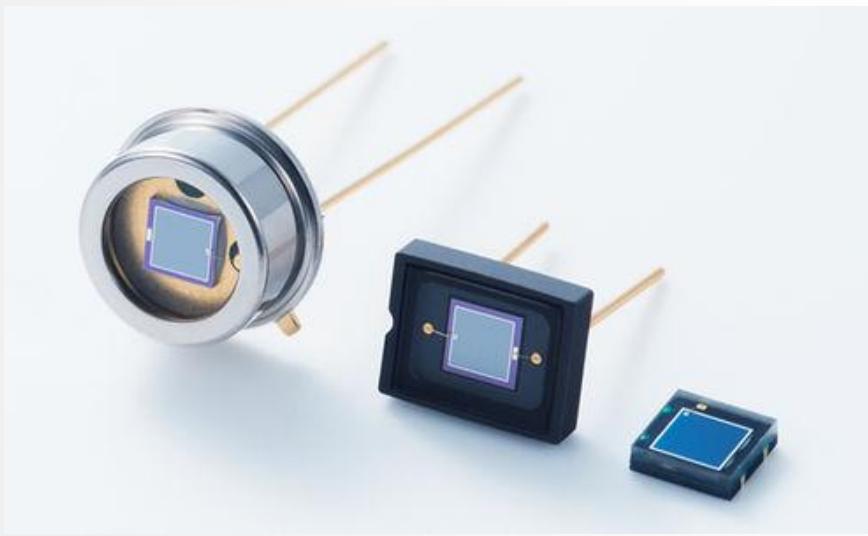


Filtro óptico

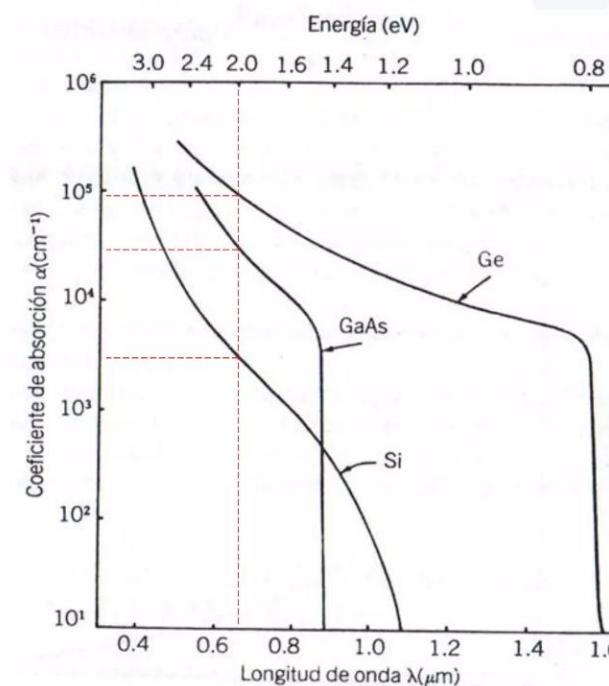


Espectro electromagnético y firmas espectrales

Fotodiodos de Silicio 300 - 1000 nm.

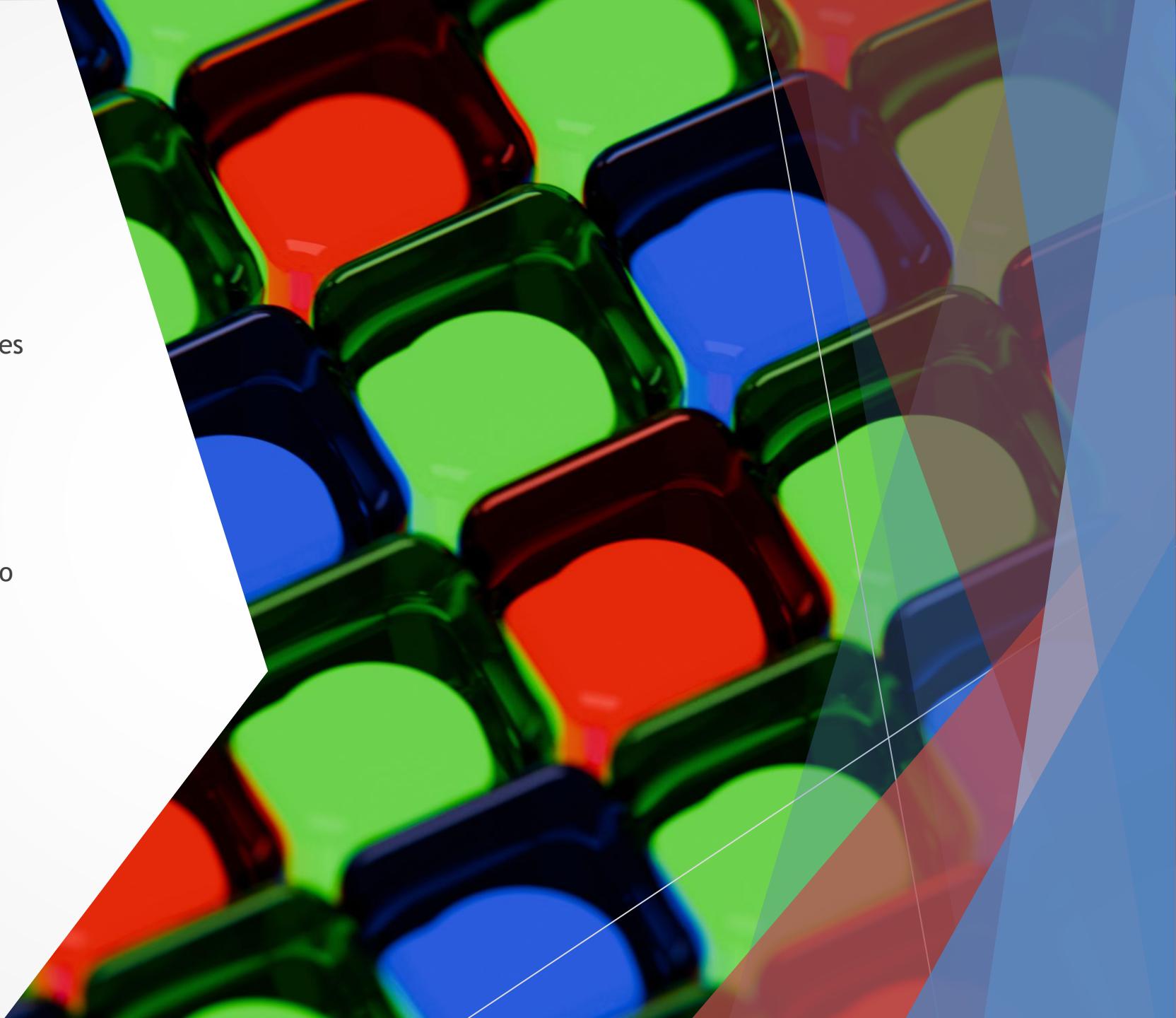


[Fotodiodo de silicio - S series - HAMAMATSU - de infrarrojos / UV \(directindustry.es\)](#)



Espectro electromagnético y firmas espectrales

- ▶ 1.4. Ciencia de los materiales de detectores ópticos e IR
- ▶ Detectores ópticos son los elementos constitutivos de cámaras digitales.
- ▶ Matriz de una cámara digital - Sensores fotodiodo de luz fabricados en silicio para conformación de matrix de píxeles RGB (rojo (Red) verde(Green) azul (BLUE). Matriz de píxeles (Photosite matrix array).



Espectro electromagnético y firmas espetrales

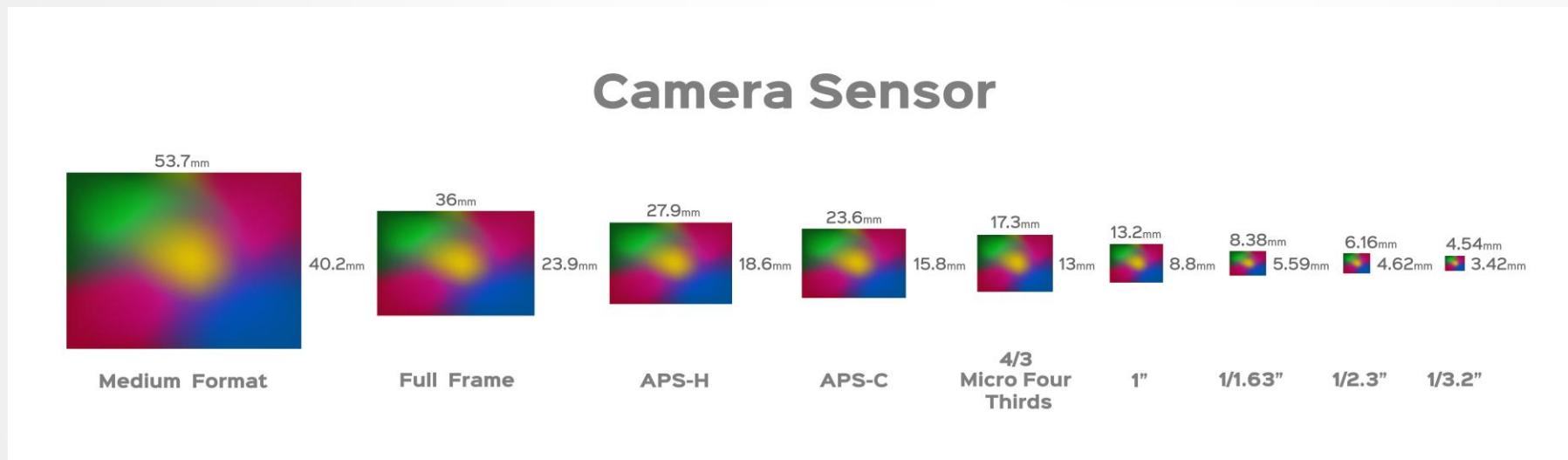
Ciencia de los materiales de detectores ópticos e IR

Tipos de cámaras digitales

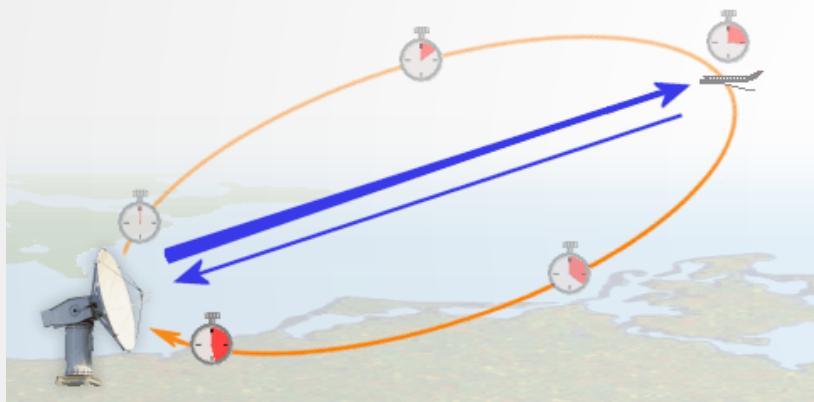
- Sensores CCD (Coupling Charge Device).
- Sensor CMOS (Complementary Metallic Oxide Semiconductor)
- El sensor DGO (salida de ganancia doble)
- El sensor SPAD (de fotodiodos de avalancha para entornos oscuros)

[Explicación de los sensores de cámara - Canon Spain](#)

1. Espectro electromagnético - *bandas ópticas*

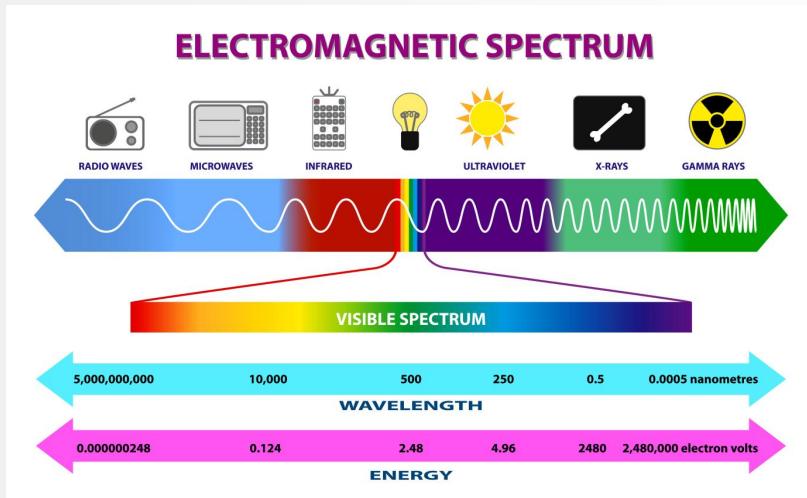


Espectro electromagnético y firmas espectrales

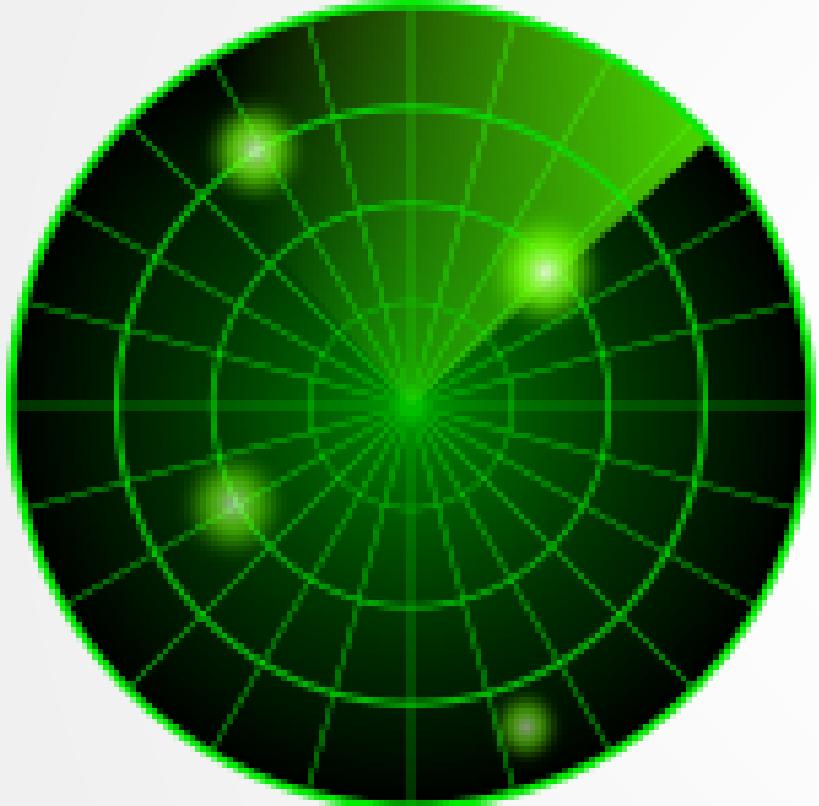


- ▶ Configuración de sensores radar (RADAR)
- ▶ Proviene del inglés "*Radio Detection and Ranging*", que significa "*Detección y medición de distancias por radio*". A través de la emisión de ondas de radio y la recepción de las señales reflejadas, los radares pueden determinar la distancia, velocidad, dirección y altitud de los objetos.

Espectro electromagnético y firmas espectrales



- ▶ Configuración de sensores radar (RADAR)
- ▶ Son ondas de radio o microondas, que son parte del espectro electromagnético con frecuencias que van desde 3 kHz hasta 300 GHz, se propagan al igual que en el dominio óptico a la velocidad de la luz (3×10^8 m/s).
- ▶ Las bandas de frecuencia más comunes en radares son las bandas L, S, C, X, K y Ka.



Espectro electromagnético y firmas espectrales

1.5. Configuración de sensores radar (RADAR):

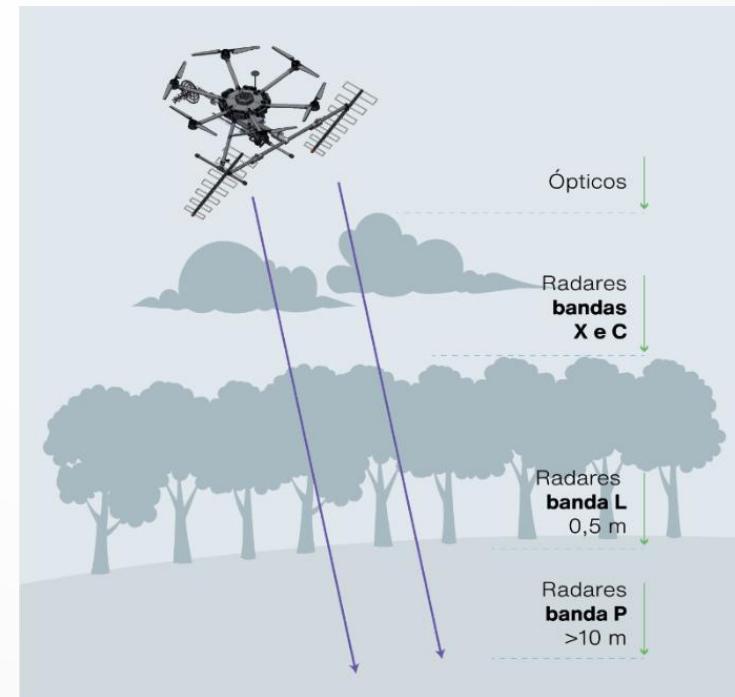
- ▶ Bandas de RADAR:
 - Banda L (1-2 GHz): Detección de largo alcance y penetración en obstáculos.
 - Banda S (2-4 GHz): Radares meteorológicos y de tráfico aéreo.
 - Banda C (4-8 GHz): Radares meteorológicos y de comunicaciones.
 - Banda X (8-12 GHz): Alta resolución, utilizada en radares de control de tráfico aéreo y radares de imágenes.
 - Banda K (18-27 GHz): Radares de corto alcance, como en los automóviles

Espectro electromagnético y firmas espetrales

Configuración de sensores radar (RADAR):

banda	frecuencia	Longitud de onda	Resolución
P	400 MHz	75 cm	2 cm
L	1,2 GHz	25 cm	6 cm
C	5,5 GHz	5,5 cm	18 cm

Aplicación en Agro



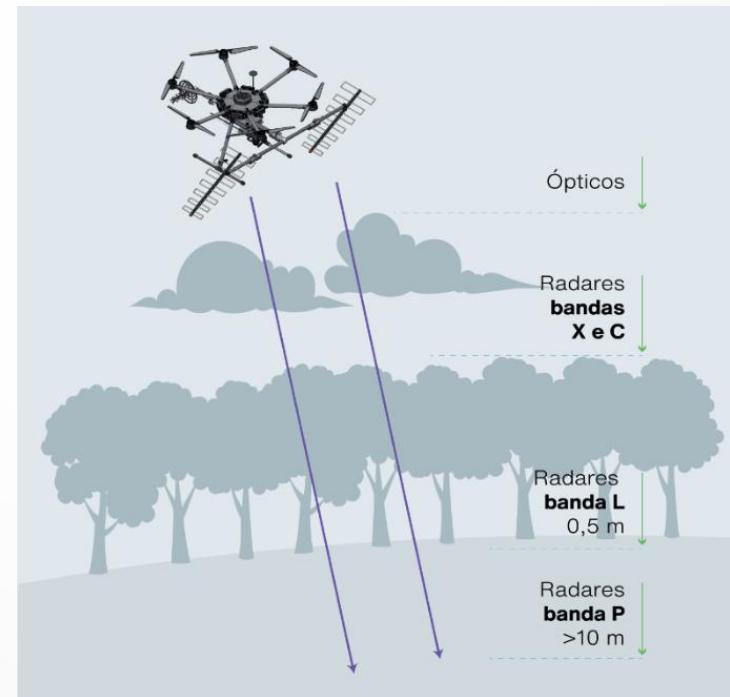
Espectro electromagnético y firmas espetrales

1.5. Configuración de sensores radar (RADAR):

- Banda L (1-2 GHz): En Agricultura alcanza la camada superior de la vegetación y el suelo.
- Banda C (4-8 GHz): Mide el volumen de la vegetación (biomasa) y la camada superior del suelo.
- Banda P (300 - 900 MHz): Penetra el suelo con y sin vegetación.

[Radar embarcado em drone \(RD\)
\(radaz.com.br\)](http://radaz.com.br)

Aplicación en Agro

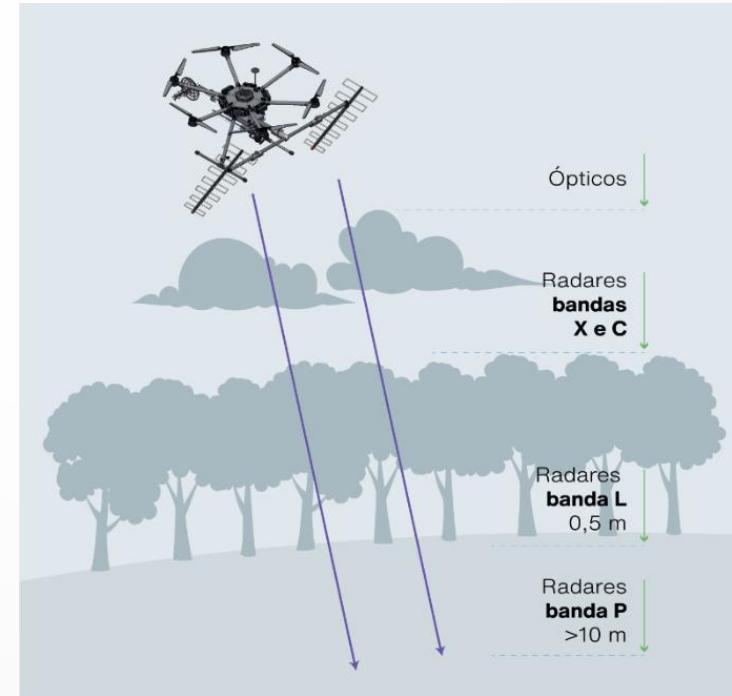


¿Cómo la selección del dominio en el espectro electromagnético (óptico o radar) permite caracterizar las aplicaciones directas de tecnologías de medición?

ÓPTICO



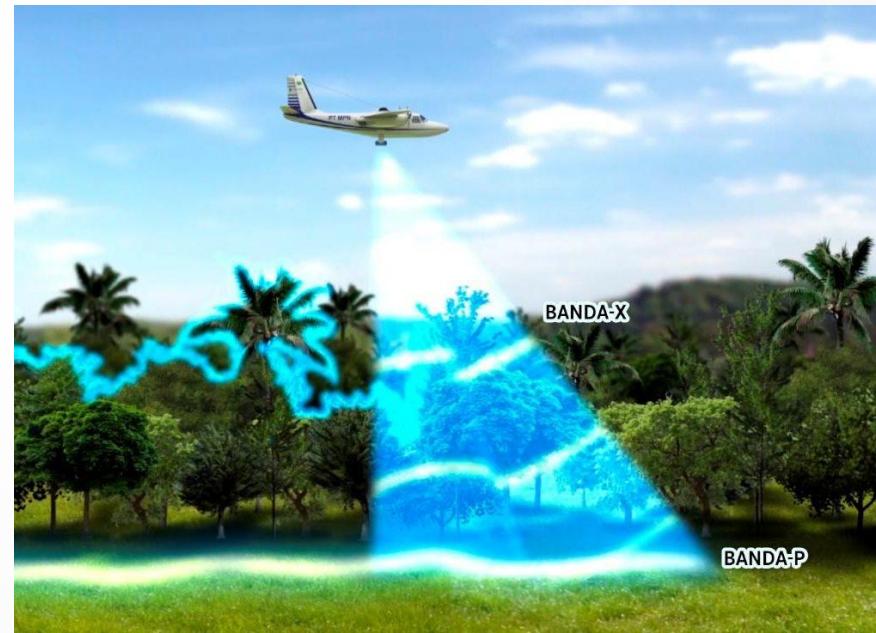
RADAR



Espectro electromagnético y firmas espetrales

Configuración de sensores radar (RADAR)

Radar embarcado em drone (RD)
(radaz.com.br)



Espectro electromagnético y firmas espectrales

Radiometría y fotometría

- ▶ Radiometría: mide la radiación electromagnética en términos de su energía independiente de su longitud de onda. Emplea técnicas y conceptos para cuantificar la cantidad de energía en forma de radiación que emite, transmite o refleja una fuente.
- ▶ Fotometría: se encarga de medir la luz visible en términos de su percepción por el ojo humano. A diferencia de la radiometría, que mide todas las formas de radiación electromagnética, la fotometría se enfoca en las propiedades de la luz dentro del espectro visible (aproximadamente entre 380 y 750 nanómetros), que es la porción del espectro electromagnético que puede ser vista por el ser humano

¿Qué es la radiometría?

La radiometría es la rama de la física que se encarga de medir la energía de la radiación electromagnética, en términos de cantidad absoluta de energía (sin importar su efecto visual, térmico o biológico). Es fundamental en campos como la teledetección, la astronomía, la fotometría, y la calibración de sensores.

En sensores remotos, la radiometría permite medir la cantidad de energía reflejada o emitida por una superficie terrestre, lo cual se traduce en valores digitales (DN) en las imágenes satelitales.

Ejemplo:

Un sensor multiespectral de Sentinel-2 mide cuánta energía refleja una planta en la banda del infrarrojo cercano (NIR). Esto se relaciona con su contenido de agua o vigor fotosintético. Estas tienen unas unidades específicas de las medidas absolutas de energía radiante en cada banda

Espectro electromagnético y firmas espectrales

Unidades radiométricas:

- ✓ Potencia radiante: *energía electromagnética emitida, reflejada o transmitida por una fuente en todas las direcciones por unidad de tiempo (unidad= [W], watt)*

$1 \text{ W} = 1 \text{ joule/segundo} [\text{J/s}]$

- ✓ Irradiancia: *mide la cantidad de energía radiante que incide sobre una superficie por unidad de área.*

1 W/m^2 es la potencia radiante por metro cuadrado.

Espectro electromagnético y firmas espectrales

Unidades radiométricas.

- ✓ Intensidad radiante: *mide la cantidad de energía radiante emitida por una fuente en una dirección específica dentro de un ángulo sólido (estereoradián).*
1 W/sr es la potencia radiada por unidad de ángulo sólido (estereoradian).

1. Espectro electromagnético - *bandas ópticas*

Unidades radiométricas:

- ✓ Radiancia: *mide la potencia radiante emitida o reflejada por una superficie en una dirección dada por unidad de área y por unidad de ángulo sólido.*

1 W/m²·sr es la radiación emitida desde una superficie en una dirección específica.

- ✓ Energía radiante: *cantidad total de energía emitida o recibida en forma de radiación electromagnética.*

1 joule [J] es la unidad de energía que corresponde a 1 vatio por segundo (1 J = 1 W·s).

Principales magnitudes radiométricas

Magnitud	Símbolo	Unidad SI	¿Qué mide?
Potencia radiante	Φ	Watt (W)	Energía por segundo (flujo total)
Irradiancia	E	W/m^2	Energía recibida por unidad de área
Radiancia	L	$\text{W/m}^2 \cdot \text{sr}$	Energía por unidad de área, por ángulo sólido
Energía radiante	Q	Joule (J)	Cantidad total de energía emitida, recibida o transferida

Importancia de las magnitudes radiométricas en teledetección.



Calibrar sensores ópticos (satélites, cámaras, drones)



Comparar imágenes tomadas en diferentes fechas o sensores



Estimar propiedades biofísicas de la vegetación, como:



Contenido de clorofila



Índices de vegetación (NDVI, SAVI)



Biomasa



Temperatura superficial (radiometría térmica)

Resolución radiométrica

- ▶ Es la capacidad de un sensor para discriminar pequeñas diferencias en la intensidad de la radiación electromagnética. Se expresa en bits.
- ▶ DN (Digital Number): Valor numérico que representa la cantidad de radiación registrada por el sensor en una banda específica.
- ▶ Con mayor resolución radiométrica, el sensor puede detectar sutiles diferencias de reflectancia en la vegetación.

Resolución radiométrica

Resolución	Niveles digitales (DN)	Precisión
8 bits	256 niveles (0-255)	Baja
10 bits	1.024 niveles (0-1023)	Media
12 bits	4.096 niveles	Alta
16 bits	65.536 niveles	Muy alta

Resolución radiométrica de sensores en plataformas comerciales de teledetección

Sensor	Resolución radiométrica	Resolución espacial(/pix)
Sentinel-2	12 bits	10 m (bandas clave)
Landsat 8/9 OLI	12 bits	30 m
Drones (Micasense y DJI)	10-12 bits	5-20 cm
MODIS	14 bits	2.3 cm
	12 bits	250-1000 m

Espectro electromagnético y firmas espectrales

Unidades fotométricas

- ✓ Flujo luminoso: mide la cantidad total de luz emitida por una fuente en todas las direcciones. Es la medida de la potencia de luz visible que percibe el ojo humano.

1 lumen = 1 candela * 1 estereorradián.

- ✓ Intensidad luminosa: mide la cantidad de luz que una fuente emite en una dirección particular dentro de un ángulo sólido. Es la cantidad de flujo luminoso por unidad de ángulo sólido.

1 candela = 1 lumen * estereorradián.

- ✓ Iluminancia: mide la cantidad de luz que incide sobre una superficie. Es el flujo luminoso por unidad de área.

1 lux = 1 lumen/m².

1. Espectro electromagnético - *bandas ópticas*

Unidades fotométricas

- ✓ Luminancia - Candela por metro cuadrado (cd/m^2): La luminancia mide el brillo percibido de una superficie que emite o refleja luz. Tiene en cuenta la intensidad luminosa y el área desde la cual se emite la luz.

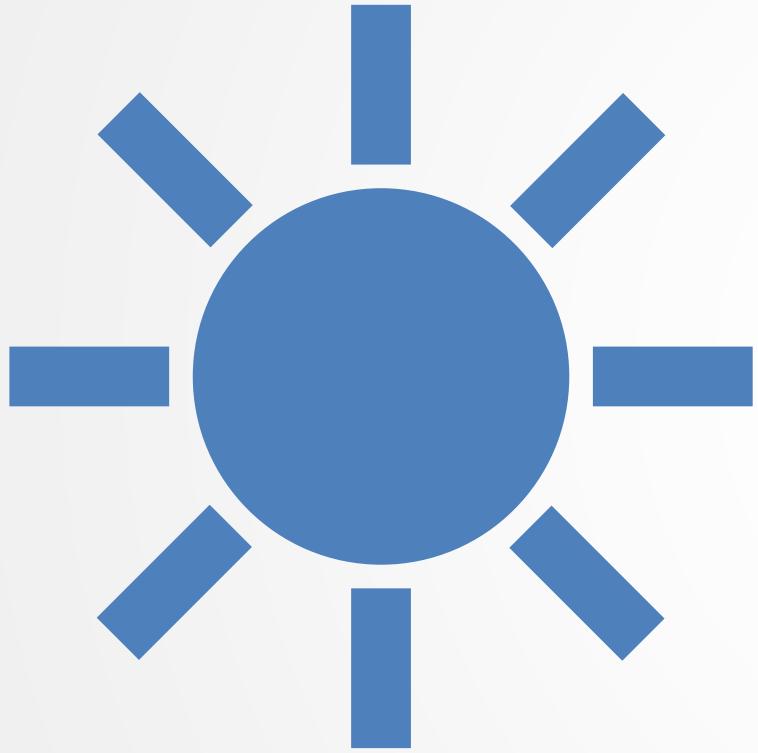
1 candela/ m^2 es la cantidad de candelas emitidas por unidad de área en una dirección dada.

- ✓ **La eficacia luminosa:** mide la eficiencia con la que una fuente de luz convierte energía eléctrica en luz visible.

1 lumen * watt = Flujo luminoso (lm) / Potencia consumida (W).

Resumen de magnitudes fotométricas

Magnitud	Símbolo	Unidad SI	¿Qué mide?
Flujo luminoso	Φ_v	lumen (lm)	Cantidad total de luz visible emitida
Intensidad luminosa	I_v	candela (cd)	Luz emitida en una dirección
Illuminancia	E_v	lux ($lx = lm/m^2$)	Luz que incide sobre una superficie
Luminancia	L_v	cd/m^2	Luz reflejada o emitida por una superficie en una dirección dada



Importancia de la fotometría

- ▶ La fotometría se basa en la **curva de luminosidad fotópica**, que representa la respuesta del ojo humano a diferentes longitudes de onda, con un pico en los **555 nm (verde)**.
- ▶ Evaluación de **iluminación artificial para crecimiento vegetal**
- ▶ Control de **ambientes indoor o bajo invernadero**
- ▶ Comparaciones de intensidad luminosa en sistemas agrovoltáicos o silvopastoriles con sombra



¿Qué es la radiometría de campo y su uso en teledetección?

La **radiometría de campo** en teledetección es una herramienta clave para validar, calibrar y entrenar modelos predictivos con sensores remotos:

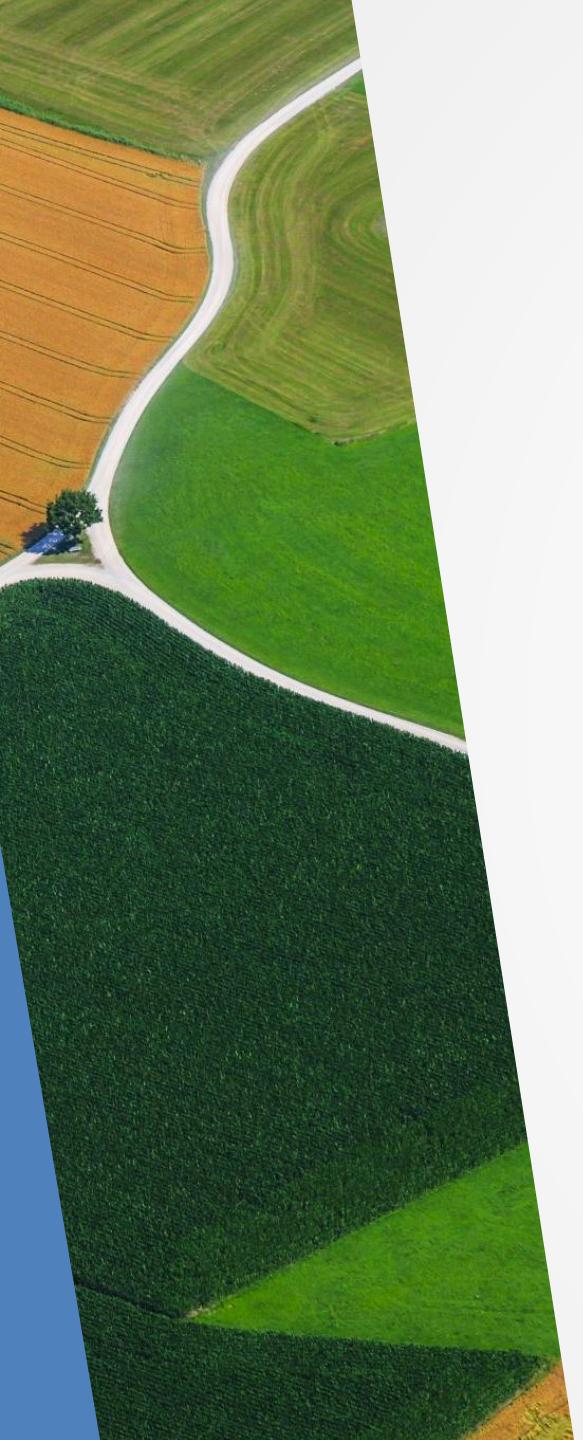
- ▶ Cámaras mutiespectrales en satélites o drones (matriz de pixeles 2D)
- ▶ Sensor multiespectral de diferentes bandas (pixel 1D)
- ▶ Espectrómetros “portátiles” (pixel 1D o matriz de pixel sensible a alrededor 1000 longitudes de onda). *Nota aclaratoria: “espectrómetros portátiles no son sensores remotos, son sensores proximales, y se convierten en remotos cuando son portados por plataformas”.*
- ▶ *¿Se podría a través de sensores multiespectrales estimar el espectro de un objeto? Radiómetro multiespectral.*

¿Qué es la radiometría de campo y su uso en teledetección?

Es la medición **in situ** de la **energía electromagnética reflejada o emitida por una superficie** (como un cultivo o pasto) mediante **instrumentos especializados**, como espectrómetros portátiles o radiómetros multiespectrales.

Estas mediciones:

- Se hacen sobre el terreno (parcelas, paddocks o lotes)
- Se registran en condiciones controladas (ángulo solar, nubes, humedad)
- Se usan como **referencia terrestre**, es decir los valores de dicha energía en la superficie sensada en términos de unidades radiométricas.



¿Para que se utiliza la radiometría en campo?

La radiometría de campo se utiliza para:

1. Validar imágenes satelitales o de drones
2. Calibrar sensores remotos (corrección atmosférica, geométrica, radiométrica)
3. Extraer la firmapectral de cultivos o coberturas específicas
4. Entrenar modelos de ML con variables biofísicas reales (ej. biomasa, humedad, clorofila)

Comparación de dos plataformas radiométricas

Característica	Satélites (ej. Sentinel-2)	Drones (ej. MicaSense, Parrot Sequoia)
Resolución espacial	10-30 m	5-20 cm
Bandas espectrales	Discretas (4-13 bandas)	Discretas (4-6 bandas típicamente)
Ventaja	Cobertura amplia y frecuente	Alta resolución y flexibilidad temporal
Limitación	No tan preciso sin calibración	Requiere paneles de calibración

Característica de un “sensor proximal”, espectrómetro portátil

Característica

Rango espectral

Resolución espectral

Qué mide

Relación con sensores remotos

Detalle

Visible hasta SWIR (ej. 350-2500 nm)

Alta (1-10 nm)

Reflectancia espectral continua por
superficie vegetal

Sirve como “verdad de campo” para
calibrar sensores multiespectrales o
hiperrespectrales

A close-up photograph of a satellite sensor array, showing a grid of small, rectangular gold-colored detectors mounted on a dark grey or black substrate. The array is oriented vertically on the left side of the slide.

¿Qué es la corrección radiométrica?

La **corrección radiométrica** es un proceso fundamental en teledetección que busca eliminar o minimizar **errores o distorsiones** en los datos registrados por sensores remotos (drones, satélites o cámaras portátiles) relacionados con la **cantidad de energía electromagnética medida**.



Importancia de la radiometría y su relación con las medidas de sensores remotos

¿Qué mide un sensor remoto?

Un sensor no mide directamente la **reflectancia** de la vegetación, sino la **radiancia** que llega al sensor ($1\text{ W/m}^2\cdot\text{sr}$), la cual está afectada por:

-  **Condiciones atmosféricas** (nubes, vapor de agua, aerosoles)
-  **Ángulo solar y hora del día**
-  **Sensibilidad del sensor**
-  **Reflejos del suelo u objetos cercanos**
-  **Variación en la iluminación (sol/sombra)**

¿Para qué sirve la corrección radiométrica?



Convertir los datos en **valores comparables y estandarizados**.



Obtener **reflectancia de superficie real**, que puede usarse para:



Calcular índices de vegetación como **NDVI, NDRE**



Comparar diferentes fechas, sensores o zonas



Entrenar modelos de predicción de variables biofísicas

Tipos de corrección radiométrica

Tipo de corrección

-  **Corrección instrumental**
-  **Corrección atmosférica**
-  **Calibración con panel blanco**
-  **Conversión DN → Reflectancia**

Aplicación

Ajusta errores del sensor, como líneas espectrales, ruido o sensibilidad

Elimina efectos de la atmósfera (ej. con modelos como Sen2Cor, 6S)

En campo con cámaras multiespectrales o espectrómetros

Transforma números digitales (DN) a valores de reflectancia ($\text{W}/\text{m}^2/\text{sr}/\mu\text{m}$ (radiancia, irradiancia o radiancia espectral) a reflectancia)

Ejemplo de calibraciones radiométricas.

- ▶ Para plataforma dron:
 1. Colocas un panel de calibración antes y después del vuelo (blanco con reflectancia conocida).
 2. El software usa esa información para corregir las imágenes.
 3. Los valores de las bandas (Rojo, NIR, etc.) ahora representan reflectancia de la vegetación, no solo "valores crudos" afectados por luz o sombras.

- ▶ Para plataforma satelital:
 1. Las imágenes de nivel L1C de Sentinel contienen radiancia sin corregir (afectada por atmósfera).
 2. Las de nivel L2A ya están corregidas atmosféricamente y son ideales para trabajar con índices de vegetación o ML.



Importancia de la radiometría en campo en el contexto de la teledetección

- ▶ La radiometría de campo es el puente fundamental entre el mundo físico real y los datos obtenidos desde sensores remotos. Sin ella, las imágenes satelitales o de drones pueden ser **inexactas o poco comparables** entre fechas o sensores.
- ▶ Es fundamental la corrección radiométrica es el proceso que convierte los datos brutos de los sensores remotos en **información útil, precisa y comparable**, eliminando efectos externos como iluminación, sensor o atmósfera.
- ▶ A partir de la corrección radiométrica se pueden obtener correctamente los índices de vegetación.

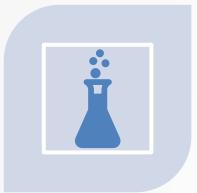
Espectro electromagnético y firmas espectrales

Las ondas electromagnéticas

Espectro electromagnético y firmas espetrales



2.1. REFLEXIÓN,
TRANSMISIÓN Y
ABSORCIÓN



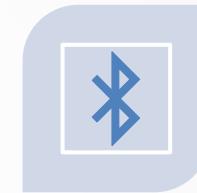
2.2. POLARIZACIÓN



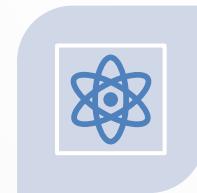
2.3. LONGITUD DE
PENETRACIÓN DE
ONDAS
ELECTROMAGNÉTICAS



2.4. MATERIALES
LAMBERTIANOS



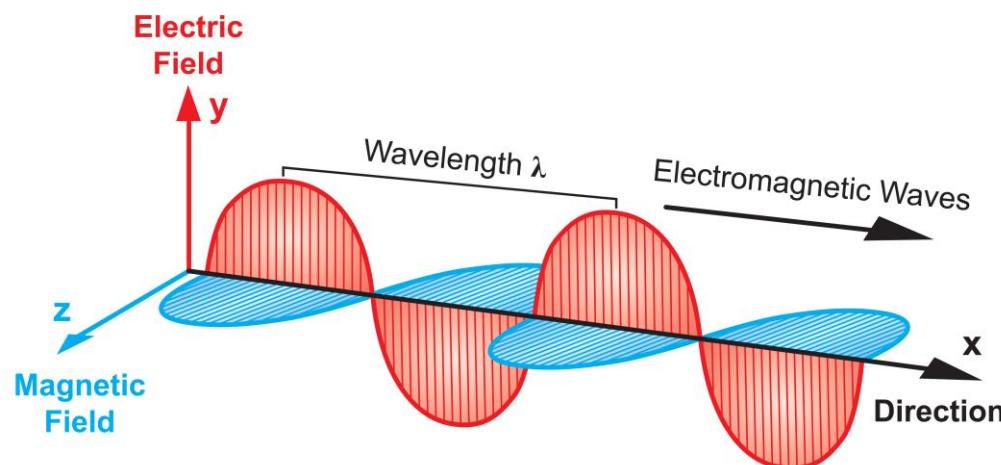
2.5. REJILLAS DE
BRAGG

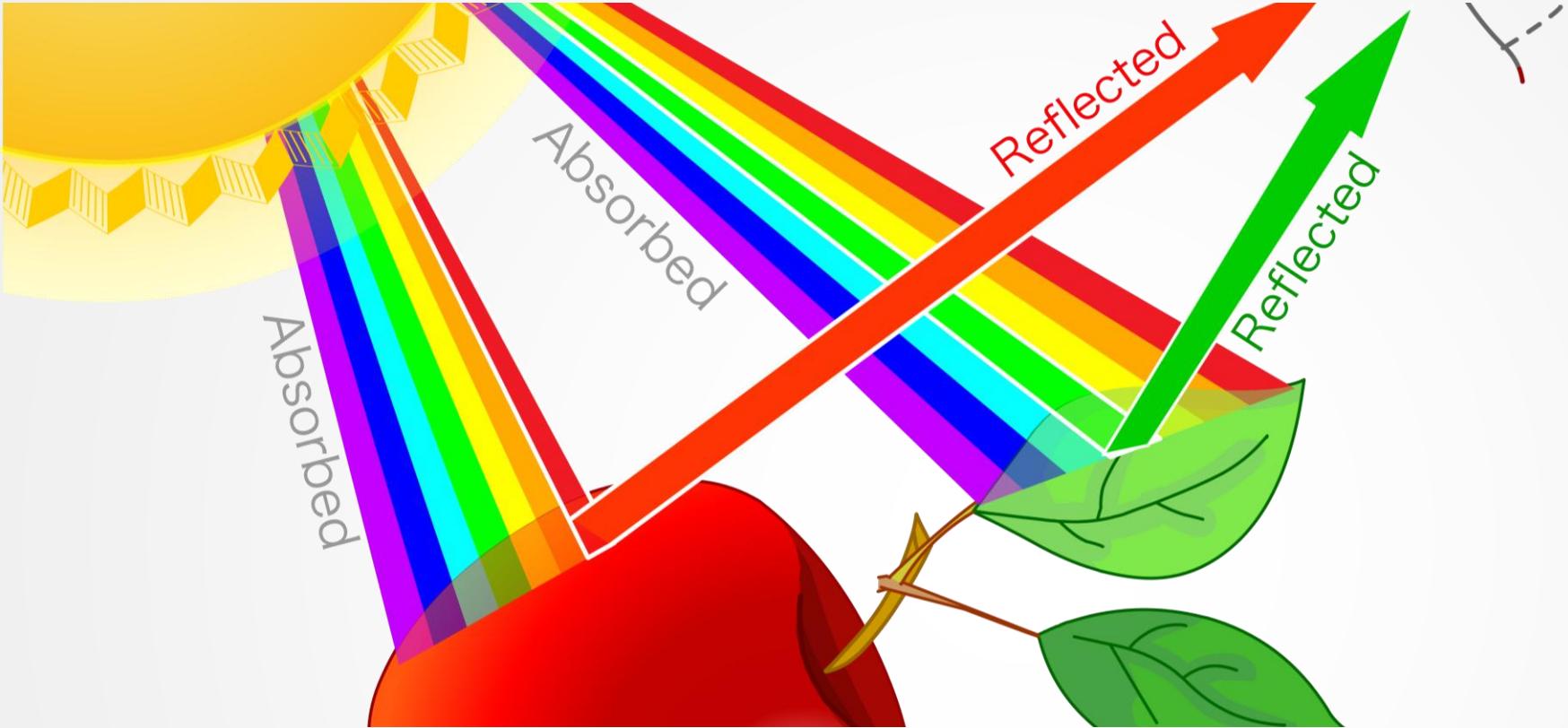


2.6. FIBRAS ÓPTICAS

Espectro electromagnético y firmas espetrales

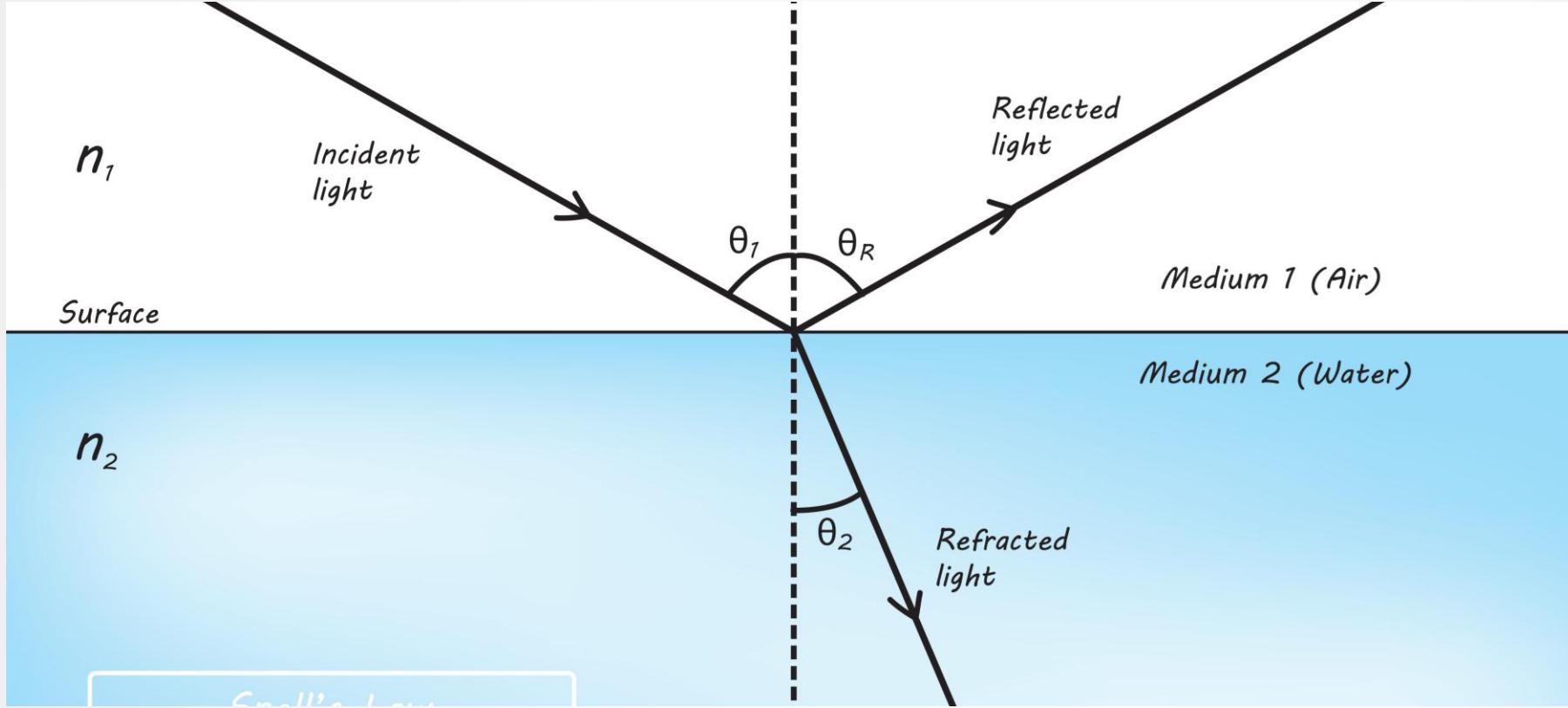
Electromagnetic Waves





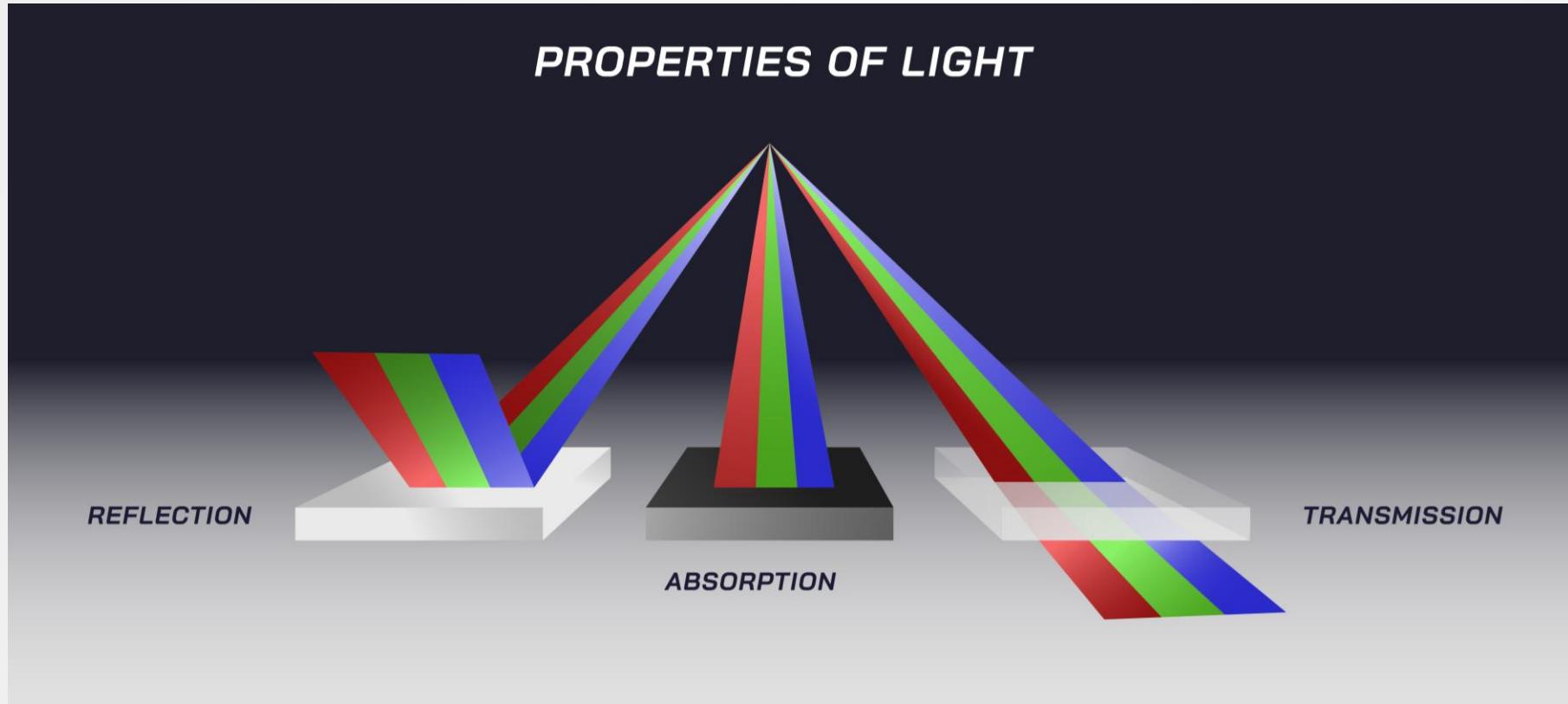
Espectro electromagnético y firmas espectrales

Reflexión, Transmisión y Absorción



Espectro electromagnético y firmas espectrales

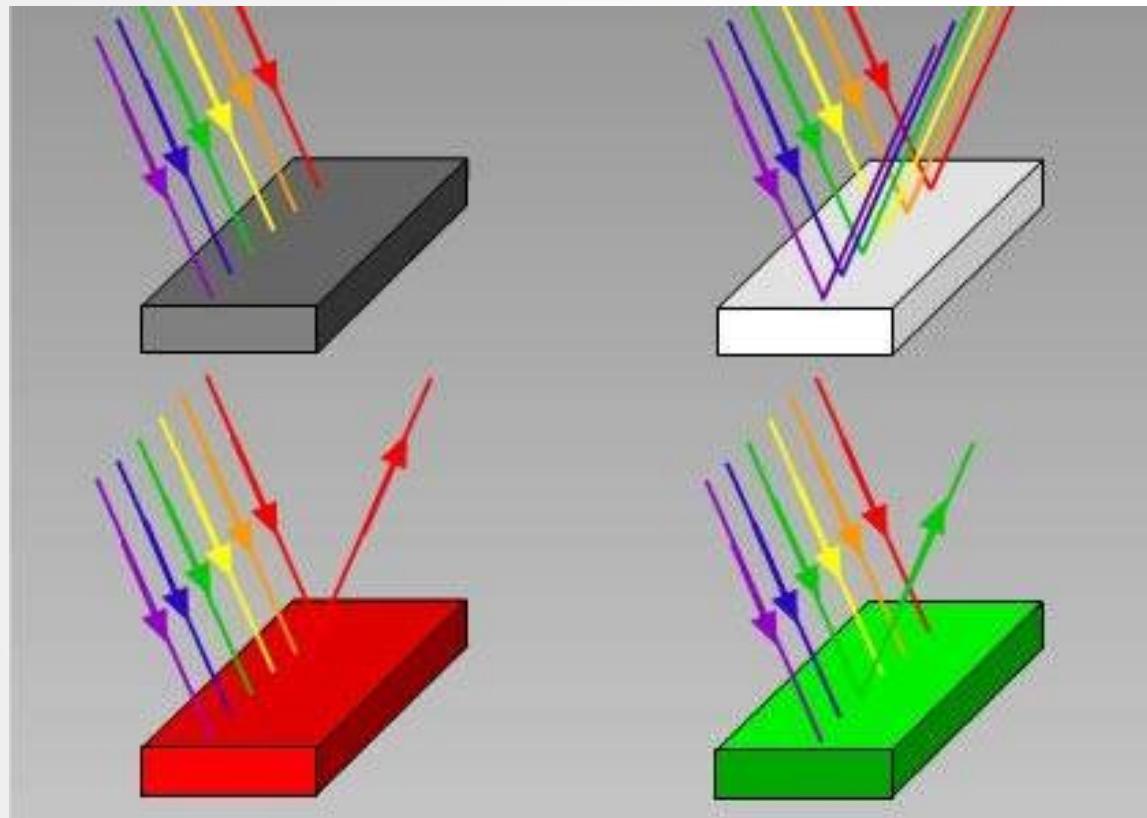
Reflexión, Transmisión y Absorción



Espectro electromagnético y firmas espectrales

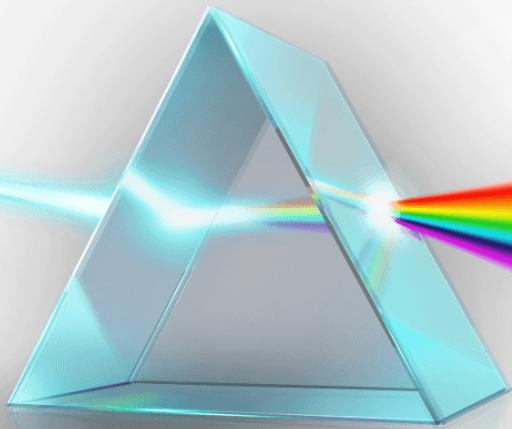
Reflexión, Transmisión y Absorción

Espectro electromagnético y firmas espectrales



Reflexión, Transmisión y Absorción

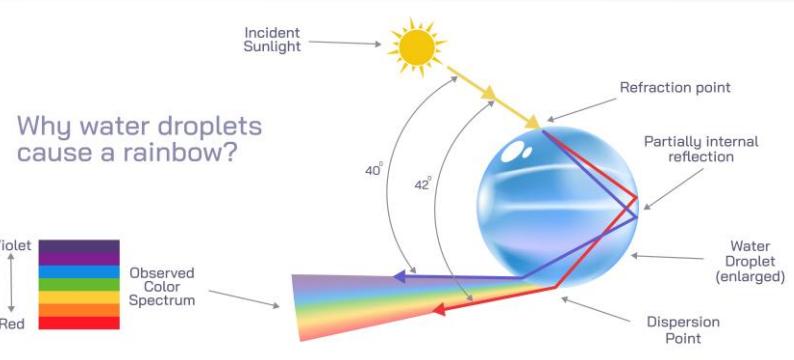
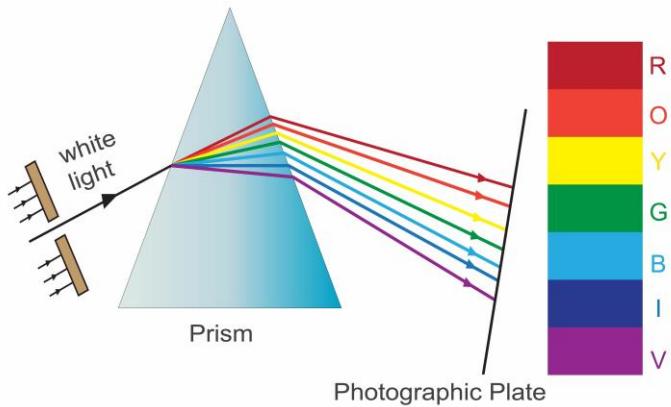
- ▶ **Objeto Negro:** Absorción
- ▶ **Objeto Blanco:** Reflexión
- ▶ **Objeto Rojo:** Refleja Rojo y absorbe el resto de longitudes de onda
- ▶ **Objeto Verde:** Refleja Verde y absorbe el resto de longitudes de onda.



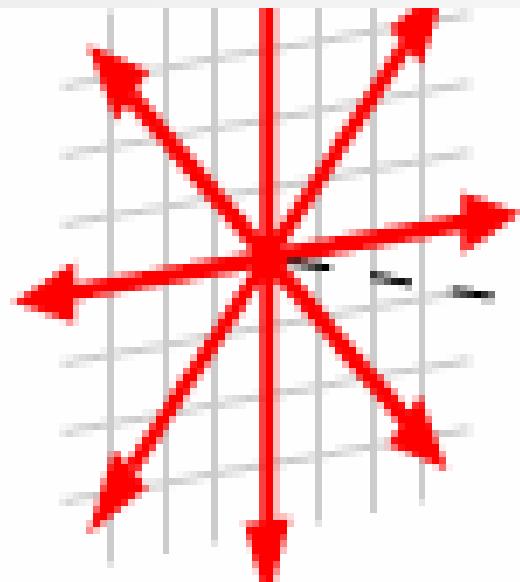
Espectro electromagnético y firmas espectrales

Reflexión, Transmisión y Absorción

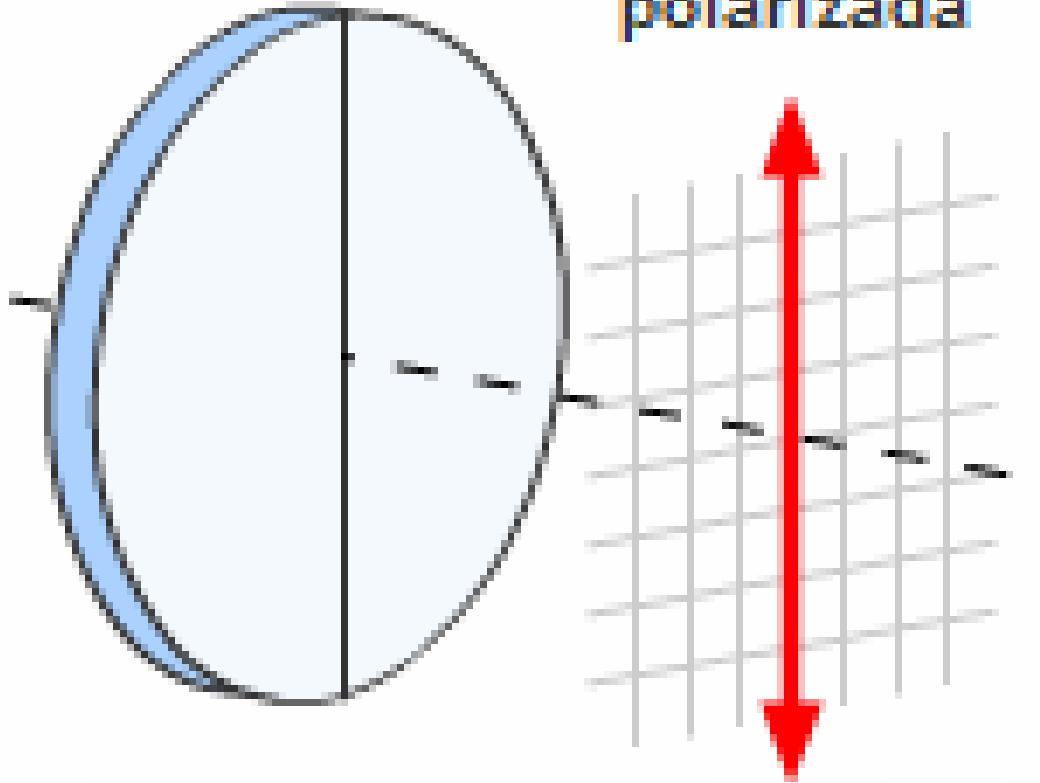
Continuous Spectrum



Espectro electromagnético y firmas espectrales



Luz no
polarizada



Espectro electromagnético y firmas espectrales

Polarización

Espectro electromagnético y firmas espetrales

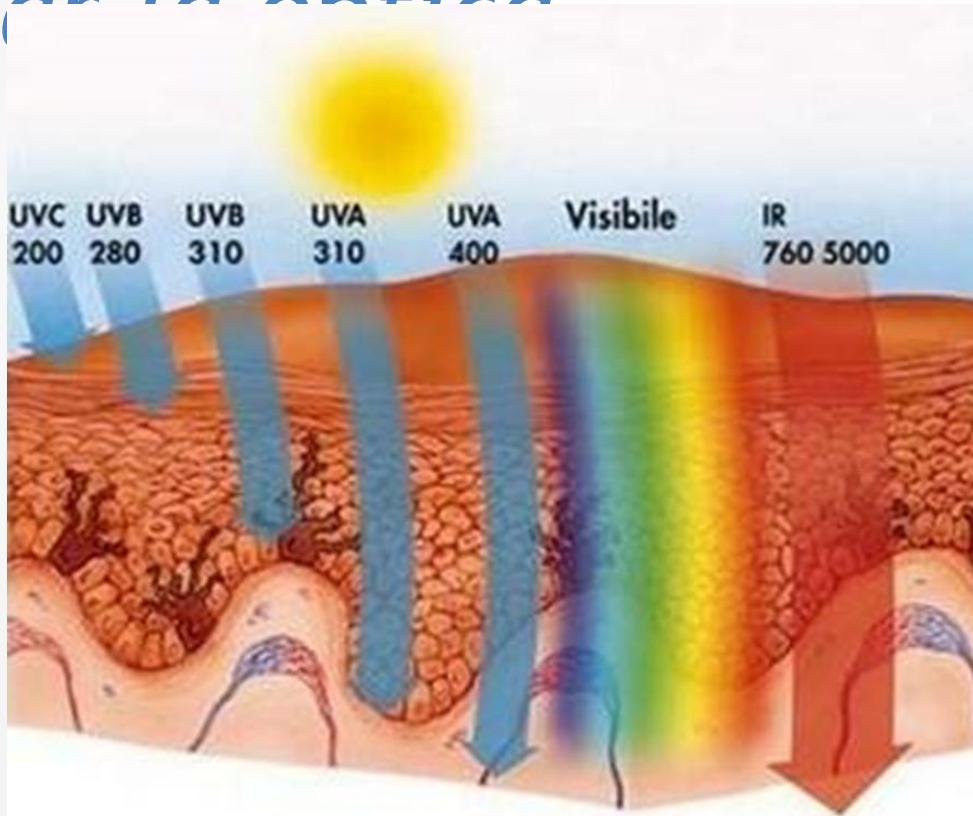
Longitud de penetración de ondas electromagnética:

La longitud de penetración de una onda electromagnética, también conocida como profundidad de penetración o profundidad de skin (skin depth en inglés), es la distancia a la que la amplitud de una onda electromagnética decrece significativamente cuando se propaga a través de un material conductor o absorbente. Esta profundidad depende de las propiedades del material y la frecuencia de la onda.

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}}$$

- ▶ δ = Profundidad de penetración o longitud de penetración (en metros).
- ▶ f = Frecuencia de la onda electromagnética (en Hz).
- ▶ μ = Permeabilidad magnética del material (en H/m o henrios por metro).
- ▶ σ = Conductividad eléctrica del material (en S/m o siemens por metro).

2. Conceptos de propagación de ondas electromagnéticas. Caso particular: la lámpara

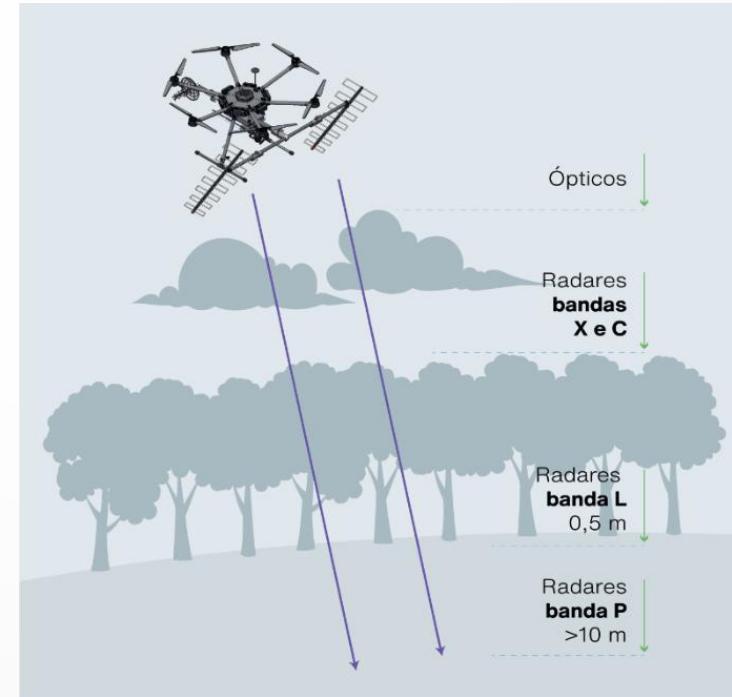


Espectro electromagnético y firmas espectrales

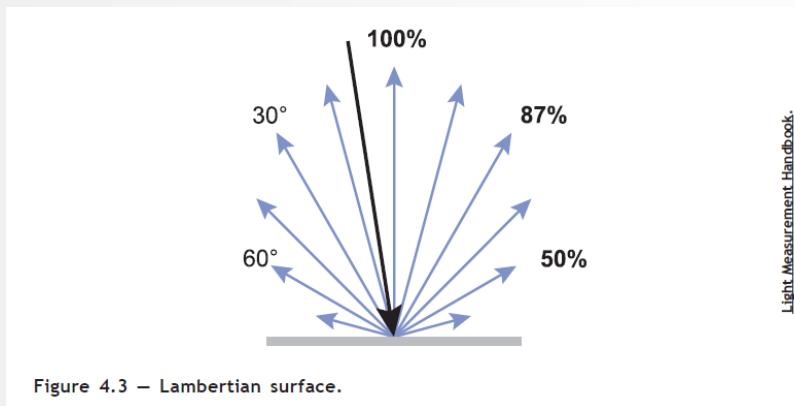
ÓPTICO



RADAR



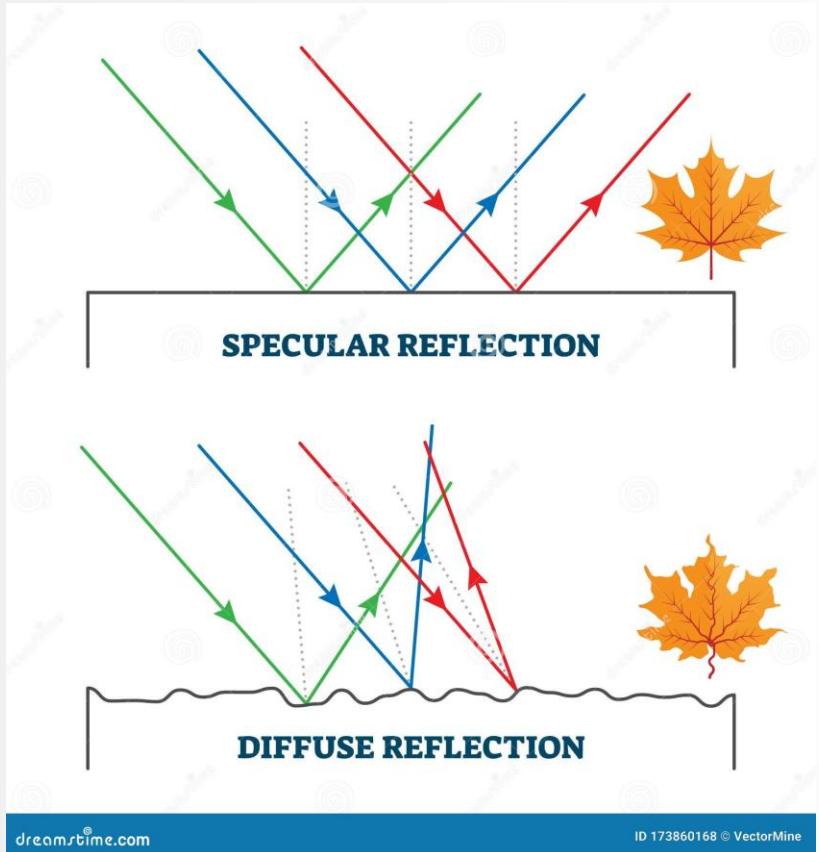
Espectro electromagnético y firmas espectrales



► Materiales Lambertianos

- Un material lambertiano es un tipo de superficie ideal que refleja la luz de manera difusa siguiendo la Ley de Lambert. Esta ley establece que la intensidad luminosa reflejada desde una superficie difusa es independiente del ángulo de observación, lo que significa que la superficie parece tener el mismo brillo cuando se ve desde cualquier ángulo.
- Un material lambertiano, como el yeso blanco o el papel mate, tiene un brillo uniforme desde cualquier punto de vista. Esto se debe a que la luz es dispersada de manera homogénea, haciendo que no se produzcan brillos ni reflejos especulares.
- Los materiales lambertianos se emplean en estudios de iluminación para **calibrar fuentes de luz** y medir la reflectividad de superficies. Un reflector lambertiano es útil para **dispersar la luz de manera uniforme** en un ambiente controlado.

Espectro electromagnético y firmas espectrales



- ▶ 2.4. Materiales Lambertianos
 - ▶ Superficie especular: (no Lambertiana):
Es un tipo de superficie que refleja la luz de manera **coherente** y **direccional**, creando un reflejo claro y nítido, similar a un espejo. las superficies especulares reflejan la luz en un solo ángulo, lo que resulta en una imagen reflejada más definida.
 - ▶ Superficies difusas:
dispersan la luz en múltiples direcciones aleatorias.



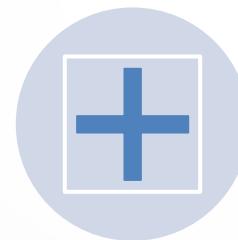
Espectro electromagnético y firmas espectrales

Firmas espectrales - propiedades
espectrales de la vegetación

Espectro electromagnético y firmas espetrales



3.1. Biofotónica



3.2. Firma espectral

3. Propiedades espectrales de la vegetación

La biofotónica investiga la interacción de la luz con sistemas biológicos, lo que permite tanto el análisis y diagnóstico como la intervención en organismos vivos.

Tópicos

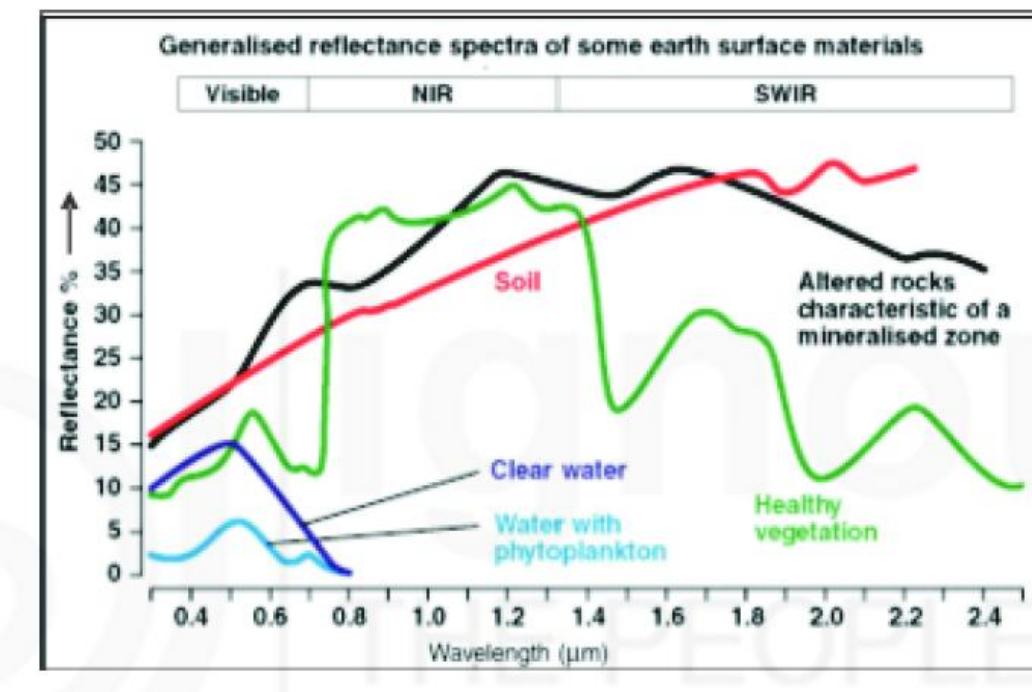
- ✓ Definición de firma espectral
- ✓ Explicar cómo las firmas espectrales difieren para diferentes objetos biológicos o no.
- ✓ Cómo se distinguen los objetos: vegetación, agua, suelo, minerales, rocas según su firma espectral
- ✓ Identificar y explicar las firmas por inspección

Espectro electromagnético y firmas espectrales

3.2. Firma(s)pectral(es)

- ✓ Las firmas espectrales son la combinación de la radiación electromagnética reflejada, absorbida y transmitida o emitida por objetos en distintas longitudes de onda, que pueden identificar de forma única un objeto.
- ✓ Cuando se representa gráficamente la cantidad de radiación electromagnética (normalmente la **intensidad de la radiación reflejada o reflectancia en porcentaje**) procedente del material en un rango de longitudes de onda, los puntos conectados sucesivamente producen una curva que se conoce como firmapectral del material o, en otras palabras, curva de respuestaespectral.
- ✓ Son importantes para la interpretación de imágenes de teledetección.

Espectro electromagnético y firmas espectrales



Firma(s) espectral(es)

- Firmas espectrales de materiales comunes de la Tierra en las bandas NIR (infrarrojo cercano) y SWIR (región infrarroja de onda corta). (tomado de www.rsacl.co.uk/rs.html)

Espectro electromagnético y firmas espectrales

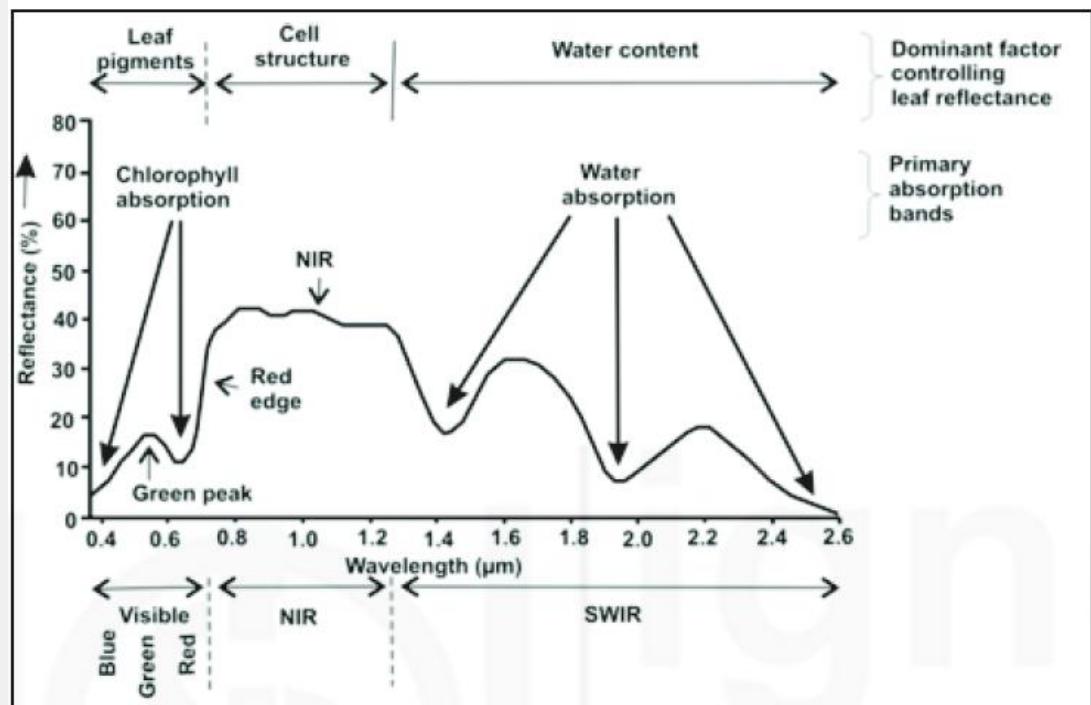


Fig. 3.2: Typical spectral signature of green vegetation (source: Hoffer, R.M., 1978)

Firma(s) espectral(es)

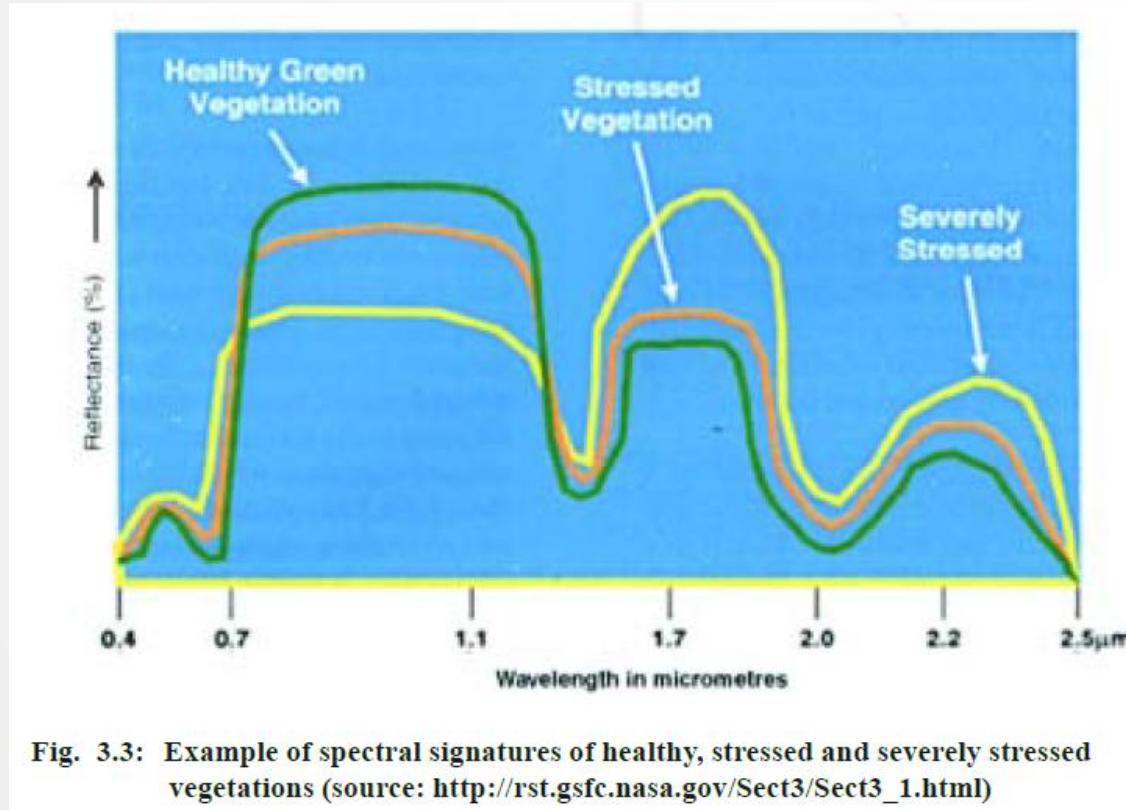
- ▶ Firma espectral típica de la vegetación (Tomado de Hoffer, R.M. 1978)

Espectro electromagnético y firmas espectrales

Firmas Espectrales

- ✓ La vegetación se ve verde (pico de reflexión en el verde 560 nm relacionado con el pigmento de clorofila en las hojas de las plantas).
- ✓ La presencia del pigmento clorofila da como resultado una firmapectral única de la vegetación que nos permite distinguirla fácilmente de otros tipos de características de la cubierta terrestre (no vivas) en una imagen óptica.
- ✓ La reflectancia de la vegetación es baja en las regiones azul y roja del espectro EM, debido a la absorción de longitudes de onda azul y roja responsables de la fotosíntesis.
- ✓ En la región del infrarrojo cercano (NIR), la reflectancia es mucho mayor que en la banda visible debido a la estructura celular de las hojas, que se comportan como reflectores difusos. Por lo tanto, la vegetación puede identificarse fácilmente en la región NIR del espectro.
- ✓ ¿Qué pasa si las hojas se ven amarillas o rojizas?. Reflejan más rojo y menos verde.

Espectro electromagnético y firmas espectrales



► Ejemplo de firmas espectrales de vegetación sana, estresada y severamente estresada (fuente: http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect3/Sect3_1.html)

Espectro electromagnético y firmas espetrales

Arboles deciduos (a) y tipo aguja(b)



Fig. 3.4: (a) Deciduous tree - Maple; (b) Coniferous tree – Pine
(source: <http://theindoorbonsaitree.com>)

Firma espectral - dependencia con la forma de la vegetación.
Arboles tipo deciduos de hoja ancha (a) y coníferos de hoja tipo aguja (b). (Lillesand et.all 2007)

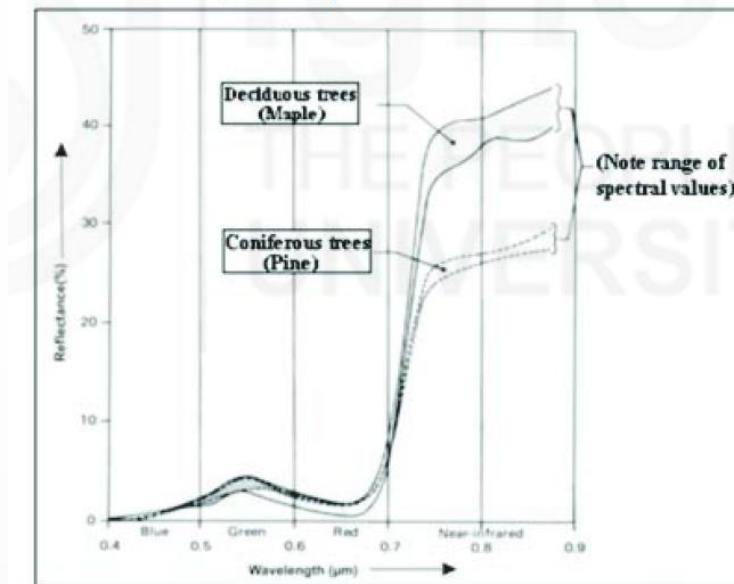


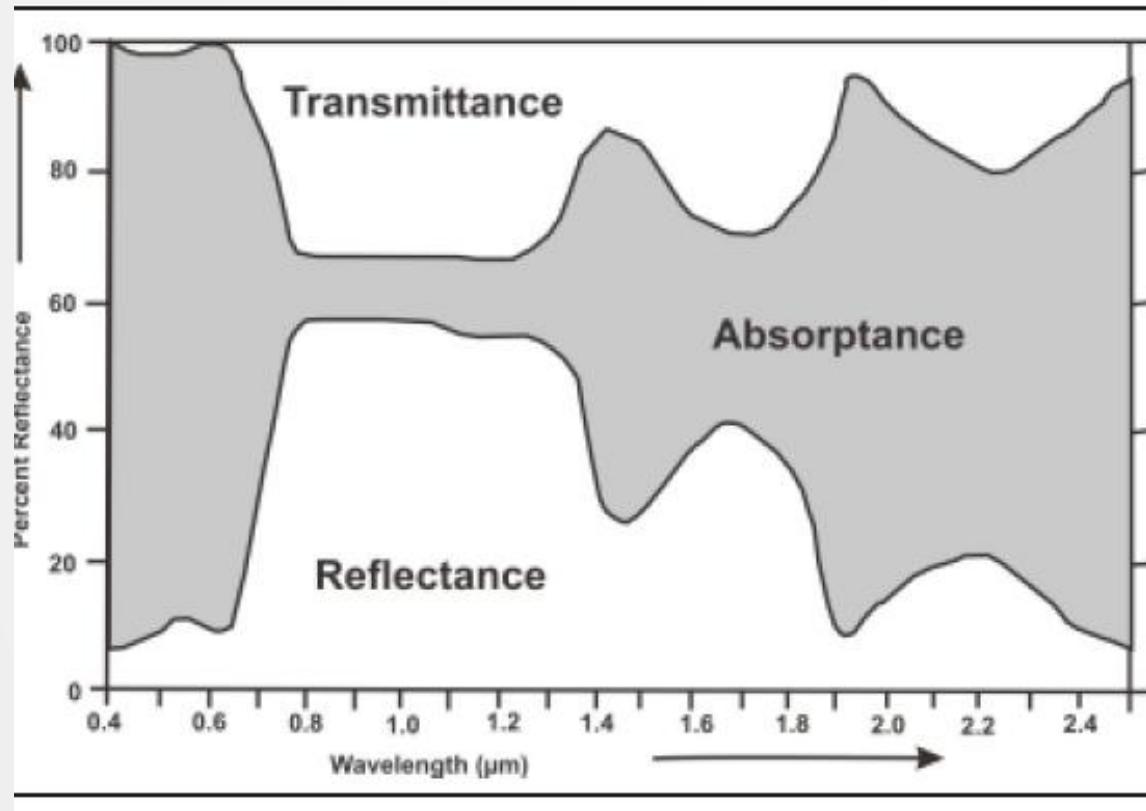
Fig. 3.5: Generalised spectral reflectance envelopes for deciduous (broad-leaved) and coniferous (needle-bearing) trees. Each tree type has a range of values at any wavelength (source: Lillesand et. al, 2007)

Espectro electromagnético y firmas espectrales

Firmas Espectrales

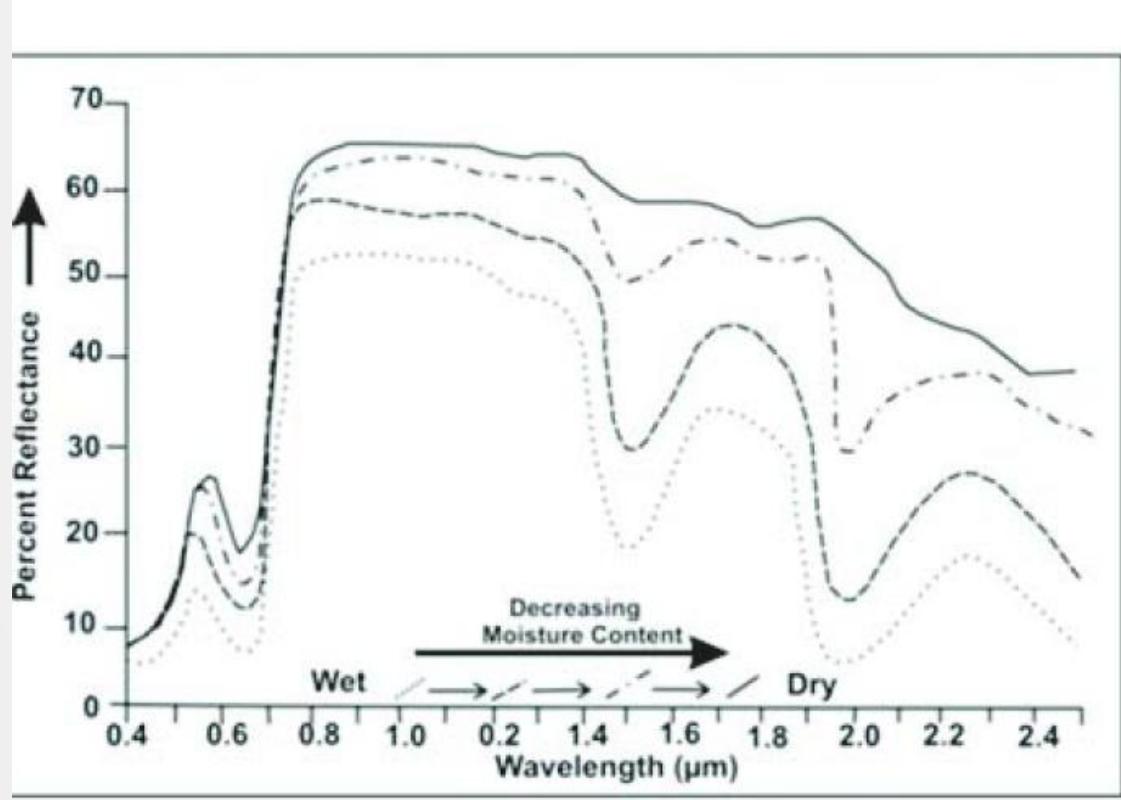
- ✓ **Región visible (400-700 nm):** baja reflectancia, alta absorción y transmitancia mínima. El control fundamental de las interacciones energía-materia con la vegetación en esta parte del espectro es la pigmentación de la planta. Parámetros característicos son las reflectancias en el rojo (R - 630 nm), verde (G - 560 nm), y azul (B - 450 nm).
- ✓ **Región NIR (700-1350 nm):** alta reflectancia y transmitancia, muy baja absorción. El control físico son las estructuras internas de las hojas y su forma física. Parámetros característicos son la reflectancia en el “borde rojo” (RedEdge - 720-780) y la reflectancia en el resto de las longitudes de onda cuyo valor es quasi-constante.
- ✓ **Infrarrojo medio (MIR) (1350-2500 nm):** a medida que aumenta la longitud de onda, tanto la reflectancia como la transmitancia generalmente disminuyen de media a baja, mientras que la absorción aumenta de baja a alta. El control físico primario en estas longitudes de onda del infrarrojo medio (SWIR) para la vegetación es el contenido de agua in vivo.

Espectro electromagnético y firmas espectrales



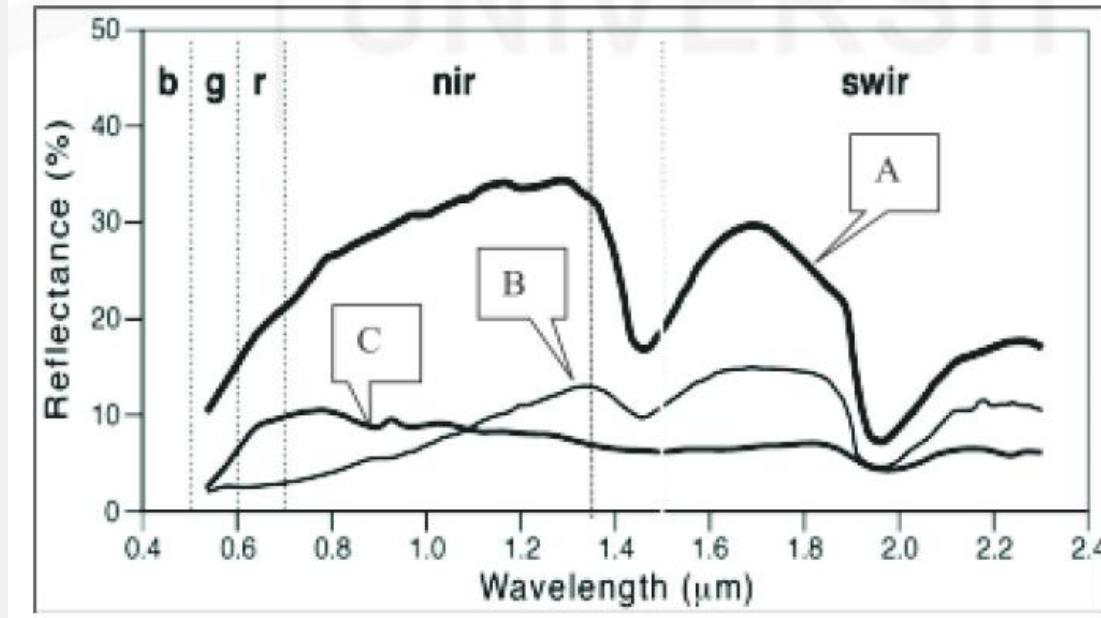
►Partición de la reflectancia espectral de la vegetación en las regiones visible, NIR y MIR del espectro EM (modificado desde www.cps-amu.org/sf/notes/m1r-1-8.htm)

Espectro electromagnético y firmas espectrales



► Variación de las características de reflectanciapectral de la vegetación según el contenido de humedad de las hojas (modificado de www.cps-amu.org/sf/notes/m1r-1-8.htm)

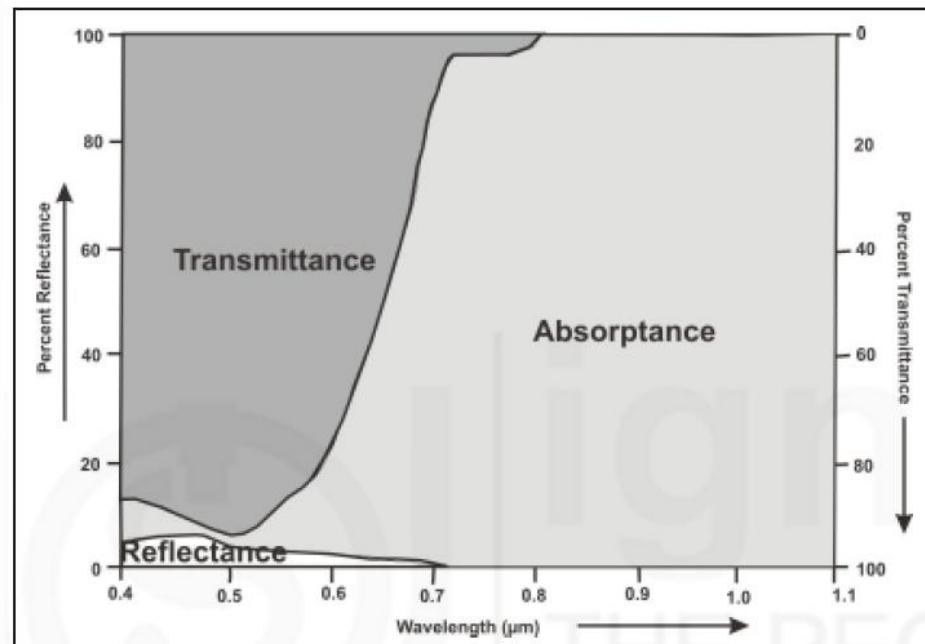
Espectro electromagnético y firmas espectrales



► Reflectancia de superficies de suelo desnudo. A) mínimamente alterada, B) con predominio de materia orgánica y C) con predominio de hierro
(modificado de Stoner y Baumgardner, 1981)

Espectro electromagnético y firmas espectrales

Características de reflectancia espectral de aguas profundas y claras (modificado de www.cps-amu.org/sf/notes/m1r-1-8.htm)



Espectro electromagnético y firmas espectrales

El Origen del índice de vegetación y su relación con la reflectancia, y las firmas espectrales.

- ✓ Una forma de distinguir suelo de vegetación
- ✓ los suelos tienden a tener aproximadamente la misma reflectancia en las dos bandas (VIS: visible y NIR: infrarrojo cercano),
- ✓ En la vegetación la reflectancia de la banda visible es baja para la radiación ultravioleta y la reflectancia del infrarrojo cercano es alta.
- ✓ Un índice de vegetación define una relación entre la energía reflejada visible de la energía reflejada del infrarrojo; o de manera general hoy en día los índices de vegetación son “formulas” que buscan discriminar con alto contraste la vegetación y otros elementos

Plataformas

Satelitales (Sentinel, Landsat, MODIS, etc.) y aéreas
(drones, aviones)



Plataformas

Satelitales



Plataformas satelitales

Es el **soporte físico** que lleva un sensor remoto (óptico, térmico, radar, etc.) en órbita.

El sensor es el que recolecta datos sobre la superficie terrestre, y la plataforma le proporciona:

- Energía (paneles solares)
- Posicionamiento y navegación (GPS, giroscopios)
- Comunicaciones (antenas para enviar datos a estaciones en tierra)

Tipos de plataformas satelitales

Tipo de órbita	Características principales	Ejemplos de satélites
Heliosíncrona (LEO)	Órbita baja (~700-900 km). Pasa sobre el mismo punto a la misma hora solar.	Sentinel-2, Landsat, MODIS
Geoestacionaria (GEO)	Altura de ~36.000 km. Siempre observa el mismo punto de la Tierra.	GOES, Meteosat
Altas órbitas (MEO)	Más usada en navegación (ej. GPS) que en teledetección	GPS, Galileo (no óptimos para imágenes)

Ejemplos de diferentes plataformas satelitales, características y aplicaciones.

Satélite	Plataforma/Agencia	Sensor principal	Resolución espacial	Frecuencia	Aplicaciones principales
Sentinel-2	ESA / Copernicus	MSI (multiespectral Instrument)	10-60 m	5 días	Agricultura, vegetación, agua, suelos. 13 bandas (visible, NIR y SWIR)
Landsat-8/9	NASA / USGS	OLI (Operational Land Imager), TIRS (Thermal InfraRed Sensor)	15-100 m	16 días	Uso del suelo, monitoreo ambiental. 11 bandas (dos son térmicas)
MODIS	NASA	MODIS (36 bandas)	250-1000 m	Diario	Clima, biomasa global, incendios
PlanetScope	Planet Labs (privado)	8 bandas RGB+RedEdge+NIR	3-5 m	Diario	Agricultura, detección de cambios
SPOT 6/7	Airbus	Multiespectral	1.5-6 m	Variable	Urbanismo, mapas de detalle
WorldView-3	Maxar (privado)	Multiespectral + SWIR	0.31-1.24 m	Variable	Alta precisión urbana, minería, agricultura

Sentinel-2

Satélite de observación de la Tierra que forma parte del programa Copernicus de la Agencia Espacial Europea (ESA), diseñado para monitorear la superficie terrestre de forma regular y gratuita.

Es una **misión compuesta por dos satélites gemelos**:

- **Sentinel-2A** (lanzado en 2015)
- **Sentinel-2B** (lanzado en 2017)

Ambos orbitan a una altitud de **786 km** y trabajan en conjunto para **obtener imágenes cada 5 días** de cualquier punto del planeta, lo que lo hace ideal para aplicaciones dinámicas como la agricultura, monitoreo forestal, cuerpos de agua, y más.

Sentinel-2

Rango espectral	Bandas (nm)	Resolución	Aplicaciones
Visible (RGB)	490-665	10 m	Vegetación, uso del suelo
NIR (Infrarrojo cercano)	705-842	10-20 m	NDVI, salud vegetal
SWIR (Infrarrojo de onda corta)	1375-2190	20 m	Humedad, suelos, estrés
Bandas costeras y atmosféricas	443, 945 nm, etc.	60 m	Corrección atmosférica

Sentinel - 2



Agricultura de precisión: monitoreo de cultivos, estrés hídrico, fertilización



Vegetación y uso del suelo: índices como NDVI, NDRE, clasificación de coberturas



Gestión del agua: calidad, turbidez, cuerpos de agua



Monitoreo de incendios forestales



Minería y geología



Cambio climático y desastres naturales

¿Dónde se descargan las imágenes?



Copernicus Open
Access Hub



Sentinel Hub EO
Browser



Plataformas como
Google Earth Engine

Landsat

El Landsat es uno de los programas de observación de la Tierra más antiguos y consistentes del mundo, operado por la NASA y el USGS (Servicio Geológico de EE. UU.). Su objetivo es monitorear los cambios en la superficie terrestre a largo plazo.

Landsat

Satélite	Año de lanzamiento	Estado actual
Landsat 7	1999	activo (limitado por falla de escaneo)
Landsat 8	2013	activo
Landsat 9	2021	activo

Landsat

► Sensor OLI (Operational Land Imager) - Landsat 8 y 9

- 9 bandas multiespectrales (visible, NIR, SWIR, pancromática)
- Resolución:
 - 30 m en bandas ópticas
 - 15 m en banda pancromática (blanco y negro)

► Sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor) - Landsat 8 y 9

- 2 bandas térmicas (10 y 11)
- Resolución: 100 m (re-escalada a 30 m)

Landsat



Monitoreo agrícola: salud de cultivos, índices de vegetación (NDVI, NDWI)



Gestión forestal: deforestación, biomasa



Cambio de uso del suelo: urbanización, minería, agricultura



Monitoreo del agua: cuerpos hídricos, humedad del suelo



Incendios: cicatrices de quemas, temperatura superficial

Landsat

USGS
EarthExplorer

[Google Earth
Engine](#)

Land Viewer
(EOS)

[AppEEARS \(NASA\)](#)

Landsat Vs Sentinel

Característica	Landsat 8/9	Sentinel-2
Resolución espacial	15-30 m	10-60 m
Revisita	16 días	5 días (con 2 satélites)
Bandas espectrales	11 (OLI+TIRS)	13 (MSI)
Aplicaciones clave	Cambios a largo plazo	Agricultura, vegetación
Cobertura	Global	Global

MODIS

- ▶ El MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) es un **sensor** instalado en dos satélites de la NASA.

Satélites Terra - lanzado en 1999 **Aqua** - lanzado en 2002

- ▶ Ambos satélites tienen órbitas polares sincronizadas con el Sol y están diseñados para ofrecer una **visión global diaria** del planeta.

MODIS

Característica	Detalle
Resolución espacial	250 m, 500 m y 1000 m
Número de bandas	36 bandas espectrales (visible, NIR → TIR)
Cobertura temporal	Global cada 1-2 días
Ancho de escaneo	2,330 km
Datos desde	Año 2000 (Terra)

MODIS



NDVI y EVI (índices de vegetación)



Temperatura de la superficie terrestre (LST)



Cobertura del suelo



Nubes y aerosoles atmosféricos



Incendios (detección de puntos calientes)



Contenido de clorofila en océanos



Nieve y hielo



MODIS

- Cambio climático
- Monitoreo agrícola y forestal a gran escala
- Gestión de recursos hídricos
- Seguimiento de sequías

MODIS

NASA LP DAAC (MODIS Products)

[AppEEARS](#)

[Google Earth Engine](#)

MODIS Subsets (ORNL DAAC)

Plataformas

Drones y aviones



Drones

- ▶ Los drones o vehículos aéreos no tripulados (UAVs) son plataformas aéreas que se utilizan ampliamente en teledetección, agricultura, medio ambiente, y muchos otros campos debido a su **flexibilidad y bajo costo operativo**.
- ▶ Un dron en teledetección es una **plataforma aérea** equipada con uno o más **sensores** (cámaras multiespectrales, térmicas, RGB (Visible), LIDAR, etc.) que captura datos desde el aire para analizar la superficie terrestre con gran detalle.

Drones

Tipo de sensor



RGB



Multiespectral



Térmica (IR)



LiDAR



Hiperespectral

Qué mide

Imagen visible (como una cámara convencional)

4-6 bandas: rojo, verde, azul, NIR, RedEdge

Temperatura superficial

Nubes de puntos 3D (distancias con láser)

Decenas a cientos de bandas

Aplicaciones típicas

Cartografía, conteo de plantas, inspecciones

NDVI, salud de cultivos, vigor vegetal

Estrés hídrico, detección de animales, incendios

Altimetría, estructuras del suelo y vegetación

Estudios detallados de composición química

Comparación de plataformas: drones vs satélites

Característica	Drones	Satélites como Sentinel-2 o MODIS
Resolución espacial	Muy alta (cm por píxel)	Media a baja (10-1000 m)
Frecuencia de datos	Personalizable (día/hora)	Revisitación periódica (5-16 días)
Área de cobertura	Limitada (ha o km ²)	Amplia (miles de km ²)
Costo por uso	Medio a alto	Bajo (datos gratuitos)
Control del usuario	Total	Limitado (depende de órbita y clima)

¿Cómo se usa un dron en teledetección?

Planificación del vuelo (app tipo Pix4Dcapture o DJI GS Pro).

Captura de datos con cámara multiespectral (Micasense, Parrot Sequoia).

Corrección radiométrica con panel de calibración.

Procesamiento fotogramétrico (Pix4D, Agisoft Metashape, QGIS).

Cálculo de índices vegetativos (NDVI, NDRE, etc.).

Análisis e interpretación con mapas o series temporales.

Aviones

- ▶ Los aviones son una de las plataformas aéreas tripuladas más utilizadas en **teledetección de alta resolución**, especialmente cuando se necesita cubrir grandes extensiones de terreno con **más flexibilidad que los satélites y más cobertura que los drones**.
- ▶ Son aeronaves tripuladas que vuelan a altitudes medias (usualmente entre 1.000 y 10.000 metros) y llevan a bordo **sensores especializados** que capturan datos de la superficie terrestre. Se usan ampliamente en cartografía, estudios ambientales, monitoreo agrícola, estudios geológicos, forestales y urbanos.

Aviones

Ventaja

Alta resolución espacial

Mayor cobertura por vuelo

Flexibilidad temporal

Carga útil elevada

Uso de sensores especializados

Descripción

Similar o superior a la de drones

Ideal para zonas grandes (decenas o cientos de km²)

Puede volar cuando y donde se necesite (clima permitido)

Puede llevar sensores grandes, pesados o múltiples a la vez

Cámaras hiperespectrales, LiDAR, térmicas, radar, etc.

Aviones

Plataforma

Aviones tripulados ligeros

Aviones de investigación

Aviones comerciales adaptados

Aplicación típica

Agricultura, silvicultura, planificación territorial

Misiones científicas (NASA, ESA, INTA)

Fotogrametría, cartografía urbana

Aplicaciones en investigación

- Estimación de **biomasa** y **productividad**
- Seguimiento de **crecimiento de cultivos** o **silvopasturas**.
- Generación de **modelos digitales de elevación** (MDE) y **canopias**.
- Mapeo detallado de **usos del suelo**, **deforestación**, **erosión**.
- **Calibración/validación** de sensores satelitales (como Sentinel o Landsat).

Comparación entre distintas plataformas: Satélite, Avión y dron

Característica	Satélite	Avión	Drone
Resolución espacial	Media	Alta	Muy alta
Cobertura	Global	Regional (100s km ²)	Local (1-100 ha)
Flexibilidad	Baja	Media-Alta	Muy alta
Costo operativo	Bajo (datos libres)	Alto	Medio
Altura de vuelo	>700 km	1-10 km	30-150 m



AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria



TELEDETECCIÓN

Maestría y Doctorado en Ingeniería
UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA

CLAUDIA MILENA SERPA IMBETT, PhD

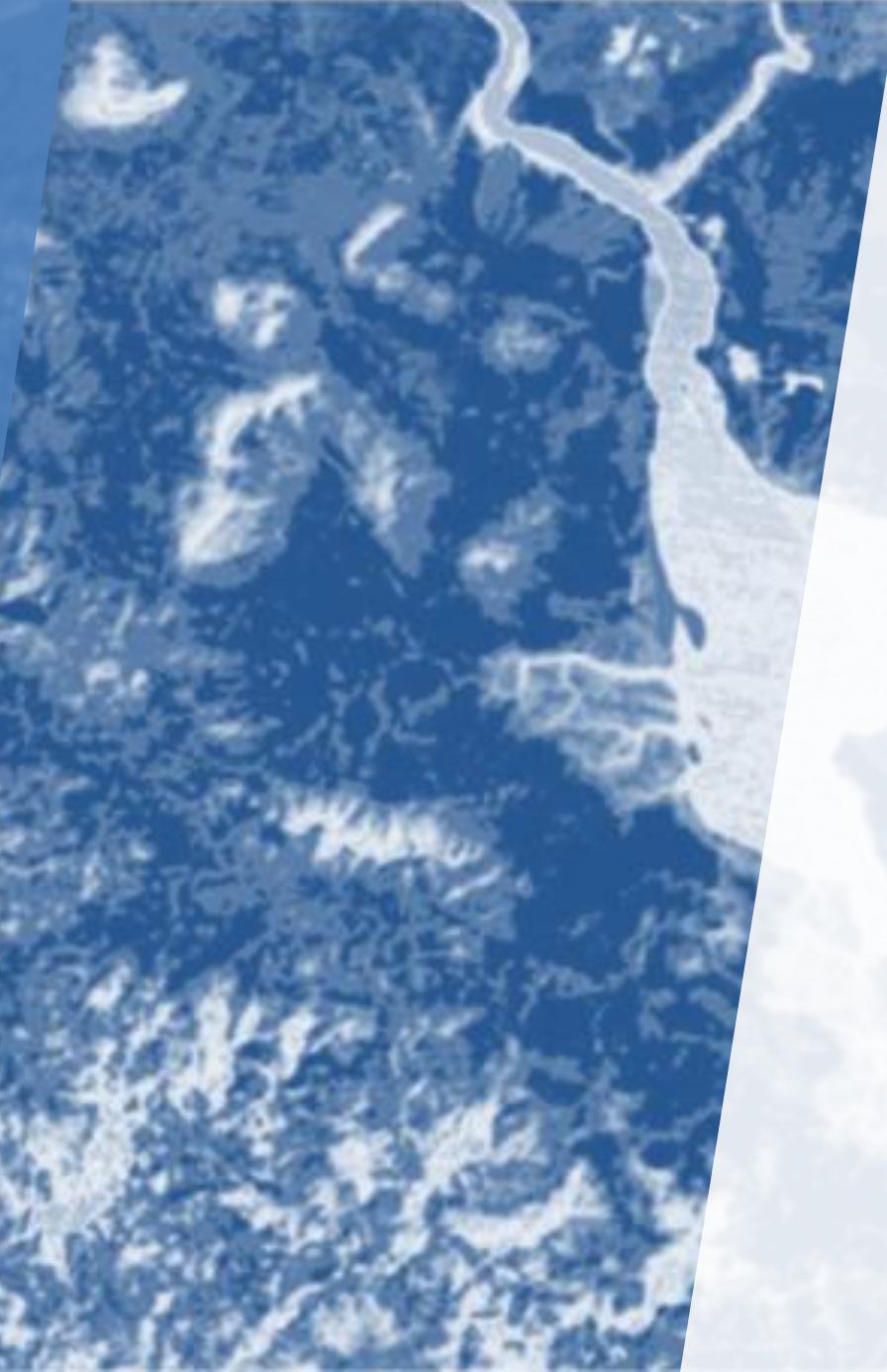
Posdoctorado - AGROSAVIA C.I Turipaná -
CERETÉ.

Docente de Universidad del Sinú -
MONTERÍA.

CONTENIDO

1. Fundamentos de teledetección
2. Imágenes pasivas
3. Imágenes activas





MODULO 2

IMÁGENES PASIVAS

CONTENIDO

1. Fundamentos de teledetección
2. Imágenes pasivas
3. Imágenes activas





¿Qué es un sensor óptico pasivo?



Un **sensor óptico pasivo** capta la **radiación solar reflejada** por la vegetación, el suelo, el agua, etc., o la **radiación térmica emitida naturalmente** por los objetos. Se usan ampliamente en satélites, drones y aviones para obtener imágenes multiespectrales, hiperespectrales o térmicas.

Tipos de sensores pasivos

Tipo de sensor	Qué detecta	Ejemplos de sensores / plataformas
Multiespectral	Varias bandas del espectro visible e infrarrojo cercano (VIS, NIR, SWIR)	MSI (Sentinel-2), OLI (Landsat), Micasense (drones)
Hiperespectral	Decenas a cientos de bandas estrechas	AVIRIS, PRISMA, sensores científicos como espectrometros
Térmico (IR)	Radiación infrarroja emitida por objetos (calor)	TIRS (Landsat), cámaras térmicas FLIR
RGB (color)	Tres bandas visibles (rojo, verde, azul)	Cámaras digitales comunes

Características de sensores pasivos



Resolución espectral: número y ancho de bandas (más bandas = más precisión espectral).



Resolución espacial: tamaño mínimo de píxel observado (de cm a cientos de m).



Resolución temporal: frecuencia con que se adquieren datos del mismo sitio.

Tipos de sensores pasivos y plataformas

Sensor	Plataforma	Tipo	Resolución espacial
MSI	Sentinel-2	Multiespectral	10-60 m
OLI/TIRS	Landsat 8/9	Multiespectral + térmico	15-100 m
MODIS	Terra/Aqua	Multiespectral	250-1000 m
AVIRIS	Avión	Hiperespectral	5-20 m
Micasense RedEdge	Drone	Multiespectral	<10 cm

Limitaciones



Dependen de **luz solar** → no operan de noche.

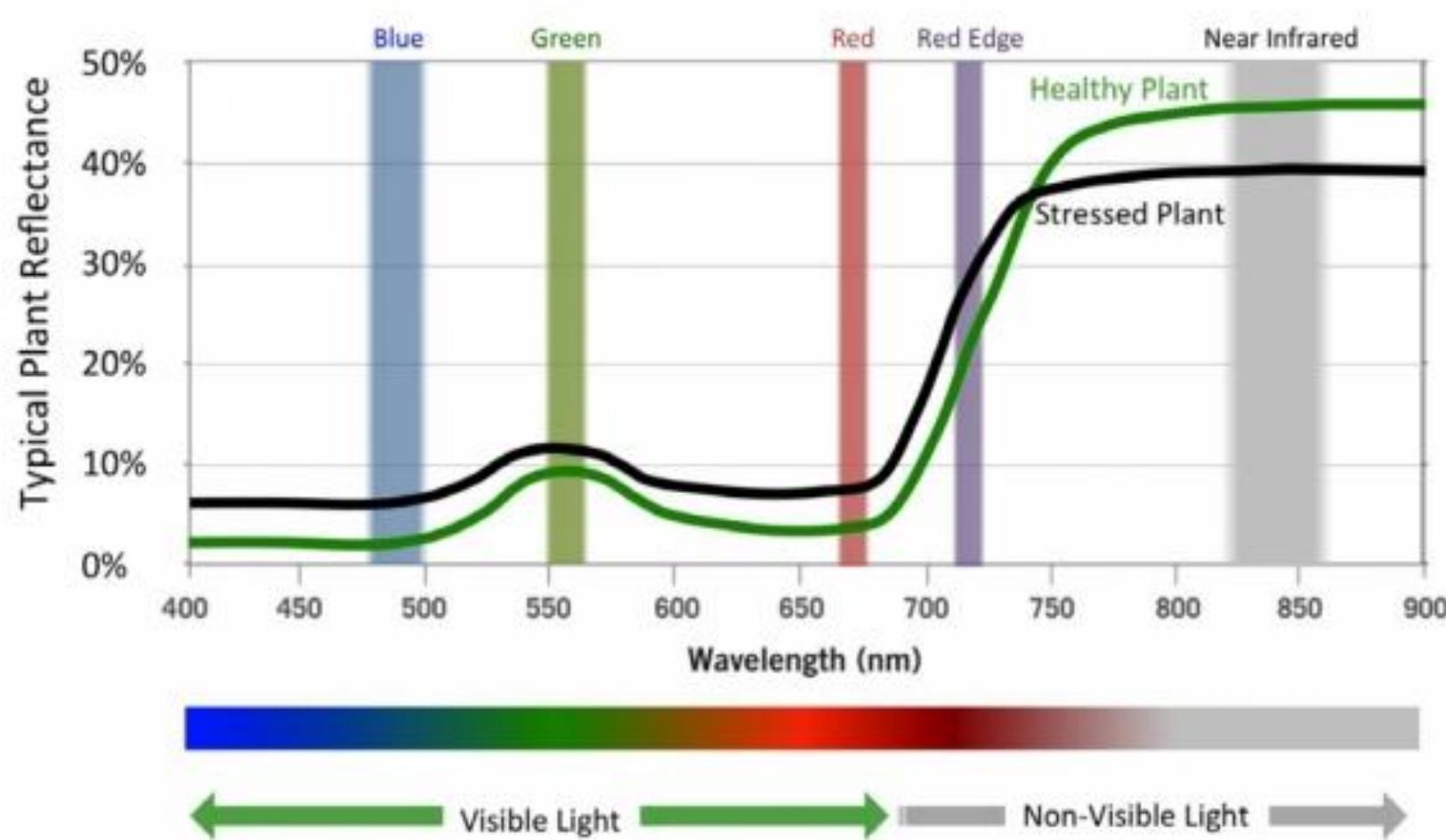


Sensibles a nubes y atmósfera → requieren corrección atmosférica.

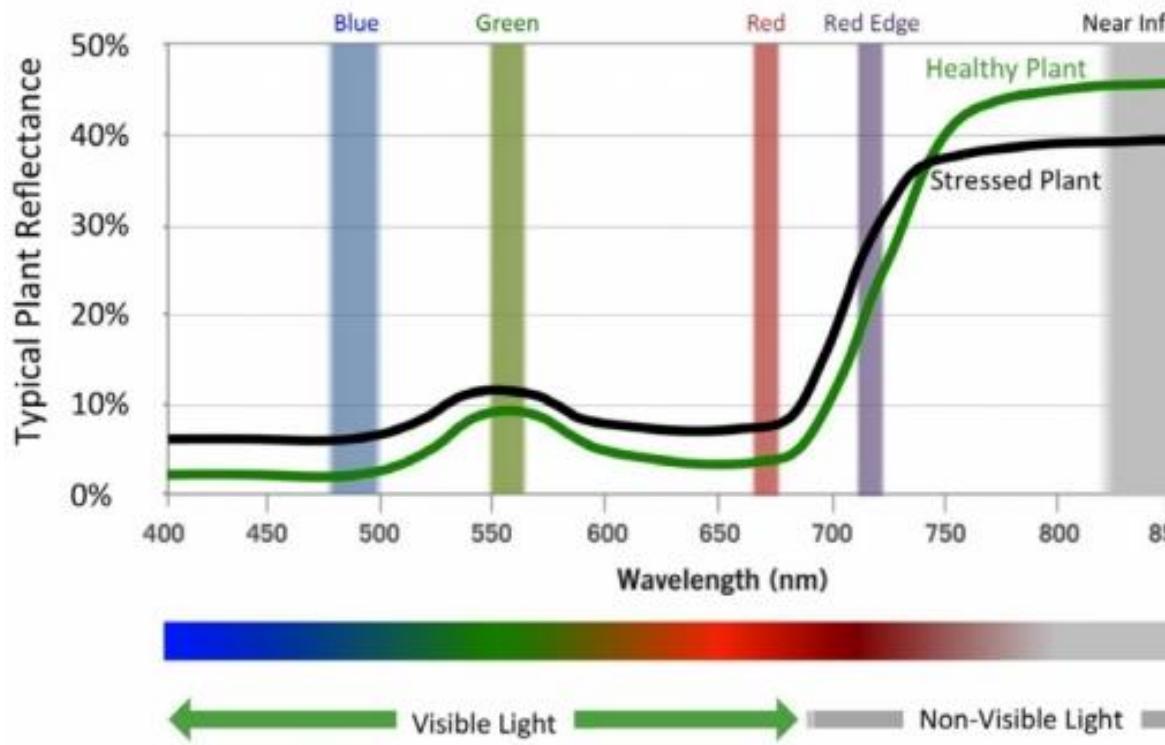


La calidad de los datos puede verse afectada por **sombra, humedad, y ángulos de observación**.

Sensores multispectral (pasivo)



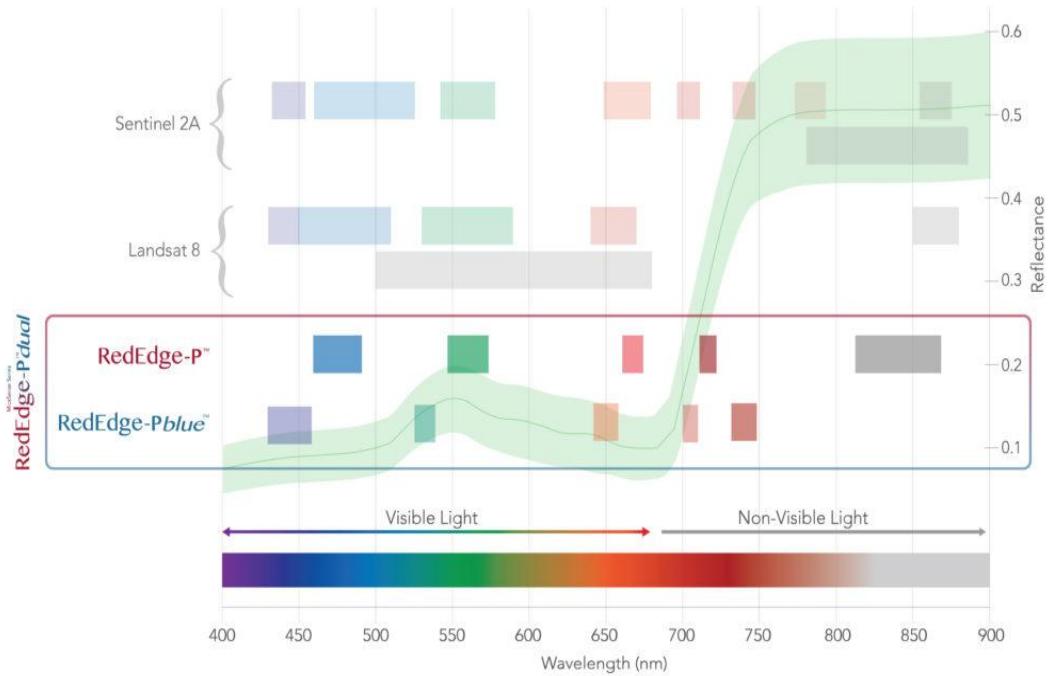
Sensores multispectral (pasivo)



► [Nuevas opciones para la cámara multispectral RedEdge de MicaSense - TYC GIS - GIS, Teledetección y Drones](#)

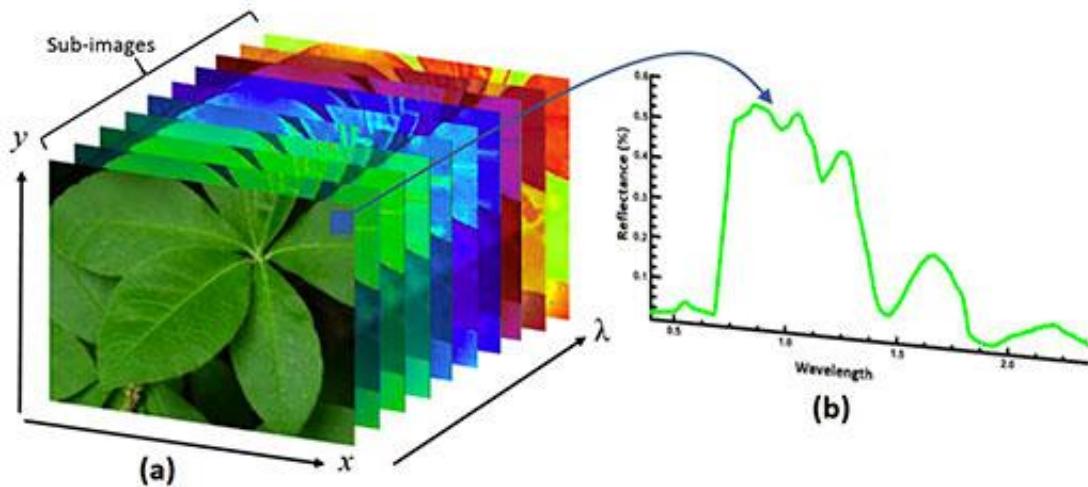
► Detección en bandas ópticas discretas de gran ancho spectral.

Sensores multispectral (pasivo)



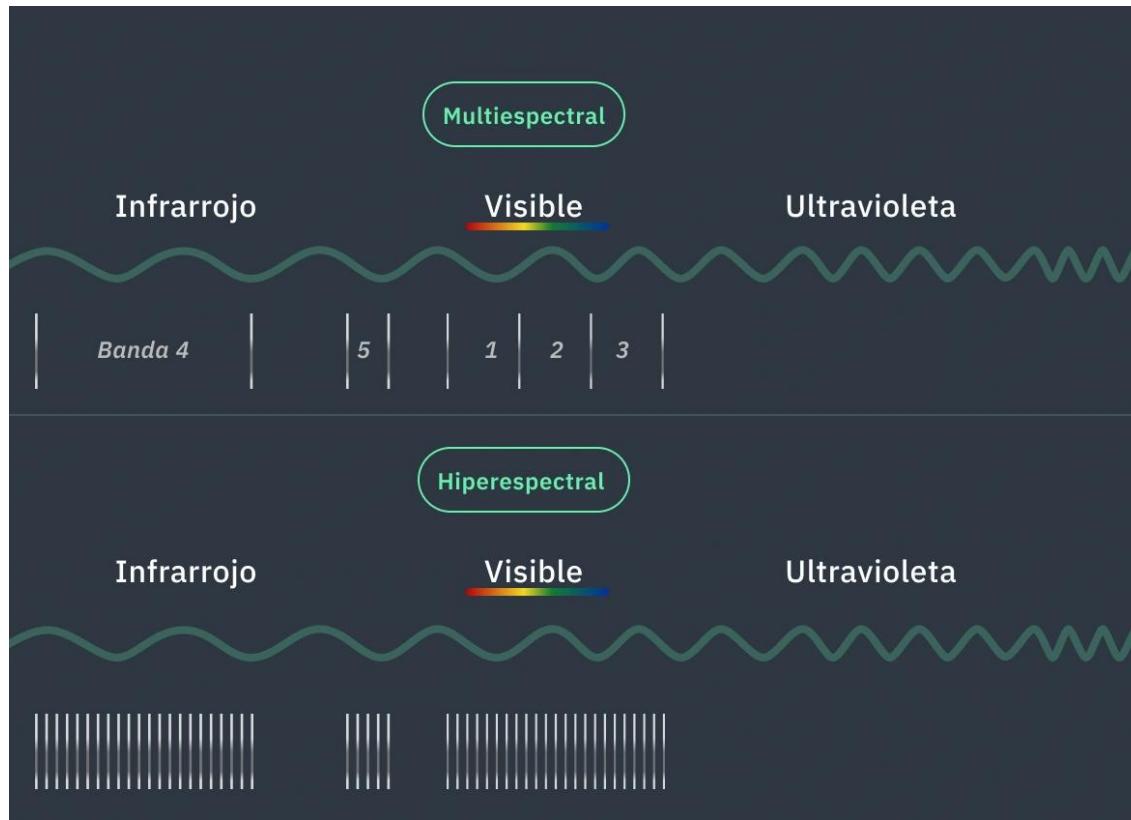
- ▶ De 2 a 10- 20 longitudes de onda. De 36-40 longitudes de onda asumida por algunos autores.
- ▶ Poseen filtros ópticos espectrales de 10 - 20 nm que captan “bandas de longitudes de onda”.
- ▶ Están portados en cámaras multiespectrales comerciales, satélites como el Landsat 8, Sentinel 2 se basan en tecnología multiespectral.

Sensores hiperespectral (pasivo)



- ▶ Mas de 20 longitudes de onda, y hasta centenas-
- ▶ Filtros ópticos espectrales menores a 5 nm
- ▶ Cámaras hiperespectrales y espectrómetros son equipos de tecnología hiperespectral
 - ▶ [Tecnología hiperespectral ¿qué es? - ATRIA Innovation](#)

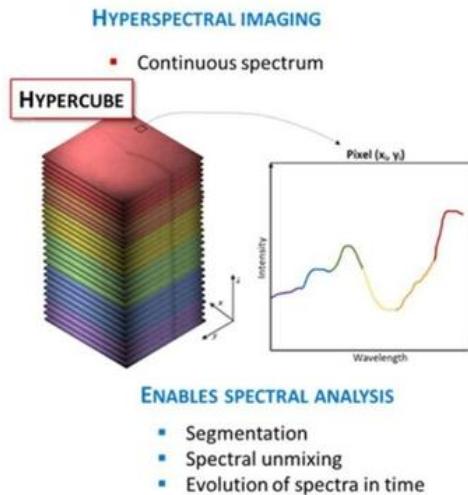
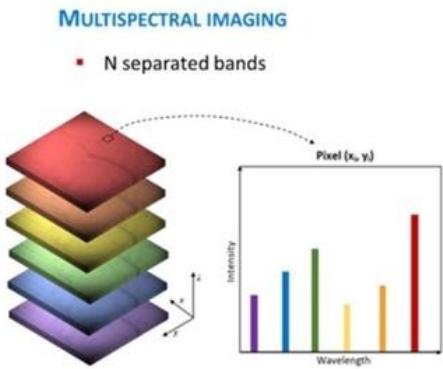
Sensor multispectral vs. hiperespectral



► Diferencias entre tecnología multiespectral e hiperespectral

► [Hiperespectral Y Multiespectral: Diferencias Entre Ambas \(eos.com\)](#)

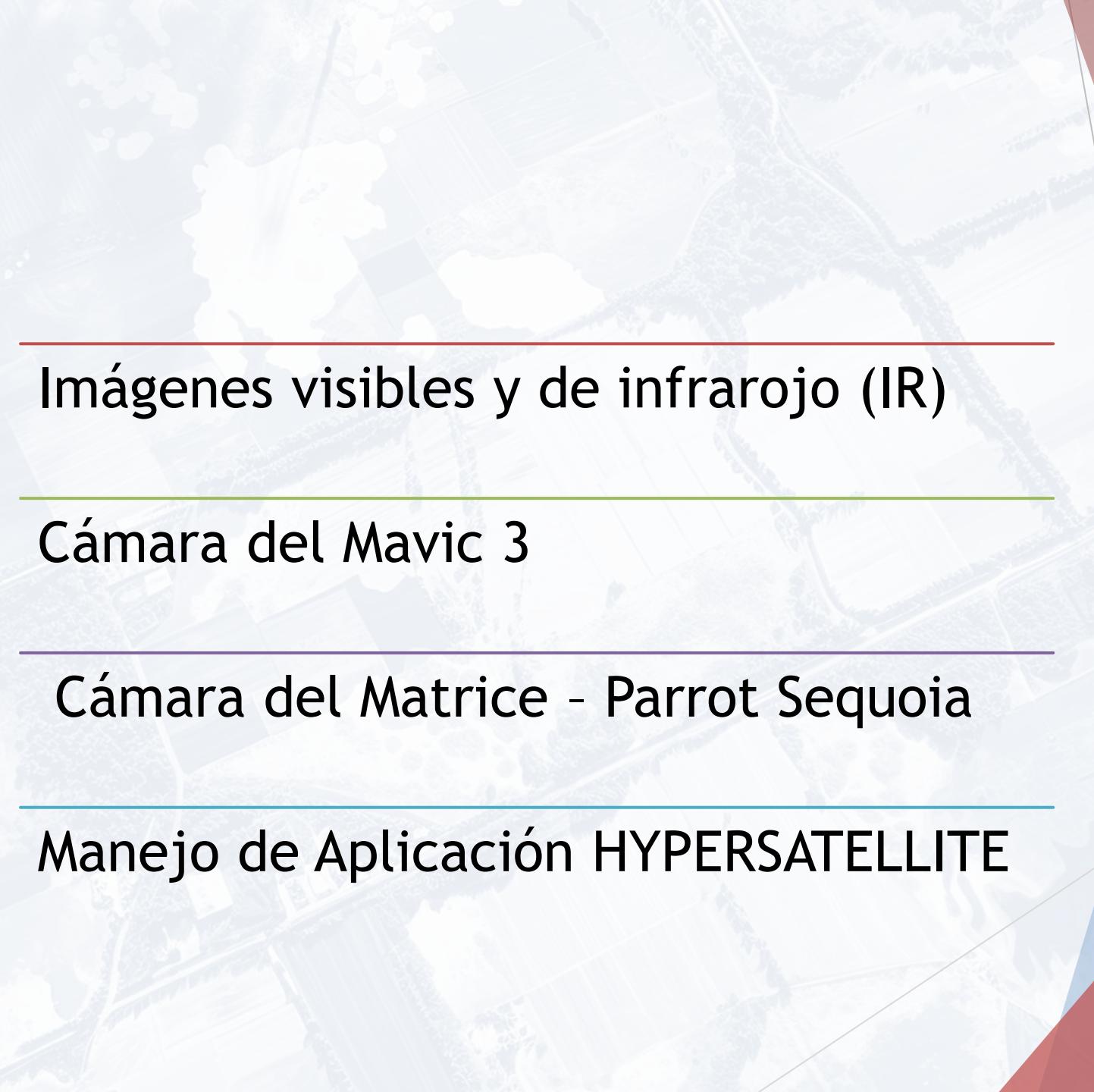
Sensor multispectral vs. hiperespectral



이미지 출처: <https://www.nireos.com/hyperspectral-imaging/>

► Diferencias entre tecnología multiespectral e hiperespectral

► [art_16384297261981_679853.jpg \(795×405\) \(hellot.net\)](#)



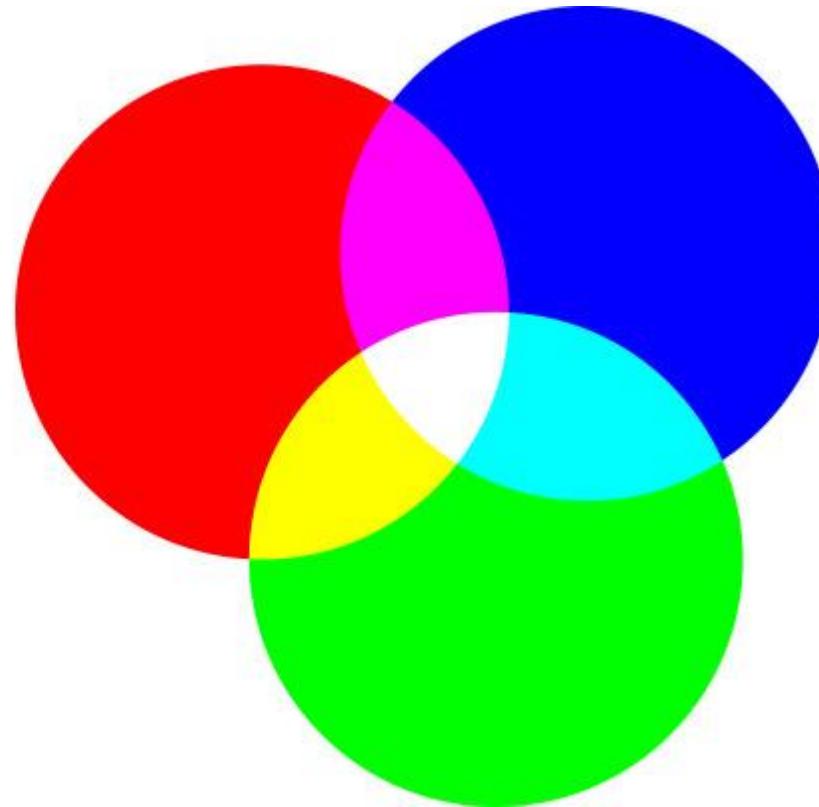
Imágenes visibles y de infrarojo (IR)

Cámara del Mavic 3

Cámara del Matrice - Parrot Sequoia

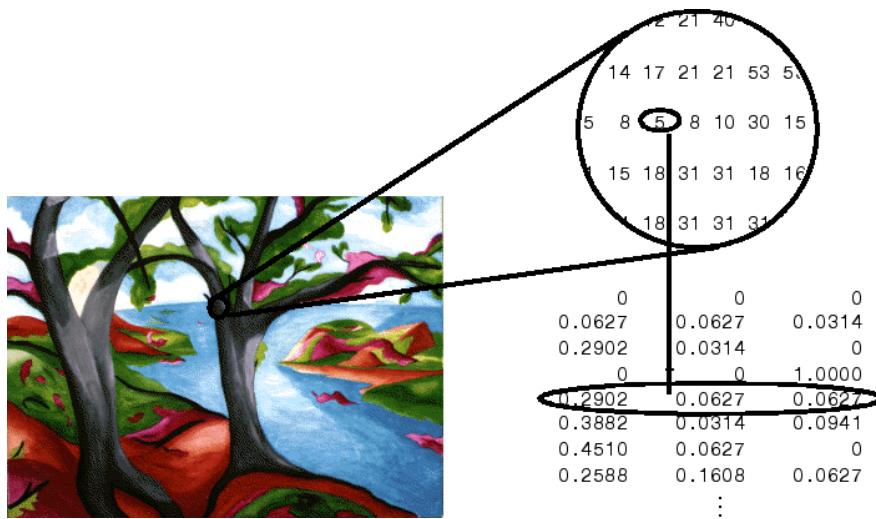
Manejo de Aplicación HYPER SATELLITE

Imágenes visibles y de infrarojo (IR)



Cámaras visibles RGB

ALMACENAMIENTO COMPUTACIONAL (Ejemplo de Python que indica los tres (3) valores R-G-B)

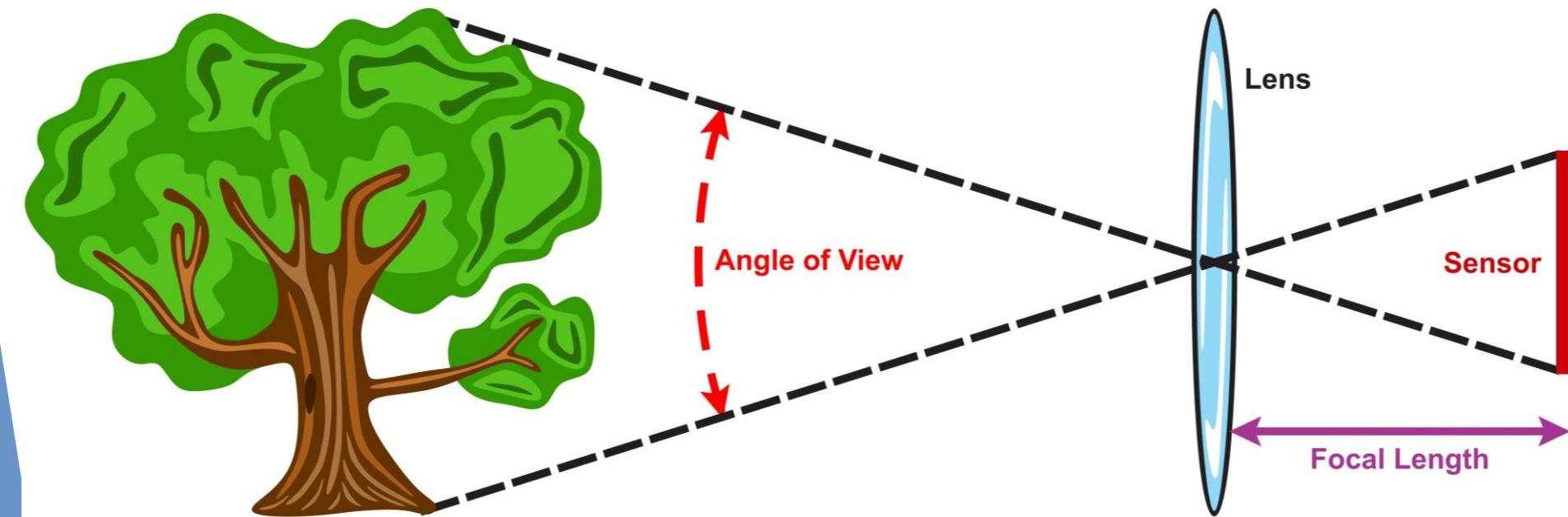


Cámara RGB (Captura en visible)



Qué es el FOV (Focal Angle of View) y el “Focal Length”

Focal Length and Angle of View



The greater the focal length, the closer the image and the less the angle of view

The less the focal length, the farther the image and the greater the angle of view

Comparación entre ambas tecnologías

- Cámaras (*dispositivos electrónicos*) para la detección de la reflectancia en ciertas longitudes de onda óptica.
- Determinación de índices de interés en el análisis del estado de cultivos; por ejemplo *NDVI*, *NDRE*, entre otros.

Tecnología
Multiespectral

- Cámaras para la detección de la reflectancia en un espectro de longitudes de onda óptica.
- Imágenes y registros de bandas de longitudes de onda para la diferenciación de enfermedades en cultivos a partir de determinar la banda discriminante (firma espectral)

Tecnología
Hiperespectral

Comparación entre ambas tecnologías

- Detección de valor de reflectancia en cada coordenada (x,y) por longitud de onda ($\lambda_1, \lambda_2\dots$)

Tecnología
Multiespectral

- Detección de valor de reflectancia en cada coordenada (x,y) por bandas de longitudes de onda ($\Delta\lambda$):
Espectros Ópticos

Tecnología
Hiperespectral

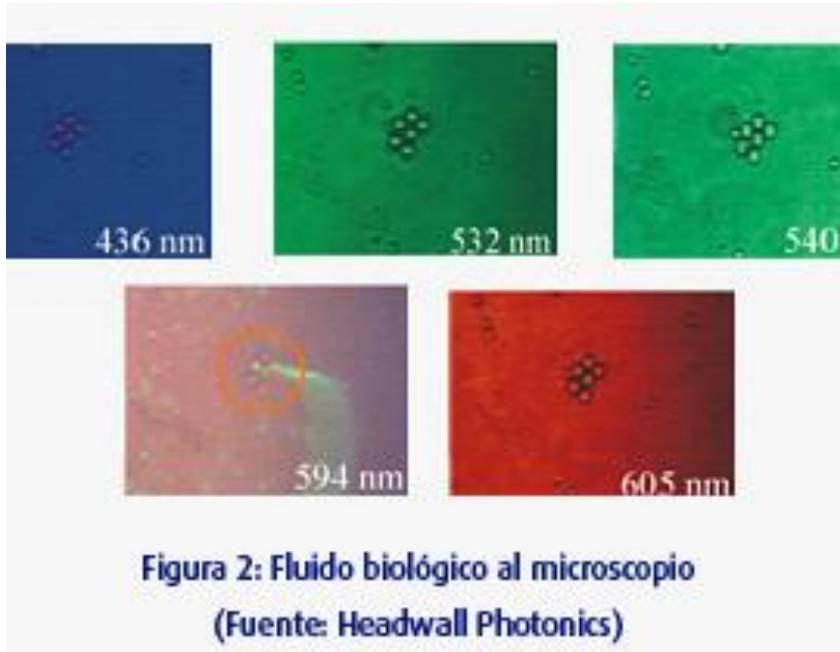
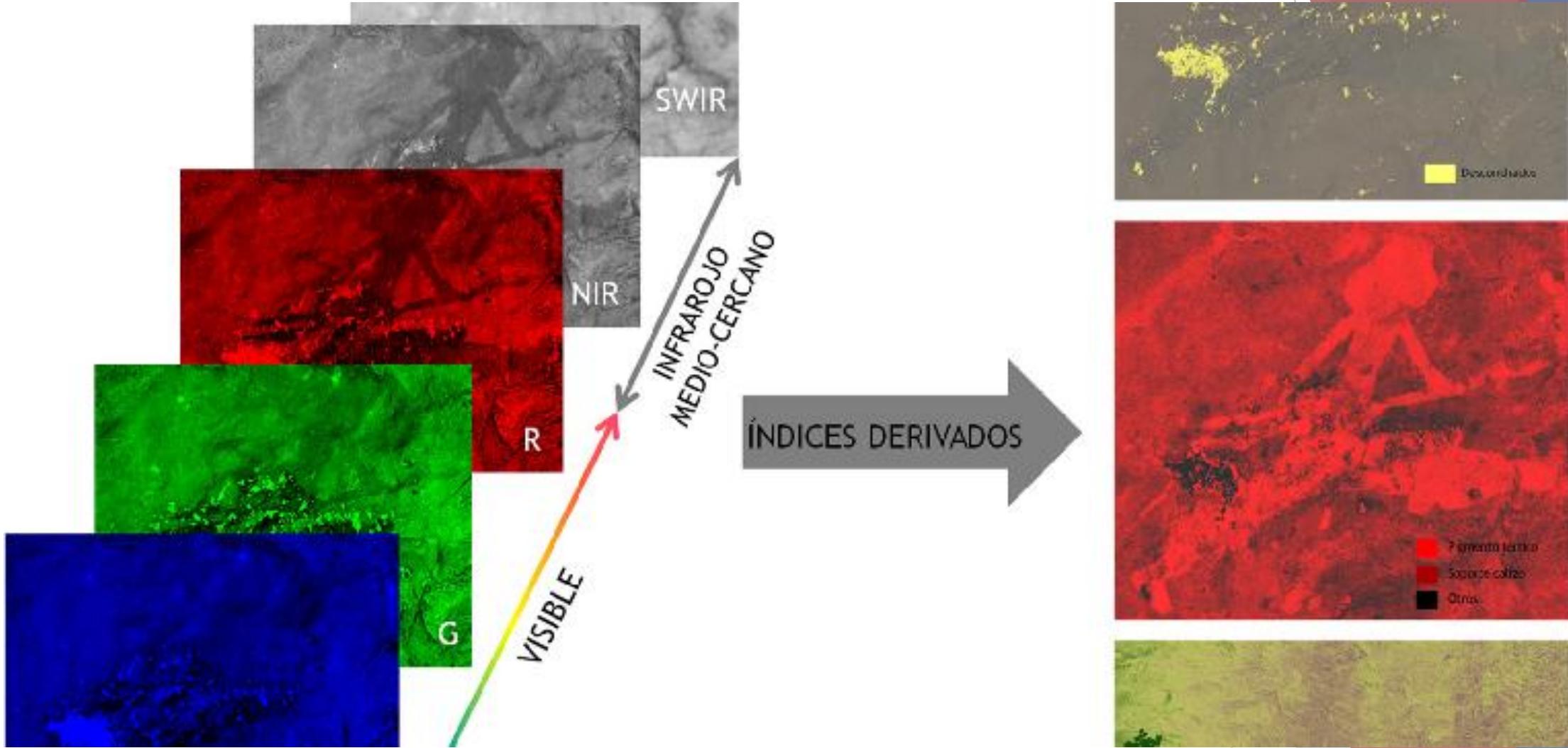
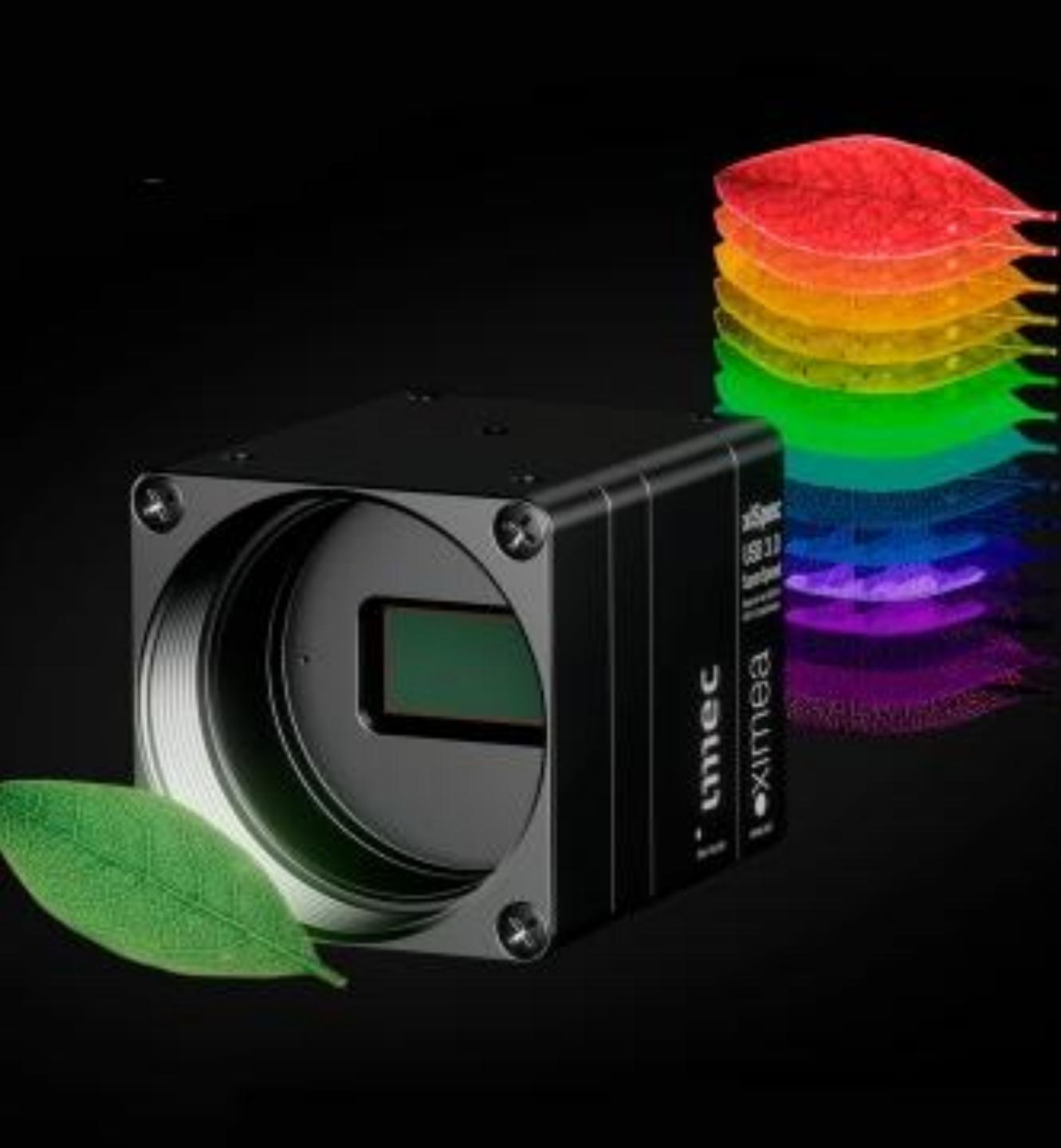


Figura 2: Fluido biológico al microscopio
(Fuente: Headwall Photonics)

Cámaras Multiespectrales



Cámara Hiperespectr al





Multispectral Images
From 2 to 10 bands



Hyperspectral Images
Hundreds of bands

[https://www.atriainnovation.com/tecnologia-
hiperespectral/](https://www.atriainnovation.com/tecnologia-hiperespectral/)

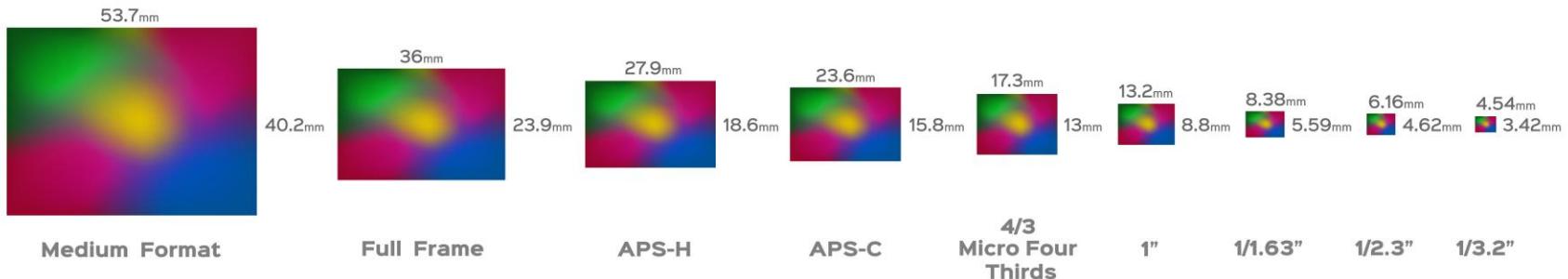
xiSPEC hyperspectral
2Mpix multi-linescan
470-900nm

Learn more

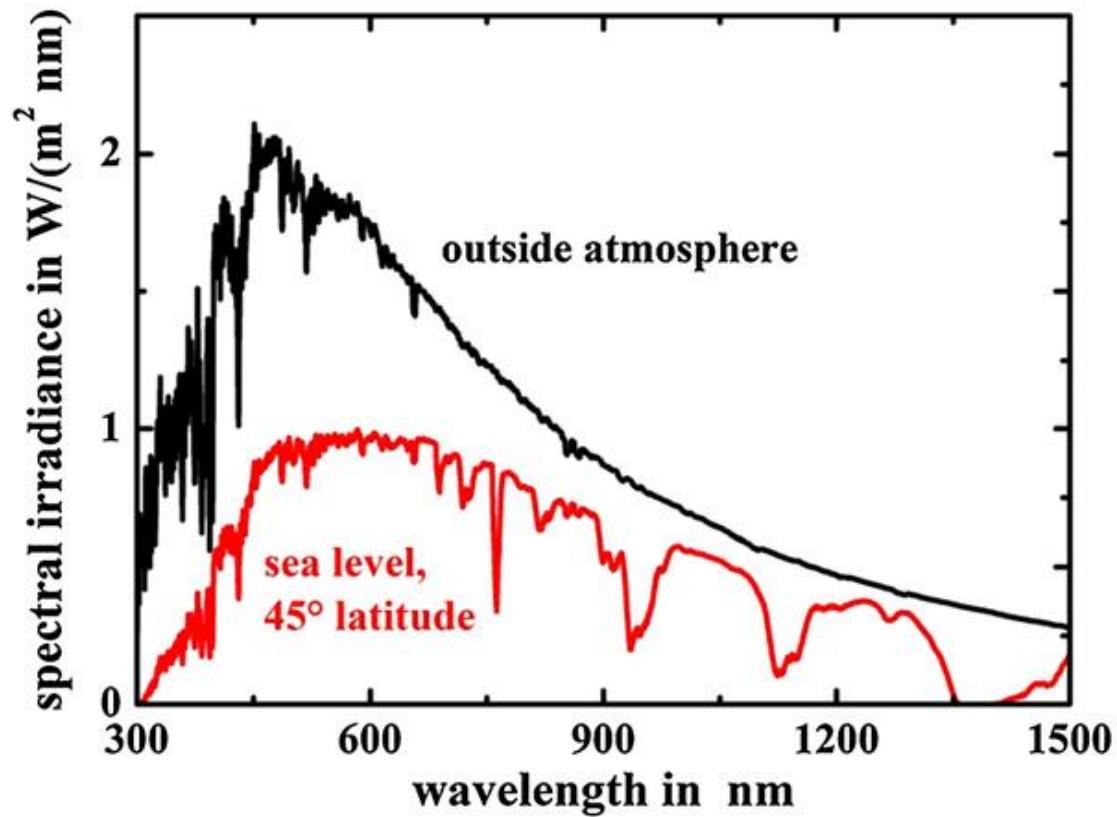


Tamaño de los sensores (cámaras)

Camera Sensor



Espectro de la luz solar



► Ejemplo típico del espectro de luz solar disponible en la región VIS y NIR. Un ángulo cenital solar de 45°. La integral de toda la curva de la irradiación solar a la distancia media Tierra-Sol (fuera de la atmósfera de la Tierra) 1370 W m⁻².

Imágenes visible e infrarrojo

►Comparación de una fotografía VIS convencional (a) y su correspondiente fotografía NIR (b) de la misma escena grabada poco después, como se puede ver desde las sombras. Aparece vegetación verde espectacularmente brillante en el NIR y el contraste entre el cielo y las nubes es mucho mayor en comparación con a la fotografía del VIS.

[The physics of near-infrared photography - IOPscience](#)



Imágenes visibles y de infrarojo (IR)



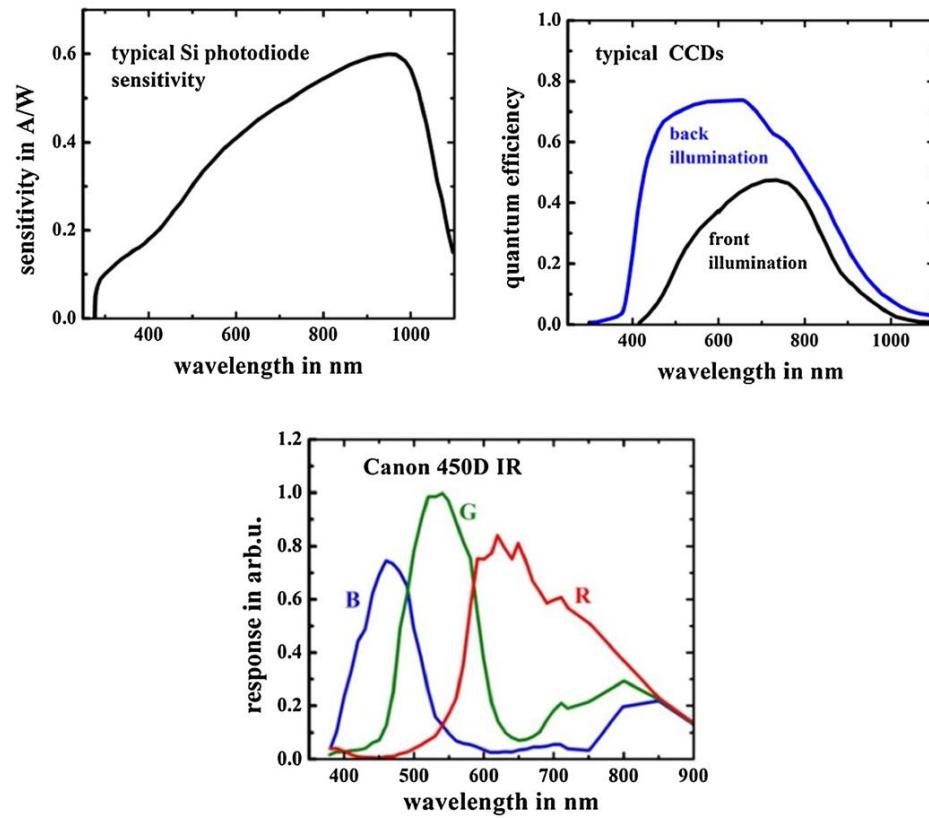
(a)



(b)

►Otra escena urbana en VIS (a) y NIR (b) que muestra el mismo efecto de dispersión brillante de vegetación en el NIR. Nótese de nuevo el contraste del cielo y también las diferencias de reflexión en las ventanas de la casa a mano derecha.

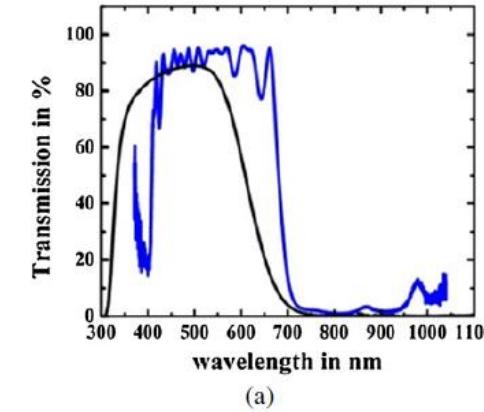
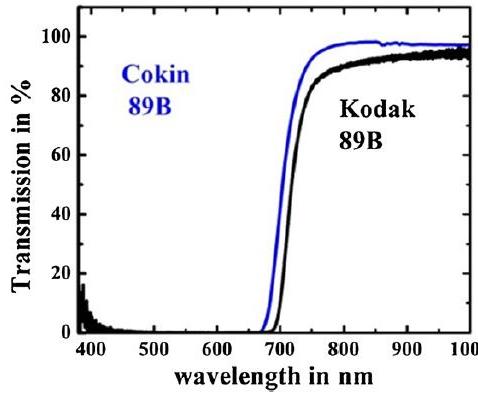
Imágenes visibles y de infrarojo (IR)



Espectro de sensibilidad típico de un fotodiodo de silicio (según Hamamatsu S 2386). b) Espectros de eficiencia cuántica típicos de los modernos conjuntos de plano focal CCD utilizados en los sistemas modernos de cámaras. La mayoría de las cámaras tienen sensores CCD con iluminación frontal menos costosa, mientras que las cámaras científicas especializadas utilizan los sensores CCD retroiluminados más eficientes. (c) Sensibilidad típica del detector de una cámara réflex digital Canon EOS 450 sin un filtro de bloqueo de infrarrojos

Imágenes visibles y de infrarojo (IR)

(a) Ejemplo de dos espectros de transmisión para los típicos filtros de bloqueo de infrarrojos utilizados en cámaras. (b) Transmisión típica de filtros de transmisión NIR, es decir, filtros de bloqueo VIS. (c) Filtros de bloqueo VIS (izquierda) y de bloqueo NIR (derecha)



Imágenes visibles y de infrarojo (IR)



► Imágenes de una botella y un vaso llenos de vino tinto grabadas solo para VIS light (izquierda), enteras rango VIS y NIR (medio) e IR solamente (derecha).

Imágenes visibles y de infrarrojo (IR)

Ejemplo de una imagen NIR de las piernas de una mujer que muestra claramente las venas de abajo la superficie de la piel. Estos no se podían ver fácilmente en el VIS.



5.1. Imágenes visibles y de infrarojo (IR)

►Cámara Pi NoIR (cámara con filtro infrarojo) para tableta de desarrollo Raspberry Pi. El filtro es la lámina azul.



RGB Camera	
Sensor	4/3 CMOS; Effective pixels: 20 MP
Lens	FOV: 84° Format Equivalent: 24 mm Aperture: f/2.8-f/11 Focus: 1 m to ∞ (with autofocus)
ISO Range	100-6400
Shutter Speed	Electronic shutter: 8-1/8000 s Mechanical shutter: 8-1/2000 s
Max Image Size	5280x3956
Photo Shooting Mode	Single shot: 20 MP Timed: 20 MP JPEG: 0.7/1/2/3/5/7/10/15/20/30/60 s JPEG + RAW: 3/5/7/10/15/20/30/60 s Panorama: 20 MP (raw image)
Video Encoding and Resolution	H.264 4K: 3840×2160@30fps FHD: 1920×1080@30fps
Video Bitrate	4K: 130Mbps FHD: 70Mbps
Photo Format	JPEG/DNG (RAW)
Video Format	MP4 (MPEG-4 AVC/H.264)
Supported File System	exFAT
Digital Zoom	8x
Multispectral Camera	
Sensor	1/2.8" CMOS; Effective pixels: 5 MP
Lens	FOV: 73.91° Format Equivalent: 25 mm Aperture: f/2.0 Focus: N/A
Narrow Band Filter	Green (G): 560±16 nm, Red (R): 650±16 nm, Red edge (RE): 730±16 nm, Near-infrared (NIR): 860±26 nm
Gain Range	1x-32x
Shutter Speed	Electronic shutter: 1/30-1/12800 s



Cámaras de drones comerciales

Max Image Size	2592×1944
Photo Shooting Mode	Single shot: 5 MP Timed: 5 MP TIFF: 2/3/5/7/10/15/20/30/60 s
Video Encoding and Resolution	H.264 FHD: 1920×1080@30fps Video content: NDVI/GNDVI/NDRE
Video Bitrate	Stream 60Mbps
Photo Format	TIFF
Video Format	MP4 (MPEG-4 AVC/H.264)
Sensing	
Type	Omnidirectional binocular vision system, supplemented with an infrared sensor at the bottom of the aircraft.
Forward	Measurement Range: 0.5-20 m Detection Range: 0.5-200 m Effective Sensing Speed: Flight Speed ≤15 m/s FOV: Horizontal 90°, Vertical 103°
Backward	Measurement Range: 0.5-16 m Effective Sensing Speed: Flight Speed ≤12 m/s FOV: Horizontal 90°, Vertical 103°
Lateral	Measurement Range: 0.5-25 m Effective Sensing Speed: Flight Speed ≤15 m/s FOV: Horizontal 90°, Vertical 85°
Upward	Measurement Range: 0.2-10 m Effective Sensing Speed: Flight Speed ≤6 m/s FOV: Front and Back 100°, Left and Right 90°
Downward	Measurement Range: 0.3-18 m Effective Sensing Speed: Flight Speed ≤6 m/s FOV: Front and Back 130°, Left and Right 160°
Operating Environment	Forward, Backward, Lateral, and Upward: surface with a clear pattern and adequate lighting (lux >15) Downward: diffuse reflective surface with diffuse reflectivity>20% (e.g. walls, trees, people) and adequate lighting (lux >15)
Video Transmission	
Video Transmission System	DJI O3 Enterprise Transmission
Live View Quality	Remote Controller: 1080p/30fps
Operating Frequency ^[2]	2.400-2.4835 GHz, 5.725-5.850 GHz
Transmitter Power (EIRP)	2.4 GHz: <33 dBm (FCC), <20 dBm (CE/SRRC/MIC) 5.8 GHz: <33 dBm (FCC), <14 dBm (CE), <30 dBm (SRRC)
Max Transmission Distance (unobstructed, free of interference) ^[3]	15 km (FCC), 8 km (CE/SRRC/MIC)

Cámara de DJI Mavic 3M

Cámara del Matrice - RedEdge de MICASENSE



Peso:

231.9 g

Dimensiones:

8.7cm x 5.9cm x 4.54cm

Poder externo:

4.2 V DC – 15.6 V DC

Bandas espectrales

Azul, verde, rojo, borde rojo, cerca de IR (obturador global, banda estrecha)

Salida de color RGB:

Obturador global, alineado con todas las bandas.

Distancia de muestra en el suelo (GSD):

8 cm por pixel (por banda) a 120 m (~ 400 pies) AGL

Velocidad de captura:

1 captura por segundo (todas las bandas), RAW de 12 bits

Interfaces:

Serial, Ethernet 10/100/1000, Wi-Fi extraíble, disparador externo, GPS, SDHC

Campo de visión:

47.2 ° HFOV

Opciones de activación:

Modo de temporizador, modo de superposición, modo de disparo externo (PWM, GPIO, serie y opciones de Ethernet), modo de captura manual

Peso:	231.9 g
Dimensiones:	8.7cm x 5.9cm x 4.54cm
Poder externo:	4.2 V DC – 15.6 V DC
Bandas espectrales	Azul, verde, rojo, borde rojo, cerca de IR (obturador global, banda estrecha)
Salida de color RGB:	Obturador global, alineado con todas las bandas.
Distancia de muestra en el suelo (GSD):	8 cm por píxel (por banda) a 120 m (~ 400 pies) AGL
Velocidad de captura:	1 captura por segundo (todas las bandas), RAW de 12 bits
Interfaces:	Serial, Ethernet 10/100/1000, Wi-Fi extraíble, disparador externo, GPS, SDHC
Campo de visión:	47.2 ° HFOV
Opciones de activación:	Modo de temporizador, modo de superposición, modo de disparo externo (PWM, GPIO, serie y opciones de Ethernet), modo de captura manual

Cámara del Matrice - RedEdge de Micasense

Preprocesamiento

Correcciones radiométricas, atmosféricas y geométricas



Correcciones radiométricas, atmosféricas y geométricas

Las correcciones radiométricas, atmosféricas y geométricas son procesos fundamentales en **teledetección** que se aplican a las imágenes obtenidas por sensores remotos (drones, satélites, aviones) para asegurar que los datos reflejen **valores reales y comparables** de la superficie terrestre.

Corrección radiométrica

Ajusta las imágenes para eliminar **errores del sensor y condiciones de iluminación** (como variación solar), garantizando que los valores digitales (DN o reflectancia) sean consistentes.

¿Corrige?

- Ruido del sensor.
- Diferencias de ganancia entre bandas.
- Efectos de sombra o sobreexposición.

Resultado:

- ▶ Produce una imagen con **valores radiométricos corregidos** listos para conversión a **reflectancia** a través de **blancos de calibración**.

Corrección atmosférica

Elimina los efectos de la atmósfera (absorción, dispersión, humedad, aerosoles) sobre la radiación captada por el sensor. Sin esta corrección, los valores de reflectancia no representan la superficie real.

¿Corrige?

- Efecto de gases como vapor de agua, ozono.
- Dispersión de Rayleigh y Mie (nubes, polvo).
- Variación atmosférica entre fechas o lugares.

Resultado:

- ▶ Obtención de la **reflectancia de superficie real** → base para comparar imágenes en el tiempo o calcular índices como **NDVI, EVI, SAVI** de forma confiable.

Corrección atmosférica

Herramientas comunes:

- SEN2COR (Sentinel-2)
- QUAC, FLAASH (ENVI)
- ACOLITE (para aguas)
- DOS (Dark Object Subtraction) - método empírico

Corrección geométrica

Corrige errores de **posición espacial** y **distorsión geográfica**, asegurando que cada píxel esté alineado correctamente con su ubicación real en la Tierra.

¿Corrige?

- Movimiento del satélite o dron.
- Curvatura terrestre.
- Rotación, inclinación y ángulo del sensor.
- Variaciones topográficas (relieve).

Resultado:

- ▶ Imágenes **georreferenciadas** y **ortorrectificadas**, listas para análisis GIS, comparación multitemporal o fusión con otros datos (como mapas de suelo o clima).



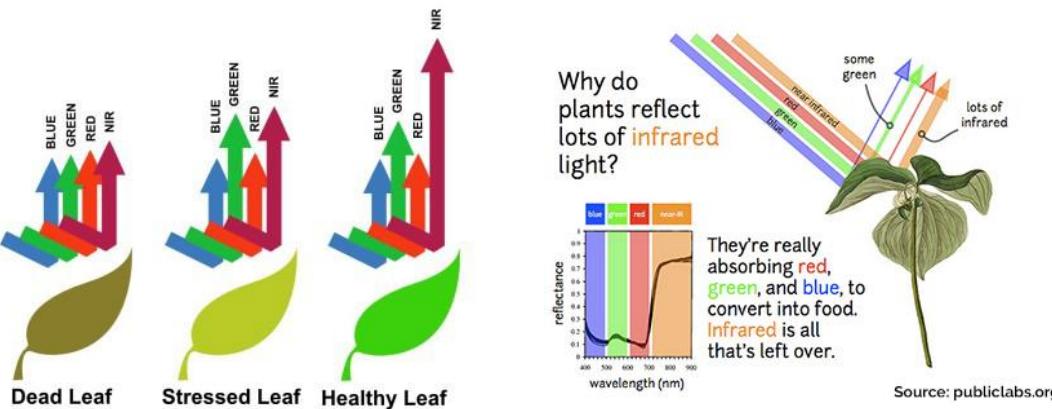
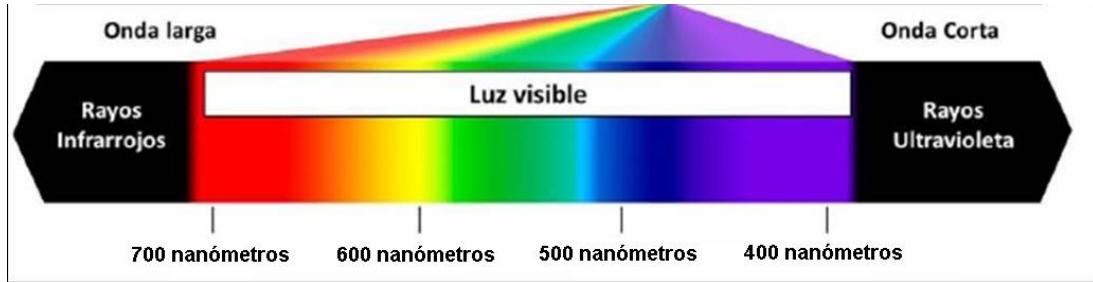
Importancia de las correcciones

- ▶ Comparar imágenes en el tiempo (series temporales).
- ▶ Calcular índices espectrales (NDVI, etc.) con precisión.
- ▶ Integrar imágenes con datos de campo o de otras plataformas (drones, sensores espectrales).

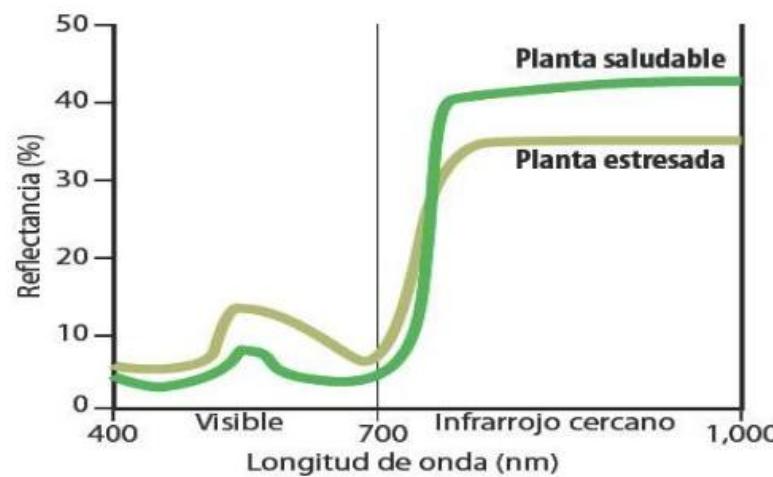
Composición de bandas e índices espectrales

NDVI, NDWI, SAVI, etc.

¿De donde proviene el concepto físico de índice de vegetación?



¿De donde proviene el concepto físico de índice de vegetación?

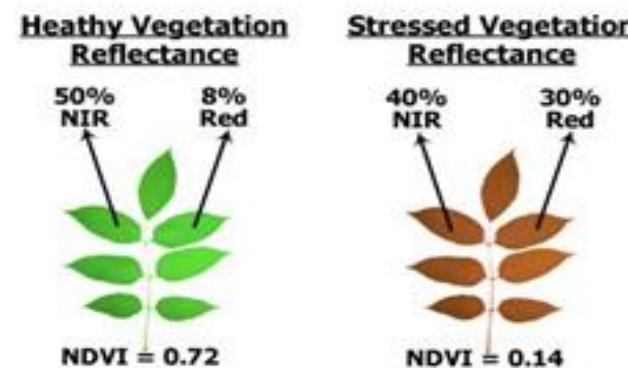


Ejemplo de espectro típico de reflectancia mostrando el comportamiento de una planta vigorosa y otra en condiciones de estrés. Fuente: CIMMYT.

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index.

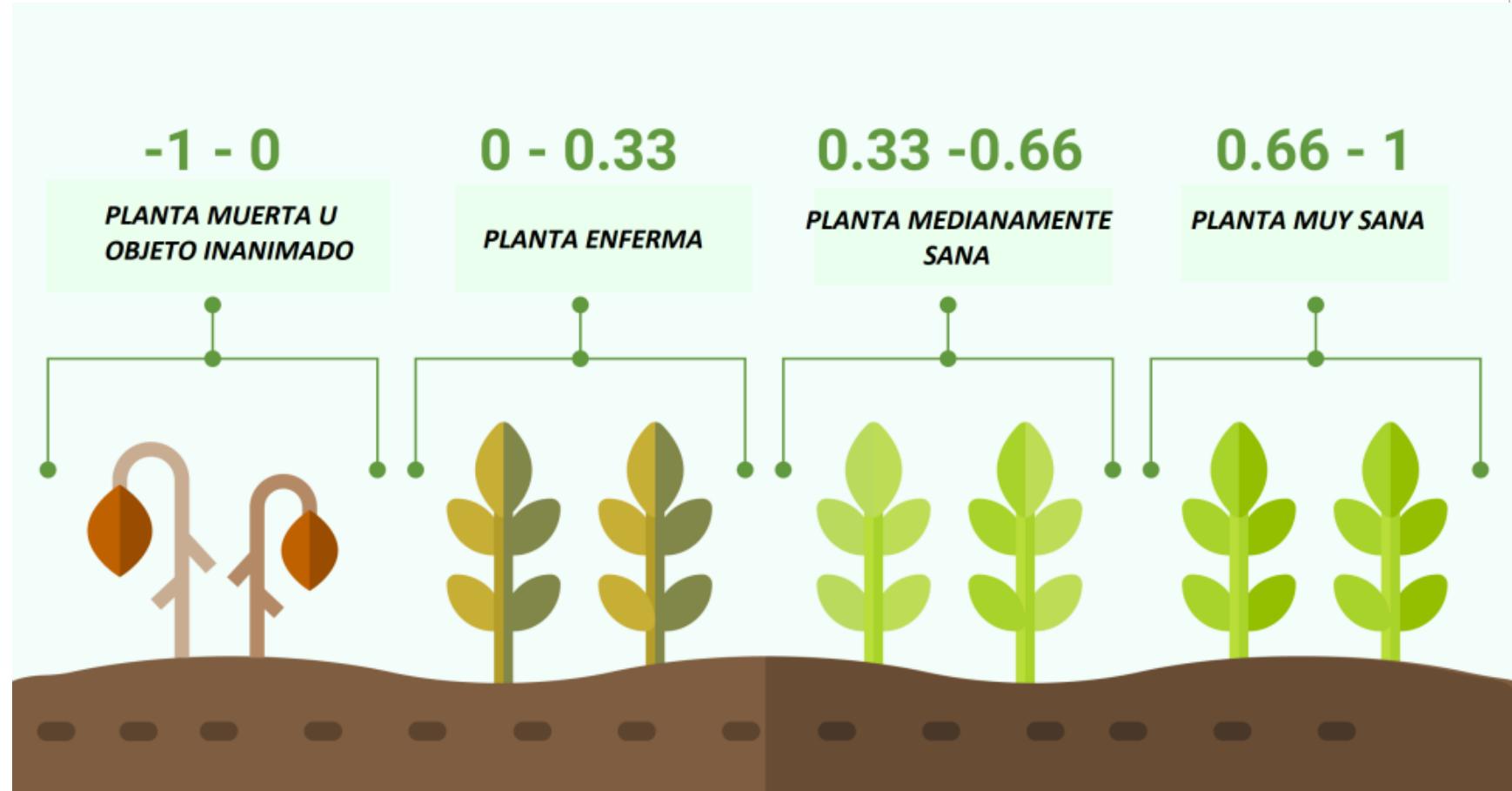
NIR=Infrarojo cercano (850 nm) y Red: Rojo (650 nm).

Indice de la salud de la planta



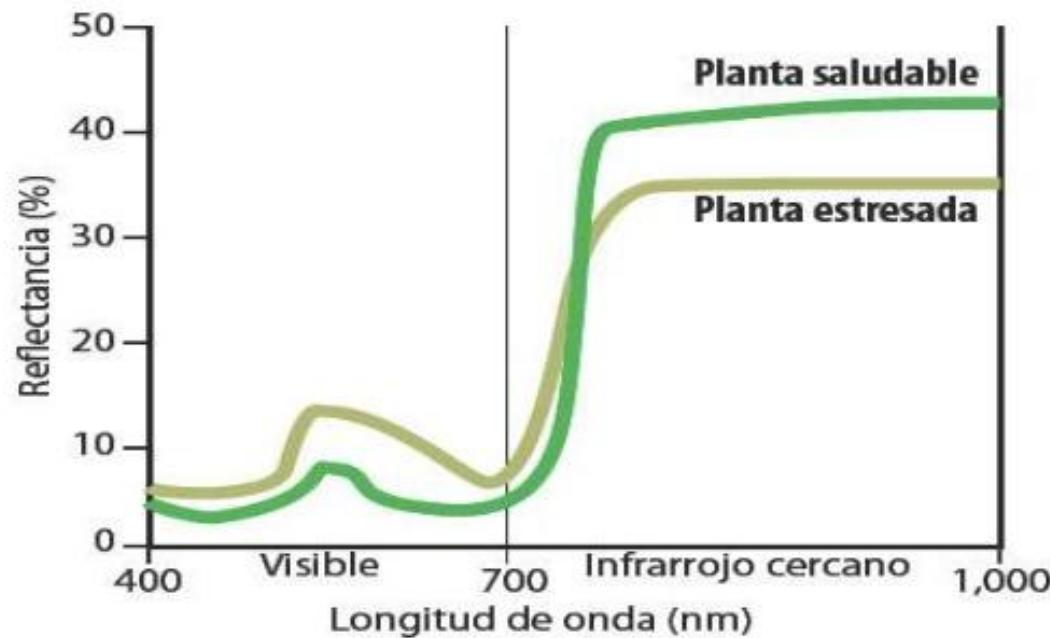
$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{Red}}{\text{NIR} + \text{Red}}$$

(Fuente: <http://odis.ca/ndvi.html>)



NDVI

¿De donde proviene el concepto físico de índice de vegetación?

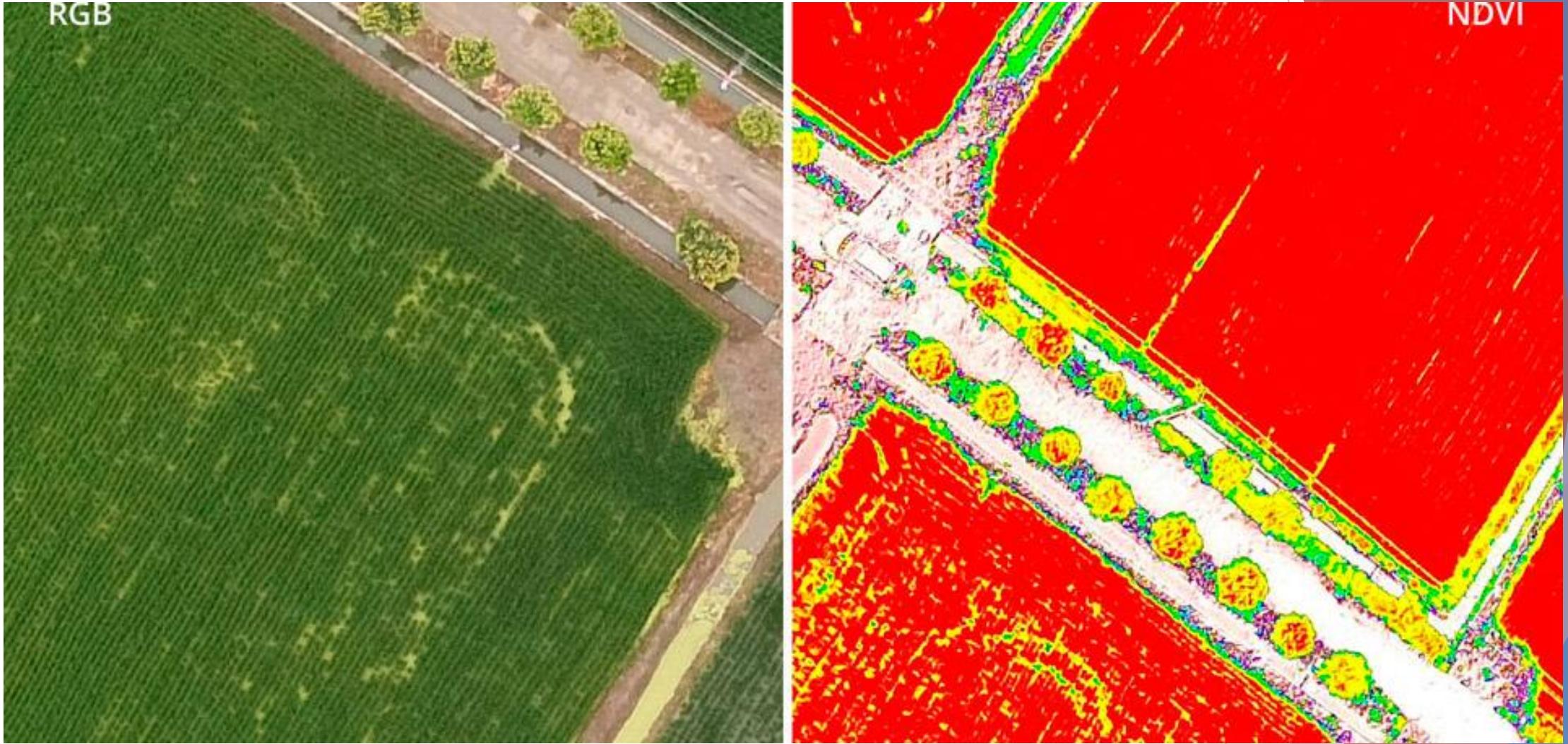


Ejemplo de espectro típico de reflectancia mostrando el comportamiento de una planta vigorosa y otra en condiciones de estrés. Fuente: CIMMYT.

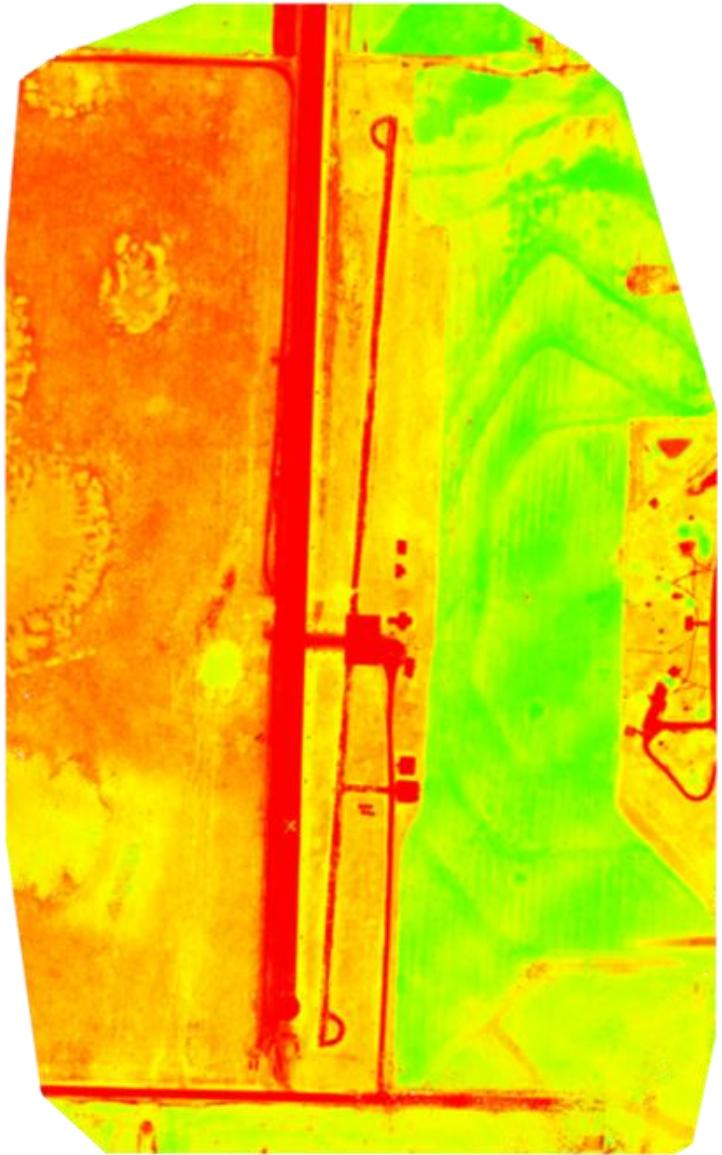
NDRE: Normalized Difference Red Edge. NIR=Infrarojo Lejano (850 nm) y RE: Red Edge (715 nm).

Medida de la cantidad de Clorofila

$$\text{NDRE} = \frac{(\text{NIR} - \text{RE})}{(\text{NIR} + \text{RE})}$$



$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{Red}}{\text{NIR} + \text{Red}}$$



Generación de imágenes de índices de vegetación

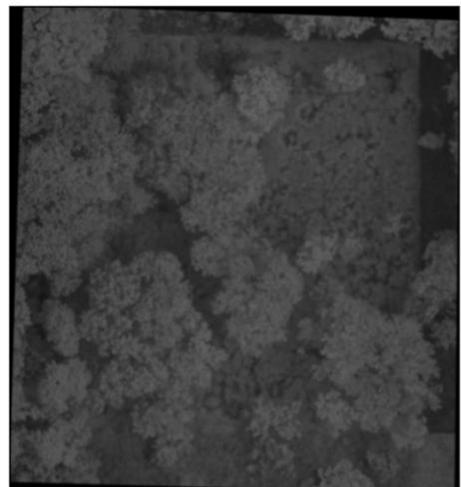


IMAGEN NIR (850 nm)

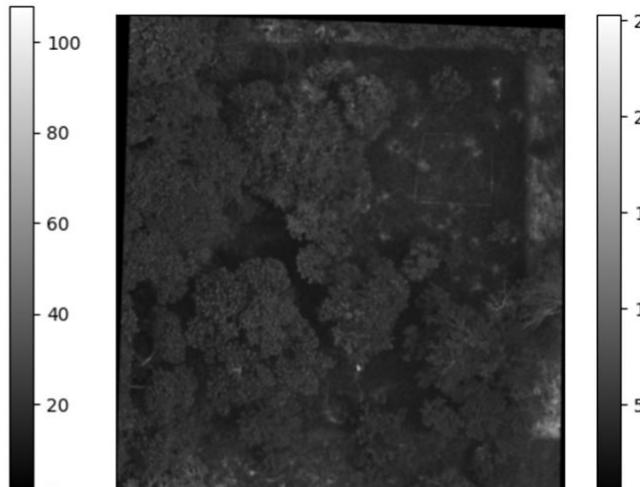
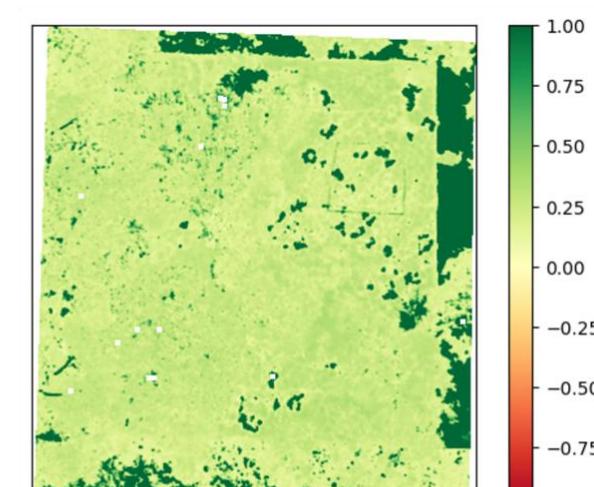


IMAGEN RED (650 nm)



NDVI(650 nm)

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{Red}}{\text{NIR} + \text{Red}}$$

Generación de imágenes multiespectrales en software libre Python a partir de imágenes de reflectancia calibradas con blanco de reflectancia

Índices de Vegetación

Nota: ρ son las bandas espectrales de las bandas de luz infrarroja cercana (NIR), roja, verde y azul, respectivamente; ρ_i denota reflectancia en la longitud de onda de la banda i en nanómetros.

Vegetation Index	Formulas
Three gradient difference vegetation index (TGDVI)	$TGDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\lambda_{NIR} - \lambda_R} - \frac{\rho_R - \rho_G}{\lambda_R - \lambda_G}$
Triangular vegetation index (TVI)	$TVI = 60(\rho_{NIR} - \rho_G) - 100(\rho_R - \rho_G)$
Modified triangular vegetation index (MTVI2)	$MTVI2 = \frac{1.5[(1.2(\rho_{NIR} - \rho_G) - 2.5(\rho_R - \rho_G))]}{\sqrt{(2\rho_{NIR} + 1)^2 - (6\rho_{NIR} - 5\sqrt{\rho_R})} - 0.5}$
Red edge NDVI	$NDVI_{Red-edge} = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red-edge}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red-edge}}$
Red-edge chlorophyll index	$CI_{Red-edge} = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_{Red-edge}} - 1$
MERIS Terrestrial Chlorophyll Index	$MTCI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red-edge}}{\rho_{Red-edge} - \rho_{Red}}$
Water Index (WI)	$WI = \rho_{900} / \rho_{970}$
Normalized difference water index (NDWI)	$NDWI = \frac{\rho_{860} - \rho_{1240}}{\rho_{860} + \rho_{1240}}$
Normalized difference infrared index (NDII)	$NDII = \frac{\rho_{819} - \rho_{1600}}{\rho_{819} + \rho_{1600}}$
Disease water stress index (DSWI)	$DSWI = \frac{\rho_{803} + \rho_{549}}{\rho_{1659} + \rho_{681}}$

Indices de Vegetación

Nota: ρ son las bandas espectrales de las bandas de luz infrarroja cercana (NIR), roja, verde y azul, respectivamente; ρ_i denota reflectancia en la longitud de onda de la banda i en nanómetros.

Vegetation Index	Formulas
Three gradient difference vegetation index (TGDVI)	$TGDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\lambda_{NIR} - \lambda_R} - \frac{\rho_R - \rho_G}{\lambda_R - \lambda_G}$
Triangular vegetation index (TVI)	$TVI = 60(\rho_{NIR} - \rho_G) - 100(\rho_R - \rho_G)$
Modified triangular vegetation index (MTVI2)	$MTVI2 = \frac{1.5[(1.2(\rho_{NIR} - \rho_G) - 2.5(\rho_R - \rho_G))]}{\sqrt{(2\rho_{NIR} + 1)^2 - (6\rho_{NIR} - 5\sqrt{\rho_R})} - 0.5}$
Red edge NDVI	$NDVI_{Red-edge} = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red-edge}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red-edge}}$
Red-edge chlorophyll index	$CI_{Red-edge} = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_{Red-edge}} - 1$
MERIS Terrestrial Chlorophyll Index	$MTCI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red-edge}}{\rho_{Red-edge} - \rho_{Red}}$
Water Index (WI)	$WI = \rho_{900} / \rho_{970}$
Normalized difference water index (NDWI)	$NDWI = \frac{\rho_{860} - \rho_{1240}}{\rho_{860} + \rho_{1240}}$
Normalized difference infrared index (NDII)	$NDII = \frac{\rho_{819} - \rho_{1600}}{\rho_{819} + \rho_{1600}}$
Disease water stress index (DSWI)	$DSWI = \frac{\rho_{803} + \rho_{549}}{\rho_{1659} + \rho_{681}}$

Indices de Vegetación

Table 3. Vegetation indices compiled from the literature.

Vegetation Index	Formulas
Atmospherically-resistant vegetation index (ARVI)	$ARVI = \frac{\rho_{NIR} - RB}{\rho_{NIR} + RB}$ $RB = R - \gamma(B - R), \gamma = 1$
Difference vegetation index (DVI)	$DVI = \rho_{NIR} - \rho_R$
Enhanced vegetation index (EVI)	$EVI = 2.5 \cdot \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + 6\rho_R - 7.5\rho_B + 1}$
Green normalized difference vegetation index (GNDVI)	$GNDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_G}{\rho_{NIR} + \rho_G}$
Modified nonlinear vegetation index (MNLI)	$MNLI = \frac{1.5(\rho_{NIR^2} - \rho_R)}{\rho_{NIR^2} + \rho_R + 0.5}$
The second modified SAVI (MSAVI2)	$MSAVI2 = \frac{2\rho_{NIR} + 1 - \sqrt{(2\rho_{NIR} + 1)^2 - 8(\rho_{NIR} - \rho_R)}}{2}$
Modified simple ratio (MSR)	$MSR = \frac{\rho_{NIR}/\rho_R - 1}{\sqrt{\rho_{NIR}/\rho_R} + 1}$
Normalized difference vegetation index (NDVI)	$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R}$
Nonlinear vegetation index (NLI)	$NLI = \frac{\rho_{NIR^2} - \rho_R}{\rho_{NIR^2} + \rho_R}$

Optimization of soil-adjusted vegetation index (OSAVI)	$OSAVI = (1 + 0.16) \cdot \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R + 0.16}$
Renormalized difference vegetation index (RDVI)	$RDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\sqrt{\rho_{NIR} + \rho_R}}$
Ratio vegetation index (RVI)	$RVI = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_R}$
Soil-adjusted vegetation index (SAVI)	$SAVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{(\rho_{NIR} + \rho_R + L)} (1 + L), L = 0.5$

[IDB - List of available Indices](#)

¿Cómo usar las imágenes del Sentinel 2 para que sean procesadas e interpretadas de manera rápida por personal no experto?



EQUIPO DE TRABAJO

THOMAS GOMEZ SERPA

Es un estudiante de matemáticas y física en la Universidad de los Andes en Colombia. También conocido en GitHub por su nombre de usuario Ratabart666 [Ratabart666 \(GitHub\)](#). Programador de proyecto HYPERCORN adaptando algoritmos de procesamiento de imágenes multiespectrales y procesamiento de espectros en Python. Su interés es la física teórica, física matemática, modelación matemática y ciencias computacionales. Aspira a ser doctor en Física y empresario de proyectos digitales en Inteligencia Artificial para agricultura.

Autor de App HYPERSATELLITE y OPTIFORRAJE



EQUIPO DE TRABAJO

ANDRES FELIPE MENDOZA

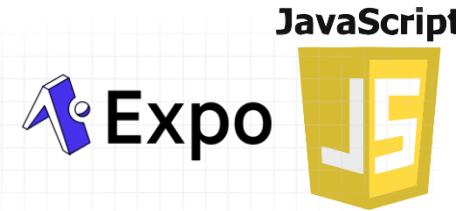
Es un estudiante Ingeniería de Sistema en la Universidad de los Andes en Colombia. También conocido en GitHub por su nombre de usuario gordosaurio [gordosaurio \(github.com\)](https://github.com/gordosaurio); desarrollando proyectos Web y proyectos de transacciones financieras. Es programador de HYPERCORN creando backend, base de datos y frontend. Intereses en programación y arquitectura de software.

Autor de App HYPERSATELLITE

ARQUITECTURA

APP

- ACCESO a la NUBE:
Que opera la API para permitir el acceso desde cualquier parte del mundo. A través de un “Docker” se empaquetan los códigos para correrlos como servicio WEB en AZURE.
- INTERFAZ GRÁFICA:
Para Interacción del usuario en la NUBE de una manera personalizada y simple. Hace parte del FRONT END
- API (interfaz de Programación de aplicaciones):
Devuelve los algoritmos de tal manera que se puedan conectar con interfaces gráficas. Se integra en el BACKEND
- BASE DE DATOS:
En Microsoft SQL para configurar el acceso a los usuarios. Se integra al BACKEND
- ALGORITMOS BÁSICOS:
Programas en Python que hacen parte del desarrollo científico, y son usados por el BACKEND



FastAPI



PYTHON

Versatilidad de la arquitectura



Modelos de machine learning para la estimación de parámetros relevantes en cultivos.



Análisis y procesamiento online de imágenes.



Detección de vegetación, seguimiento de deforestación y evolución de zonas verdes, detección de zonas con agua, seguimiento de emisiones.



Promoción de la conectividad para la gestión agrícola.

Espectroradiómetros (sensores proximales)

MODEL	PSR-1100f	RS-3500	PSR+	RS-8800	NaturaSpec	NaturaSpec Ultra
						
	<ul style="list-style-type: none"> Smallest and lightest portable instrument Spectral range is ideal for vegetation and water analysis Internal memory – no need for external PC to operate Tripod mountable Compatible with all fore optics and accessories 	<ul style="list-style-type: none"> Tried and true full-range model Standard spectral resolution Lightweight and portable for field research Compatible with all fore optics and accessories 	<ul style="list-style-type: none"> Lightest, most portable full-range instrument Internal memory & onboard controls - no need for external PC to operate Option for direct attach lens or fiber optic Tripod mountable Compatible with all fore optics and accessories 	<ul style="list-style-type: none"> Built-in computer with IoT operating system to control instrument with smartphone See field of view in real-time & record GPS, distance to target, solar elevation angle, and capture picture of fov with exclusive accessory Sensaprobe™ Compatible with all fore optics and accessories 	<ul style="list-style-type: none"> Best signal to noise compromise in a field instrument High resolution & sensitivity Better data quality of any field spectrometer The new standard for remote sensing 	<ul style="list-style-type: none"> The highest spectral resolution of any field spectroradiometer Enables field validation and calibration of even the highest resolution hyperspectral cameras and satellites by bringing lab quality hyperspectral data into the field. The optimum instrument to build high-resolution libraries and to push the limits of spectral analysis
Spectral Range	320-1100nm	350-2500nm	350-2500nm	350-2500nm	350-2500nm	350-2500nm
Spectral Resolution	3.0nm@600nm	2.8nm@700nm 8nm@1500nm 6nm@2100nm	2.8nm@700nm 8nm@1500nm 6nm@2100nm	3nm@700nm 8nm@1500nm 6nm@2100nm	2.7nm@700nm 5.5nm@1500nm 5.8nm@2100nm	1.5nm@700nm 3nm@1500nm 3.8nm@2100nm
Detector(s)	512-element Si Array	512-element Si Array Two 256-element TE-cooled InGaAs Arrays	512-element Si Array Two 256-element TE-cooled InGaAs Arrays	512-element Si Array Two 256-element TE-cooled InGaAs Arrays	1024-element UV-enhanced Si Array 512-element TE-cooled InGaAs Array 512-element extended TE-cooled InGaAs Arrays	1024-element UV-enhanced Si Array 512-element TE-cooled InGaAs Array 512-element extended TE-cooled InGaAs Arrays

Espectrómetro OCEAN INSIGHT

Ocean Optics. Espectrómetro SR-4VN500-25. SR4 es altamente configurable, con modelos que cubren diferentes rangos de longitud de onda desde aproximadamente 190-1100 nm y opciones de ranura de entrada en anchos de 5 μm a 200 μm . SR4 demuestra resultados efectivos para aplicaciones que van desde la medición de picos espectrales distintos dentro de plasmas y fuentes de emisión hasta la detección de cambios sutiles en la absorbancia en ADN, proteínas y otras muestras biológicas.



- Rango de longitud de onda: 190nm - 1,04 μm
- Longitud de onda del resplandor: 500 nm
- Resolución óptica: 1,2 nm
- Píxeles: 3648
- Ranura de entrada: 25 μm . Ref:SR-4VN500-25

Ref: SR-4VN500-25

Espectrómetro OCEAN INSIGHT

Ocean Optics. Estándar de reflectancia difusa, PTFE. El WS-1 utiliza un difusor óptico de PTFE, un material lambertiano que se distingue por su acabado blanco mate y una reflectividad >98 % entre 250 y 1500 nm y >95 % entre 250 y 2200 nm. Ref: WS-1.



Espectrómetro OCEAN INSIGHT

Ocean Optics. Fibra óptica resistente a la solarización. Nuestros ensambles de fibra óptica de primera calidad son latiguillos duraderos y de alta calidad que brindan resultados uniformes con una variación mínima de la señal. Los latiguillos de primera calidad actúan como fibras de iluminación y lectura y se conectan fácilmente a los espectrómetros, fuentes de luz y accesorios de muestreo Ocean Insight.



- Rango de longitud de onda: 200 nm - 1,1 µm
- Tamaño del núcleo de fibra: 600 µm
- Longitud: 2 m
- Recubrimiento: acero inoxidable BX

Ref: QP600-2-SR-BX

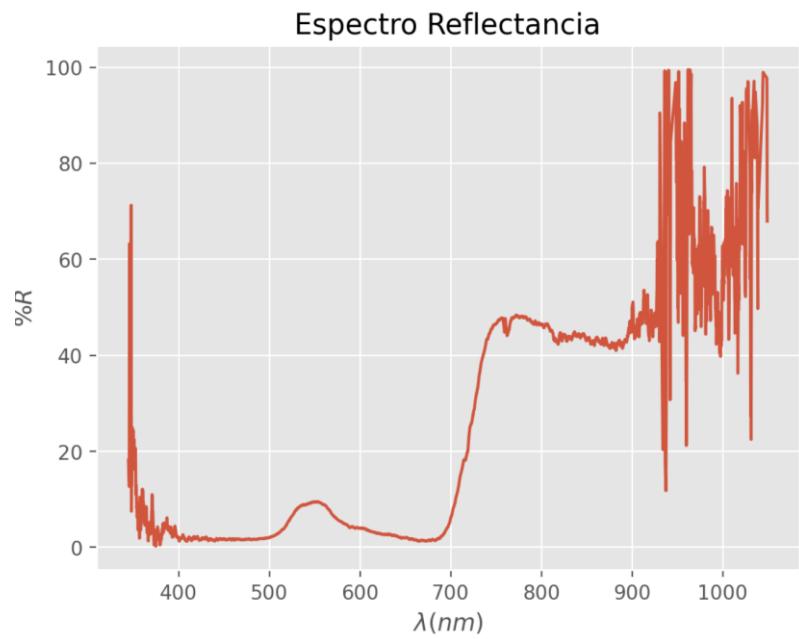
Espectrómetro OCEAN INSIGHT

Ocean Optics. Juego de tubos Gershun. El Gershun Tube Kit es un conjunto óptico que se conecta a un espectrómetro o fibra óptica con terminación SMA 905 para controlar el FOV de la configuración. Cada conjunto comprende una base cónica y cilindros central y externo que se enroscan entre sí. Se pueden instalar aperturas intercambiables por el usuario para ajustar el FOV en diferentes incrementos de 1° a 28°.



- Conector: espectrómetro o fibra óptica con terminación SMA 905
- Material: Aluminio anodizado negro

Ref:GER-KIT

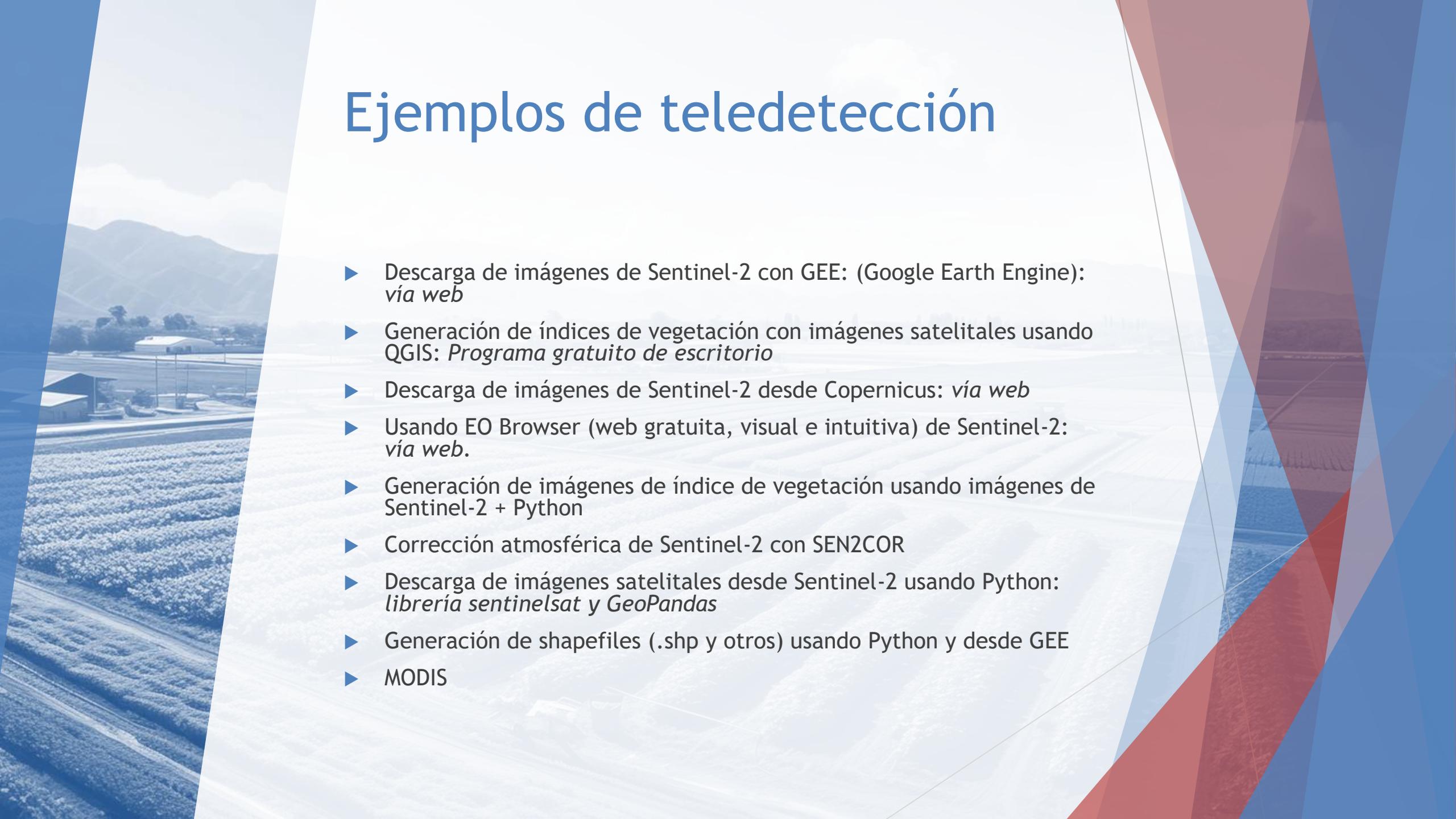


Espectrómetro
OCEAN INSIGHT para
adquisición de
firmas espectrales -
Espectro de
Reflectancia



Ejemplos

Teledetección práctica

The background of the slide features a large, semi-transparent aerial photograph of a rural landscape. It shows a valley with several agricultural fields, some with distinct crop patterns, and a range of mountains in the distance under a clear sky.

Ejemplos de teledetección

- ▶ Descarga de imágenes de Sentinel-2 con GEE: (Google Earth Engine): *vía web*
- ▶ Generación de índices de vegetación con imágenes satelitales usando QGIS: *Programa gratuito de escritorio*
- ▶ Descarga de imágenes de Sentinel-2 desde Copernicus: *vía web*
- ▶ Usando EO Browser (web gratuita, visual e intuitiva) de Sentinel-2: *vía web.*
- ▶ Generación de imágenes de índice de vegetación usando imágenes de Sentinel-2 + Python
- ▶ Corrección atmosférica de Sentinel-2 con SEN2COR
- ▶ Descarga de imágenes satelitales desde Sentinel-2 usando Python: *librería sentinel-sat y GeoPandas*
- ▶ Generación de shapefiles (.shp y otros) usando Python y desde GEE
- ▶ MODIS

Google Earth Engine (GEE)

Descargando Imágenes de Sentinel - 2

Google Earth Engine (GEE) - MISIONES

1. NASA / USGS

- ▶ **Landsat 1-9:** Monitoreo terrestre desde 1972 hasta la actualidad (30 m resolución desde Landsat 4).
- ▶ **MODIS (Terra y Aqua):** Datos globales diarios desde 1999 (250 m - 1 km resolución).
- ▶ **ASTER:** Datos de elevación y multiespectrales (15 m - 90 m).

ESA (Agencia Espacial Europea)

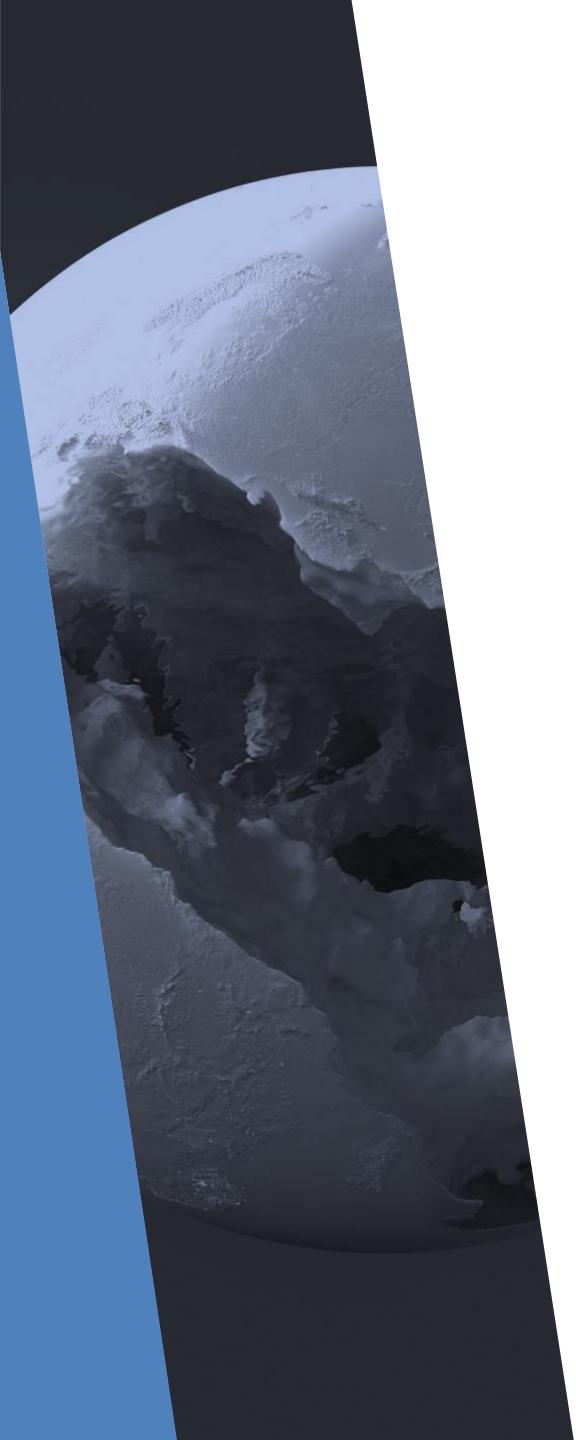
- ▶ **Sentinel-1:** Radar de apertura sintética (SAR), activo, desde 2014.
- ▶ **Sentinel-2:** Imágenes multiespectrales ópticas (10-60 m), desde 2015.
- ▶ **Sentinel-3:** Datos oceánicos y atmosféricos.

Google Earth Engine (GEE)

- ▶ GEE no tiene un número fijo, pero integra datos de más de 40 sensores satelitales diferentes.
- ▶ Puedes acceder a más de 100 datasets satelitales en su catálogo oficial:
<https://developers.google.com/earth-engine/datasets?hl=es-419>

Google Earth Engine (GEE)

Nombre	Agencia	Tipo de sensor	Resolución (m)	Frecuencia	Desde
Landsat 8/9	NASA/USGS	Óptico (OLI/TIRS)	30 (óptico), 100 (TIRS)	Cada 16 días	2013 / 2021
Landsat 7	NASA/USGS	Óptico (ETM+)	30	Cada 16 días	1999
MODIS (Terra/Aqua)	NASA	Óptico / Térmico	250 - 1000	Diaria	1999 / 2002
Sentinel-1	ESA	Radar SAR C-band	10 - 40	Cada 6 días (par)	2014
Sentinel-2	ESA	Óptico multiespectral (MSI)	10 - 60	Cada 5 días	2015
Sentinel-3	ESA	Óptico y térmico	300 - 1200	Diaria	2016
ASTER	NASA/JAXA	Óptico multiespectral	15 - 90	Variable	1999
ALOS-1/2	JAXA	Radar PALSAR L-band	10 - 100	Variable	2006 / 2014
VIIRS	NOAA/NASA	Óptico / Térmico	375 - 750	Diaria	2011
GOES	NOAA	Geoestacionario (óptico)	500 - 1000	Cada 15 min	2016
Himawari-8	JMA	Geoestacionario (óptico)	500 - 2000	Cada 10 min	2015



Descarga de imágenes de Sentinel-2

- ▶ Google Earth Engine (GEE) - Plataforma en la nube, sin necesidad de descargar imágenes.
- ▶ Ventajas: Gratuito
- ▶ Procesamiento en la nube
- ▶ Acceso a todas las imágenes de Sentinel-2 desde 2015
- ▶ Ideal para series temporales o análisis por zonas.
- ▶ Paso a paso para calcular NDVI:
 - ▶ Crea una cuenta: <https://signup.earthengine.google.com>
 - ▶ Abre el Code Editor: <https://code.earthengine.google.com>
 - ▶ Copia y pega este script básico (B4 = Rojo, B8 = Infrarrojo cercano)

Descarga de imágenes de Sentinel-2 (Código en JavaScript)

```
// 1. Define tu zona de estudio (puedes usar un shapefile o
coordenadas)

var zona = ee.Geometry.Rectangle([-75.9, 8.9, -75.8, 9.0]); //  
ejemplo: Cereté, Córdoba
```

```
// 2. Carga colección Sentinel-2

var coleccion = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR')

.filterBounds(zona)
.filterDate('2023-01-01', '2023-12-31')
.filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 10))
.median();
```

```
// 3. Calcula NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)

var ndvi = coleccion.normalizedDifference(['B8',
'B4']).rename('NDVI');
```

```
// 4. Visualización

Map.centerObject(zona, 12);

Map.addLayer(ndvi, {min: -1, max: 1, palette: ['red', 'yellow',
'green']}, 'NDVI');
```

```
// 5. Exportar (opcional)

Export.image.toDrive({
  image: ndvi,
  description: 'NDVI_Sentinel2',
  scale: 10,
  region: zona,
  maxPixels: 1e9
});
```

[1-descargarNDVISentineltoDrive](#)

Descarga de imágenes de Sentinel-2

- ▶ La imagen aparecerá en tu Google Drive 'NDVI_Sentinel2' en formato .tif.
- ▶ Si no la puedes visualizar puedes cargarla en Python.
- ▶ Puedes exportar también bandas individuales (B2, B3, B4, B8...) o mosaicos multibanda.

En Google Earth Engine “COPERNICUS/S2_SR” corresponde al Sentinel-2 L2A con corrección atmosférica aplicada.

Descarga de imágenes de Sentinel-2 (Serie mensual)

```
// 1. Definir el área de interés (puedes usar tus propias
coordenadas o shapefile)

var aoi = ee.Geometry.Rectangle([-75.9, 8.8, -75.7, 9.0]);
// Ejemplo en Córdoba, Colombia

// 2. Definir el rango de fechas (ejemplo: marzo 2024)

var start = '2024-03-01';
var end = '2024-03-31';

// 3. Cargar Sentinel-2 nivel 2A (con corrección
atmosférica)

var s2 = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2_SR")
  .filterDate(start, end)
  .filterBounds(aoi)
  .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 20)); // Ajusta según tolerancia
```

```
// 4. Aplicar máscara de nubes usando SCL que hace
reconstrucción de la escena

function maskClouds(image) {
  var qa = image.select('SLC');
  var cloudBitMask = 1 << 10;
  var cirrusBitMask = 1 << 11;
  var mask = qa.bitwiseAnd(cloudBitMask).eq(0)
    .and(qa.bitwiseAnd(cirrusBitMask).eq(0));
  return image.updateMask(mask).copyProperties(image,
    ["system:time_start"]);
}

var s2Masked = s2.map(maskClouds);
```

Descarga de imágenes de Sentinel-2 (Serie mensual)

```
// 5. Calcular NDVI y renombrar
```

```
var withNDVI = s2Masked.map(function(img) {  
  var ndvi = img.normalizedDifference(['B8',  
    'B4']).rename('NDVI');  
  return img.addBands(ndvi);  
});
```

```
// 6. Crear mosaico mensual (mediana)
```

```
var monthlyNDVI =  
withNDVI.select('NDVI').median().clip(aoi);
```

```
// 7. Visualización en el mapa
```

```
Map.centerObject(aoi, 12);  
  
Map.addLayer(monthlyNDVI, {min: 0, max: 1, palette:  
  ['white', 'green']}, 'NDVI Marzo 2024');
```

```
// 8. Exportar a Google Drive
```

```
Export.image.toDrive({  
  image: monthlyNDVI,  
  description: 'NDVI_Marzo2024_Mombasa',  
  folder: 'GEE_Exports',  
  fileNamePrefix: 'NDVI_Marzo2024',  
  region: aoi,  
  scale: 10,  
  crs: 'EPSG:4326',  
  maxPixels: 1e13  
});
```

2-descargarNDVISentineltoDriveSerieTemp

Como guardar NDVI en formato CSV, no valores nulos por nubosidad

```
// 1. Área funcional cerca de Cereté
var aoi = ee.Geometry.Polygon([
  [-75.811, 8.914],
  [-75.811, 8.902],
  [-75.794, 8.902],
  [-75.794, 8.914]]
]);
Map.centerObject(aoi, 14);
Map.addLayer(aoi, {color: 'red'}, 'AOI Cereté');
```

```
// 2. Función para enmascarar nubes con SCL
function maskCloudsSCL(image) {
  var scl = image.select('SCL');
  var mask = scl.neq(3).and(scl.neq(8))
    .and(scl.neq(9)).and(scl.neq(10))
    .and(scl.neq(11));
  return image.updateMask(mask);
}
```

Como guardar NDVI en formato CSV, no valores nulos por nubosidad

```
// 3. Cargar Sentinel-2 SR y calcular NDVI
var s2 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR')
    .filterBounds(aoi)
    .filterDate('2023-01-01', '2023-12-31')
    .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 30))
    .map(maskCloudsSCL)
    .map(function(img) {
        var ndvi = img.normalizedDifference(['B8', 'B4']).rename('NDVI');
        return img.addBands(ndvi);
    });
// 4. Calcular NDVI mensual solo si hay imágenes
var months = ee.List.sequence(1, 12);

var ndviByMonth = months.map(function(m) {
    var monthly = s2.filter(ee.Filter.calendarRange(m, m, 'month'));
    var count = monthly.size();
```

Como guardar NDVI en formato CSV, no valores nulos por nubosidad

```
// Solo continúa si hay imágenes en ese mes
return ee.Algorithms.If(
  count.gt(0),
  ee.Feature(null, {
    'mes': m,
    'NDVI': monthly.select('NDVI').mean()
      .reduceRegion({
        reducer: ee.Reducer.mean(),
        geometry: aoi,
        scale: 10,
        maxPixels: 1e13
      }).get('NDVI')
  }),
  null
);

// 5. Filtrar valores nulos
var ndviFeatures =
  ee.FeatureCollection(ndviByMonth).filter(ee.Filter.notNull(['NDVI']));
// 6. Exportar a CSV
Export.table.toDrive({
  collection: ndviFeatures,
  description: 'NDVI_Cerete_2023_OK',
  fileFormat: 'CSV'
});

3-DescargaejemploCSV2NoNulo
```

Generación Índices de Vegetación con QGIS

Programa gratuito de escritorio para análisis de imágenes satelitales

Generación de Índices de Vegetación con QGIS

Opción 2: QGIS con el plugin Semi-Automatic Classification (SCP)

Ventajas:

- No necesitas programación
- Puedes trabajar sin conexión
- Permite clasificaciones, índices e incluso análisis multitemporales

Paso a paso:

1. **Instala QGIS** (si no lo tienes):
<https://qgis.org>
2. **Activa el plugin SCP:**
 1. Ve a *Complementos > Administrar e instalar complementos*
 2. Busca **Semi-Automatic Classification Plugin** e instálalo

Generación de Índices de Vegetación con QGIS

1. Descarga imágenes Sentinel-2 desde el plugin o desde:
 1. <https://dataspace.copernicus.eu>
2. Carga las bandas necesarias (B4 y B8)
3. Calcula el NDVI:
 1. En SCP > *Preprocessing* > *Band set*
 2. Define las bandas
 3. Luego, ve a *Band calc* y usa la fórmula:
$$(B8 - B4) / (B8 + B4)$$

(OPCIÓN 1: ¡Continuamos y volvemos para hacer este proceso!).

Descarga de imágenes satelitales desde Copernicus

Copernicus es una base de datos web desde donde se descargan imágenes del satélite Sentinel-2

¿Cómo descargar desde Copernicus?

1. Entra al portal

- Ve a: <https://dataspace.copernicus.eu/>
- Inicia sesión o crea una cuenta gratuita (necesario para descargar datos) (SENTINEL HUB → Copernicus Browser).

2. Buscar tu área de interés

- Usa el mapa para acercarte a **Cereté, Colombia** (o la zona que deseas).
- Dibuja un polígono o cuadrado sobre el área de interés.

¿Cómo descargar desde Copernicus?

3. Filtrar la búsqueda

- En el panel izquierdo:
 - Producto: selecciona **Sentinel-2 L2A** (procesado al nivel de superficie con corrección atmosférica).
 - Fecha: selecciona el rango deseado (por ejemplo: 2023-06-01 a 2023-06-30).
 - Nubes: ajusta a < 20% o el umbral que prefieras.
 - Haz clic en "Search".

¿Cómo descargar desde Copernicus?

4. Seleccionar una imagen

- Revisa las imágenes encontradas.
- Haz clic en una con baja nubosidad y buena cobertura de tu zona.

5. Descargar el producto

- Haz clic en el botón de descarga:
 - Puedes elegir el producto completo (aprox. 1 GB) o sólo algunas bandas.



Como descargar las bandas B4 y B8 (imágenes satelitales) descargadas desde Copernicus

- Una vez descargado el producto ZIP completo:
- Opción A: Extraer manualmente
- Descomprime el archivo.
- Entra a la carpeta: GRANULE > L2A_Tile_Code > IMG_DATA
- Busca los archivos:
 - Txxxxyy_YYYYMMDDTxxxx_B04_10m.jp2 (B4)
 - Txxxxyy_YYYYMMDDTxxxx_B08_10m.jp2 (B8)
- Puedes abrirlos en QGIS, SNAP o Python (usa rasterio o gdal).
- Opción B: Usar SNAP (opcional! Se verá luego)
- Abre el archivo ZIP directamente en SNAP.
- Visualiza y exporta las bandas deseadas como GeoTIFF.

Generación Índices de Vegetación con QGIS usando archivos .jp2

Programa gratuito de escritorio para análisis de imágenes satelitales

CÓMO CALCULAR NDVI EN QGIS USANDO ARCHIVOS .jp2

1. Abrir QGIS

Asegúrate de tener instalada la versión más reciente de QGIS (preferiblemente 3.22 o superior).

2. Cargar las bandas B4 y B8

Ve a "Capa" > "Añadir capa" > "Añadir capa ráster".

Selecciona el archivo .jp2 correspondiente a la banda B4 (típicamente tiene B04_10m.jp2 en el nombre).

Repite para la banda B8 (B08_10m.jp2).

Verás dos capas separadas en el panel de capas.

3. Asegúrate de que tengan la misma resolución y alineación

Las bandas de Sentinel-2 a 10m suelen coincidir directamente, pero puedes verificarlo:

Haz clic derecho en cada banda > Propiedades > pestaña Información.

Asegúrate de que tengan la misma resolución espacial, sistema de coordenadas y tamaño.

CÓMO CALCULAR NDVI EN QGIS USANDO ARCHIVOS .jp2

4. Calcular NDVI con la Calculadora ráster

Ve a "Procesos" > "Calculadora ráster" o presiona Ctrl+R. (OPCIÓN 2)

1. Asigna un nombre a la capa de salida, por ejemplo: ndvi.tif.
2. En la parte inferior, selecciona el lugar para guardar el archivo.
3. En la expresión, escribe en texto plano en “” los nombres de los archivos
("B8@1" - "B4@1") / ("B8@1" + "B4@1")

Donde:

"B8@1" es el nombre de la capa de la banda 8 (puede llamarse distinto, revisa el nombre exacto en el panel).

"B4@1" es el nombre de la banda 4.

Si los nombres son diferentes (por ejemplo: B08_10m@1), usa esos nombres exactos.



CÓMO CALCULAR NDVI EN QGIS USANDO ARCHIVOS .jp2

Haz clic en Aceptar.

5. Visualiza y colorea el NDVI

- 1.Una vez generado, carga el archivo ndvi.tif.
- 2.En el panel de capas, haz clic derecho > Propiedades > pestaña Simbología.
- 3.Cambia el tipo a "Renderizado en pseudocolor" y aplica una rampa de color (verde - amarillo - rojo, por ejemplo).
- 4.Ajusta los valores mínimo y máximo a los esperados (por ejemplo: -1 a 1).

EO Browser de Sentinel-2

(web gratuita (limitada), visual e intuitiva)

Usando EO Browser de Sentinel-2

Ingreso

- Ve a: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser>

Pasos (EXPIRA EN 30 DIAS)

1. **Sentinel2 Dashboard -> EO Browser.** Selecciona tu zona de interés (puedes buscar "Cereté, Colombia" si es tu caso).
2. Escoge el satélite: **Sentinel-2 L2A** (ya corregido atmosféricamente).
3. Define el **rango de fechas** (últimos días/semanas).
4. En "Visualizations", selecciona:
 1. **True Color** para ver imagen natural
 2. **NDVI** para salud vegetal
 3. Puedes crear visualizaciones personalizadas
5. Haz clic en "**Compare**" para ver diferencias entre fechas.
6. Puedes descargar las imágenes o datos NDVI como PNG, GeoTIFF o CSV.

Generación de imágenes de índice de vegetación usando imágenes de Sentinel-2 + Python

(con Google Earth Engine o descarga directa desde Copernicus)

Librerías de Python para procesamiento de imágenes satelitales

1. *rasterio*:

Propósito: Lectura, escritura y análisis de datos ráster (como imágenes satelitales).

Formatos comunes: GeoTIFF, JPEG2000, entre otros.

Usos típicos:

- ▶ Extraer valores de píxeles.
- ▶ Leer metadatos geoespaciales.
- ▶ Recortar, reproyectar y combinar bandas.

Que son los datos ráster

Los **datos raster** son un tipo de datos geoespaciales representados en forma de **rejilla de celdas o píxeles**, donde cada celda tiene un **valor numérico** que representa información sobre una característica del territorio en esa ubicación específica.

- ▶ Color (en imágenes satelitales RGB)
- ▶ Temperatura
- ▶ Altura o elevación (DEM)
- ▶ Índice de vegetación (NDVI, SAVI, etc.)

Estructura de un dato ráster

Elemento	Descripción
Píxel	Unidad mínima, cuadrada. Tiene una dimensión espacial (por ejemplo, 10 m).
Resolución	Tamaño real que representa cada píxel en el terreno.
Bandas	Capas del ráster que contienen distintos tipos de información (ej. R, G, B, NIR u otra banda).
Valor	Número o categoría almacenada en cada píxel. Puede ser real, entero o clase. Se refiere al DN

¿Qué representan los datos ráster?

Tipo de ráster	¿Qué representa cada píxel?	Ejemplo
Imágenes satelitales	Intensidad de luz reflejada en diferentes bandas	Sentinel-2, Landsat
Modelos de elevación (DEM)	Altura del terreno sobre el nivel del mar	SRTM, ASTER
Índices de vegetación	Cálculo como NDVI, NDRE, etc.	NDVI generado a partir de bandas
Mapas de temperatura	Temperatura de la superficie o del aire	Datos térmicos
Clasificaciones de uso suelo	Categoría del uso o cobertura del suelo	Bosque, cultivo, agua, etc.

Características de los datos raster

- ▶ Resolución espacial: Tamaño del píxel en el terreno. Ej: 10 m (cada píxel representa un área de 10x10 m).
- ▶ Extensión: Área total que cubre la imagen.
- ▶ Sistema de referencia: Información geográfica como UTM o WGS84.
- ▶ Formato común: .tif (GeoTIFF), .img, .asc, etc.

Comparación de datos Raster y Datos Vectoriales

Atributo	Datos Raster	Datos Vectoriales
Forma de almacenamiento	Matriz de valores (rejilla)	Puntos, líneas y polígonos (geometrías)
Ejemplo	Imagen satelital NDVI	Shapefile de parcelas o caminos
Ideal para	Datos continuos (vegetación, elevación)	Datos discretos (parcelas, ríos, árboles)

¿Qué es un GeoTIFF?

- ▶ Un GeoTIFF es un archivo .tif o .tiff que no solo contiene una imagen raster, sino también metadatos que describen cómo esa imagen se ubica en el espacio geográfico.

Contenido de un archivo GeoTIFF

Elemento	Descripción
Imagen raster	Datos en píxeles (ej. valores de NDVI, elevación, reflectancia, etc.)
Sistema de coordenadas	Proyección y sistema geodésico (ej. WGS 84, UTM)
Referencia espacial	Coordenadas del borde superior izquierdo y resolución (tamaño del píxel)
Metadata adicional	Nombre del satélite, fecha, bandas, estadísticas, etiquetas, etc.

Formatos comparables con GeoTIFF para almacenar datos ráster georreferenciados

Formato	Descripción breve	Georreferencia	Multibanda	Compresión	Compatibilidad
GeoTIFF	TIFF con metadatos espaciales incrustados	<input checked="" type="checkbox"/> Sí	<input checked="" type="checkbox"/> Sí	<input checked="" type="checkbox"/> Opcional	<input checked="" type="checkbox"/> Muy alta
JPEG2000 (JP2)	Imagen comprimida con soporte de geolocalización	<input checked="" type="checkbox"/> Sí	<input checked="" type="checkbox"/> Sí	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	 Media
NetCDF (.nc)	Formato científico multidimensional (tiempo, espacio, altura, etc.)	<input checked="" type="checkbox"/> Sí	<input checked="" type="checkbox"/> Sí	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	 Técnica (más en ciencia climática)
HDF5 (.h5/.hdf)	Formato jerárquico para grandes volúmenes de datos científicos (ej. MODIS)	<input checked="" type="checkbox"/> Sí	<input checked="" type="checkbox"/> Sí	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	 Técnica
ENVI .hdr/.dat	Propio del software ENVI (metadatos separados en archivo .hdr)	<input checked="" type="checkbox"/> Sí	<input checked="" type="checkbox"/> Sí	 No	 Parcial (mejor en ENVI/IDL)
IMG (ERDAS Imagine)	Formato raster usado por ERDAS Imagine	<input checked="" type="checkbox"/> Sí	<input checked="" type="checkbox"/> Sí	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	 Alta solo en software ESRI/ERDAS
Cloud Optimized GeoTIFF (COG)	Variante de GeoTIFF para la nube, accesible por partes	<input checked="" type="checkbox"/> Sí	<input checked="" type="checkbox"/> Sí	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Muy alta (especialmente en GEE, Python)

Usos de los formatos geoespaciales

Uso principal	Formato recomendado
Visualización + análisis GIS	GeoTIFF, COG
Grandes volúmenes en clima/suelo	NetCDF, HDF5
Intercambio web / servicios WMS	JPEG2000, COG
Procesamiento remoto / cloud	COG, NetCDF
Análisis en ENVI	.hdr + .dat

WGS84 - Sistema de Coordenadas Geográficas (*World Geodetic System 1984*)

Elemento	Descripción
Tipo de sistema	Geográfico (usa latitud y longitud)
Unidades	Grados decimales ($^{\circ}$), minutos ('), segundos (")
Cobertura	Global
Representación	(latitud, longitud) Ej: (8.755 $^{\circ}$, -75.881 $^{\circ}$)
Datum	Basado en un elipsoide global, con centro en el centro de la Tierra
Uso común	GPS, mapas web (Google Maps, GEE, Leaflet), sensores satelitales

Ejemplo de un WGS84

- ▶ Coordenadas de Montería:
Latitud: 8.75° N
Longitud: 75.88° W
Sistema: EPSG:4326

UTM - Universal Transverse Mercator: *Sistema Universal de Coordenadas Transversales de Mercator*

Elemento	Descripción
Tipo de sistema	Proyectado (plano/cartesiano)
Unidades	Metros
Cobertura	Divide el mundo en 60 zonas de 6° de ancho cada una
Representación	(Este, Norte, Zona) Ej: (795412, 968713, Zona 18N)
Datum común	Generalmente usa WGS84 , pero también puede usar otros
Uso común	Cartografía de precisión, topografía, teledetección, SIG locales

Ejemplo

- ▶ Coordenadas UTM de Montería (aprox.):
Este (Easting): 795412 m
Norte (Northing): 968713 m
Zona: 18N
Sistema: EPSG:32618 (WGS84 + UTM zona 18N)

Comparación entre WGS84 Vs. UTM

Característica	WGS84	UTM
Tipo	Geográfico (esférico)	Proyectado (plano)
Coordenadas	Latitud, Longitud	Este (X), Norte (Y), Zona
Unidades	Grados	Metros
Sistema	EPSG:4326	EPSG:32618
Precisión local	Menor	Mayor (útil para distancias/áreas)
Aplicaciones	Navegación global, web	SIG de precisión, mapas impresos

¿Cómo usar uno u otro?

¿Qué estás haciendo?

Visualizar datos globales o usar GPS

Calcular áreas, distancias en metros,
topografía

Trabajar en Google Earth Engine o
mapas web

Hacer un análisis SIG local con precisión

Recomendado

WGS84

UTM

WGS84

UTM

Sistemas adoptados por países

País / Región	Sistema común	EPSG u observación
Colombia	MAGNA-SIRGAS	EPSG:4686 (geográfico), EPSG:9377-9382 (proyectados por zonas UTM)
España	ETRS89 + UTM	EPSG:25828-25831 según zona
Brasil	SIRGAS 2000	EPSG:4674 o proyectado EPSG:31981-31999
Chile	PSAD56 / SIRGAS-Chile	EPSG:24891 o EPSG:5361
México	ITRF92 o NAD27/NAD83 local	Varía por región
Argentina	POSGAR94 / POSGAR07	EPSG:5347-5356
Francia	Lambert 93	EPSG:2154

Cómo identificar un sistema de coordenadas



A través de su **EPSG** (European Petroleum Survey Group), un número único de referencia.



En QGIS o ArcGIS, puedes buscar estos sistemas por nombre o EPSG.



En Python puedes usar pyproj, rasterio, o geopandas para trabajar con sistemas de coordenadas.

Librerías de Python para procesamiento de imágenes satelitales

2. *Shapely*

- ▶ Propósito: Geometría y operaciones espaciales puras (sin datos)
- ▶ Usos típicos:
 - ▶ Crear puntos, líneas, polígonos.
 - ▶ Calcular distancias, áreas, intersecciones.

Librerías de Python para procesamiento de imágenes satelitales

3. *fiona*:

- ▶ Propósito: Entrada/salida de archivos vectoriales geográficos (como shapefiles).
- ▶ Usos típicos: Trabajar directamente con estructuras tipo diccionario para archivos .shp

Librerías de Python para procesamiento de imágenes satelitales

4. SentinelSat

- ▶ Propósito: Búsqueda y descarga de imágenes Sentinel desde Copernicus Open Access Hub.
- ▶ Útil para: Automatizar adquisición de datos satelitales.

Librerías de Python para procesamiento de imágenes satelitales

5. *scikit-image o opencv*:

- ▶ Propósito: Procesamiento de imágenes (aplica también para imágenes satelitales).
- ▶ Usos: Mejora de contraste, filtrado.
- ▶ Clasificación por píxel, segmentación.

Instalar en Visual Studio Code las siguientes librerías

```
pip install rasterio geopandas shapely fiona pyproj xarray rioxarray earthpy
```

Programas - Python

Conversores de sistemas geográficos, generación de índices de vegetación usando datos satelitales.

Ejemplo conversión WGS84 (lat/lon) a UTM zona 18N (EPSG:32618)- Python con pyproj

```
from pyproj import Transformer

# Define el transformador de WGS84 a UTM zona 18N
transformer = Transformer.from_crs("EPSG:4326", "EPSG:32618",
    always_xy=True)

# Coordenadas de ejemplo (longitud, latitud)
lon, lat = -75.88, 8.75

# Convertir a UTM
easting, northing = transformer.transform(lon, lat)
print(f"UTM: Este = {easting:.2f}, Norte = {northing:.2f}")
```

Ejemplo conversión inverso UTM a WGS84 con Python con pyproj

```
# Transformador inverso
transformer_inv = Transformer.from_crs("EPSG:32618", "EPSG:4326",
always_xy=True)

# Coordenadas UTM
e, n = 795412, 968713

# Convertir a lat/lon
lon, lat = transformer_inv.transform(e, n)
print(f"WGS84: Lat = {lat:.6f}, Lon = {lon:.6f}")
```

Usando geopandas y shapely - ejemplo de transformación de un punto

```
import geopandas as gpd
from shapely.geometry import Point

# Crear un GeoDataFrame con sistema WGS84
gdf = gpd.GeoDataFrame(geometry=[Point(-75.88, 8.75)],
crs="EPSG:4326")

# Convertir a UTM zona 18N
gdf_utm = gdf.to_crs("EPSG:32618")

print(gdf_utm)
```

Generación de imágenes de índice de vegetación usando imágenes de Sentinel-2 + Python

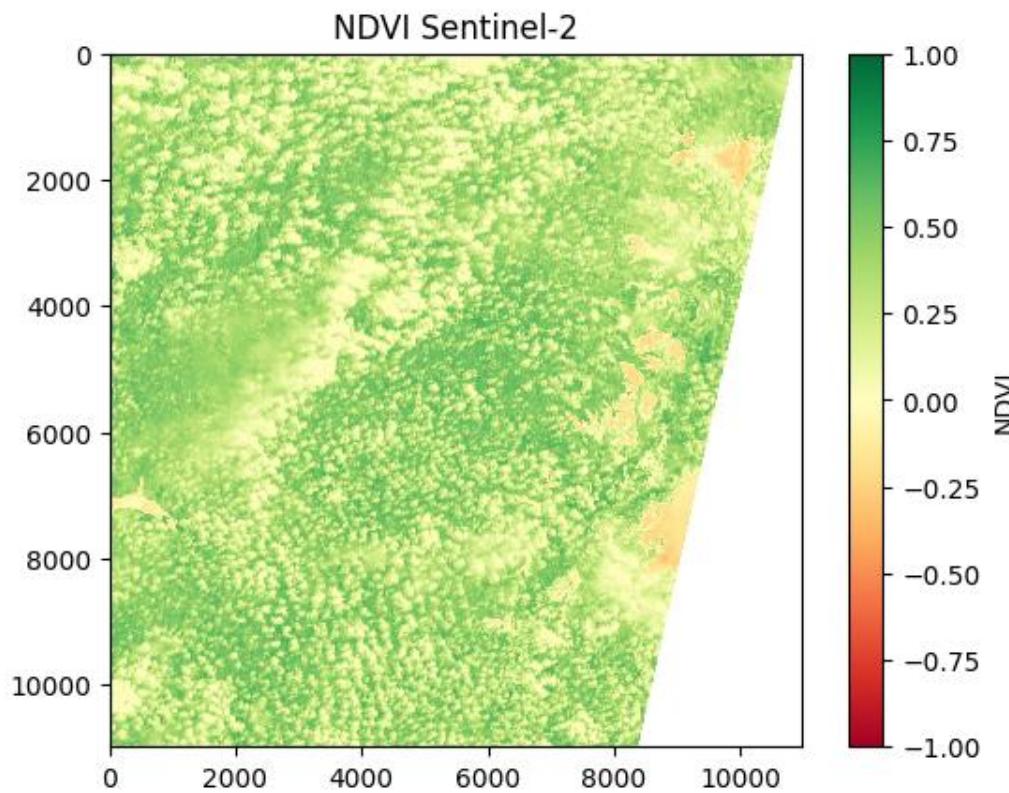
```
import rasterio  
import numpy as np  
import matplotlib.pyplot as plt  
# Carga de bandas NIR (B8) y RED (B4)  
with rasterio.open('B08_10m.jp2') as nir:  
    nir_band = nir.read(1).astype('float32')  
with rasterio.open('B04_10m.jp2') as red:  
    red_band = red.read(1).astype('float32')
```

```
# Cálculo NDVI  
ndvi = (nir_band - red_band) / (nir_band + red_band)  
ndvi = np.clip(ndvi, -1, 1)
```

```
# Visualización  
plt.imshow(ndvi, cmap='RdYlGn')  
plt.colorbar(label='NDVI')  
plt.title('NDVI Sentinel-2')  
plt.show()
```

2-NDVI_Satellite

Resultado de calculo de imagen de índice de vegetación NDVI



Programa 2 - Python

Generación de índices de vegetación usando datos satelitales

Análisis NDVI con Python y Sentinel-2 L2A

```
import rasterio
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from glob import glob

# Ruta a las bandas de una
# imagen Sentinel-2 L2A
ruta_b4 = 'B04_10m.jp2'
ruta_b8 = 'B08_10m.jp2'

# Abrir las bandas
with rasterio.open(ruta_b4) as src_red:
    red =
        src_red.read(1).astype('float32')
    perfil = src_red.profile
    nodata = src_red.nodata

    with
        rasterio.open(ruta_b8) as src_nir:
            nir =
                src_nir.read(1).astype('float32')
```

Análisis NDVI con Python y Sentinel-2 L2A

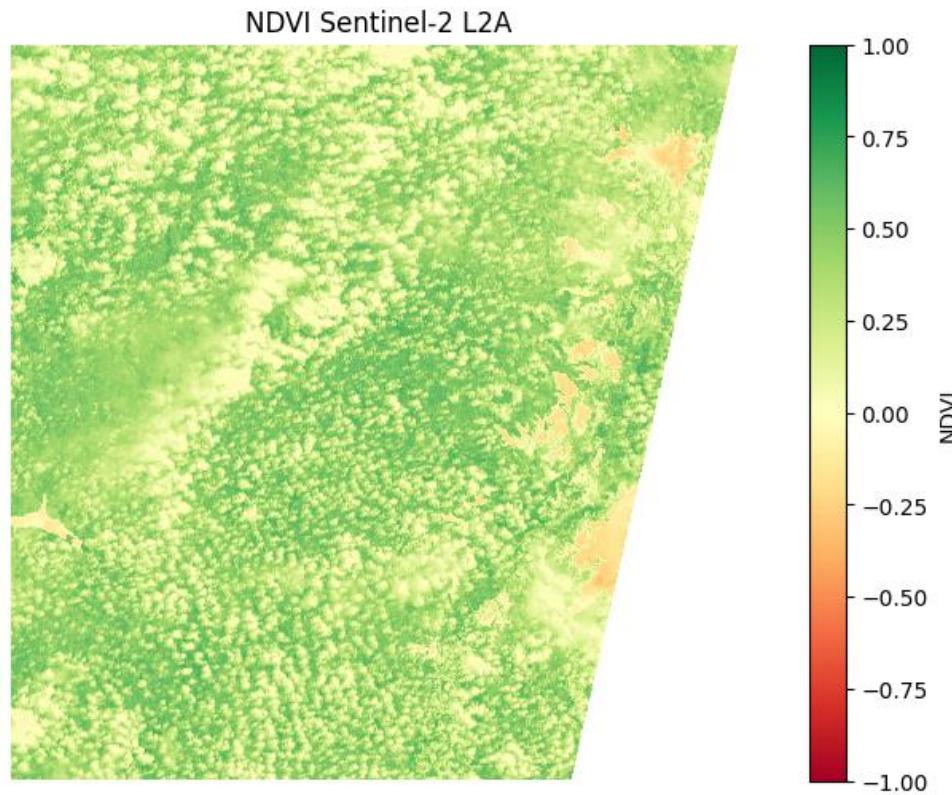
```
# Manejo de nodata y cálculo  
# del NDVI  
ndvi = np.where(  
    (nir + red) == 0,  
    np.nan,  
    (nir - red) / (nir +  
    red)  
)  
  
# Actualizar el perfil para  
# guardar el NDVI  
perfil.update(dtype='float32'  
, count=1, nodata=np.nan)  
  
# Guardar NDVI como GeoTIFF  
ndvi_scaled = ((ndvi + 1) *  
    10000).astype('uint16') #  
    NDVI [-1,1] → [0, 20000]  
perfil.update(dtype='uint16'  
, count=1)  
  
with  
    rasterio.open('NDVI.jp2',  
    'w', **perfil) as dst:  
    dst.write(ndvi_scaled,  
    1)
```

Análisis NDVI con Python y Sentinel-2 L2A

```
# Visualización
plt.figure(figsize=(10, 6))
ndvi_plot = plt.imshow(ndvi, cmap='RdYlGn', vmin=-1, vmax=1)
plt.colorbar(ndvi_plot, label='NDVI')
plt.title('NDVI Sentinel-2 L2A')
plt.axis('off')
plt.show()
```

3-NDVI_SatelliteV2

Resultado de la ejecución del código



Corrección atmosférica

Con Sen2Cor y SNAP

¿Qué es SEN2Cor?

- La corrección atmosférica con **Sen2Cor** es un proceso que elimina los efectos de la atmósfera (como vapor de agua, aerosoles, gases) en imágenes del satélite Sentinel-2, para obtener reflectancia de superficie (BOA - Bottom of Atmosphere) en lugar de reflectancia en la parte superior de la atmósfera (TOA).
- Sen2Cor es un software oficial de ESA (Agencia Espacial Europea) que convierte productos Sentinel-2 L1C (TOA) en L2A (BOA)
- Google Earth Engine (COPERNICUS/S2_SR), OpenEO, EO Browser y MAAP ya incluyen productos L2A generados con **Sen2Cor**.
- Mejora la precisión radiométrica para cálculos como NDVI (basados en reflectancia), clasificación de cobertura, o modelos de regresión espectral.
- Es esencial cuando necesitas comparabilidad entre fechas, sensores o zonas geográficas.

Las imágenes de Sentinel 2 (L2A) corregidas atmosféricamente

Producto	Tipo de imagen	Corrección atmosférica
L1C	Reflectancia TOA	 No
L2A (con Sen2Cor)	Reflectancia BOA	 Sí (con Sen2Cor)

Corrección atmosférica de Sentinel-2 con SEN2COR

Requisitos previos

1. **Imagen Sentinel-2 nivel 1C** (formato .SAFE) descargada de Copernicus Open Access Hub.
2. Instalación de **SNAP Toolbox** (gratuito) en la web:
https://download.esa.int/step/snap/12.0/installers/esa-snap_all_windows-12.0.0.exe
4. Descargar el plugin en (OPCIÓN 1):
<https://step.esa.int/main/snap-supported-plugins/sen2cor/>
3. Instalación del **plugin Sen2Cor** desde SNAP directamente.



Paso a paso para modulo de corrección atmosférica de imágenes de Sentinel

1. Instala SNAP y Sen2Cor

- Abre SNAP.
- Ve a: Tools > Plugins.
- En la pestaña **Available Plugins**, busca y selecciona **Sen2Cor**.
- Instálalo y reinicia SNAP.

2. Abre la imagen Sentinel-2

- Ve a File > Open Product y selecciona el archivo .xml dentro de la carpeta .SAFE de tu producto nivel 1C.

Paso a paso para modulo de corrección atmosférica de imágenes de Sentinel

3. Ejecuta Sen2Cor

- Una vez cargada la imagen, ve a:
Optical > Thematic Land Processing > Sen2Cor.
- En el cuadro de diálogo:
 - Selecciona el producto.
 - Configura la altura del terreno si es conocida (~50 m para regiones planas, ~200 m si hay colinas o árboles altos).
 - Verifica las opciones de salida (Reflectancia de superficie, mapas de nubes, etc.).

4. Procesamiento

- Sen2Cor generará un producto **nivel 2A**, con reflectancia corregida atmosféricamente.
- El archivo estará en una nueva carpeta con sufijo _L2A.

¿Qué obtienes con el producto L2A?

- Reflectancia de superficie por banda (corregida atmosféricamente).
- Máscaras de **nubes**, sombras, niebla y **clasificación del terreno**.
- Preparado para cálculo de índices como **NDVI**, **NDRE**, **SAVI**, y comparación multitemporal.

Estructura de un producto L2A

- ▶ S2A_MSIL2A_20240514T151651_N0500_R125_T18NUC_20240514T202321.SAFE/
- ▶ |
- ▶ └── GRANULE/
- ▶ └── HTML/
- ▶ └── AUX_DATA/
- ▶ └── DATASTRIP/
- ▶ └── IMG_DATA/ ← Aquí están los archivos JP2 por banda (reflectancia)

Cálculo de NDVI en SNAP (interfaz gráfica)

Requisitos:

- Tener instalada SNAP.
- Haber realizado la **corrección atmosférica** con Sen2Cor.

Pasos:

1. **Abre el producto L2A** (reflectancia de superficie).
2. Ve a Raster > Band Maths.
3. Crea una nueva banda llamada NDVI.
4. En la expresión, escribe:

Cálculo de NDVI en SNAP (interfaz gráfica)

B8 = Banda NIR (842 nm)

B4 = Banda Roja (665 nm)

Asegúrate de marcar:

- Virtual Band = No
- Save to Product = Sí

Da clic en **OK** → SNAP genera el NDVI como una nueva banda.

Puedes visualizarlo, exportarlo a GeoTIFF, o recortarlo por polígonos

Descarga de imágenes satelitales desde Sentinel-2 usando Python

Usando las librerías sentinelsat, geopandas

Descarga de Imágenes satelitales usando la librería *sentinelsat*

```
from sentinelsat import SentinelAPI, geojson_to_wkt
from datetime import date
import geopandas as gpd

# --- CREDECIALES DE ACCESO AL PORTAL COPERNICUS ---
# Puedes registrarte gratis en:
'https://scihub.copernicus.eu/dhus'

api = SentinelAPI('usuario', 'contraseña',
'https://apihub.copernicus.eu/apihub')

# --- LEER SHAPEFILE DE TU ÁREA DE INTERÉS (AOI) ---
gdf = gpd.read_file('parcelas.shp')
aoi = geojson_to_wkt(gdf.__geo_interface__)

# --- BÚSQUEDA DE PRODUCTOS SENTINEL-2 ---
products = api.query(
    area=aoi,
    date=('20240101', '20240531'), # Rango de fechas:
    # enero a mayo de 2024
    platformname='Sentinel-2',
    producttype='S2MSI2A',          # L2A: corrección
    atmosferica incluida
    cloudcoverpercentage=(0, 20)   # Máximo 20% de nubes
)

# --- IMPRIMIR RESULTADOS ---
print(f"{len(products)} productos encontrados.")
```

Creación de archivos shapefile

```
# Opcional: mostrar info básica de  
los productos  
  
for product_id, product_info in  
products.items():  
  
    print(f"{product_info['title']} -  
{product_info['beginposition']} -  
{product_info['cloudcoverpercentage']}% nubes")  
  
los criterios.")
```

```
# --- DESCARGA DEL PRIMER PRODUCTO --  
-  
  
# Descargará un archivo .zip en el  
directorio actual  
  
if products:  
    first_product_id =  
    list(products.keys())[0]  
    api.download(first_product_id)  
else:  
    print("No se encontraron imágenes  
que cumplan
```

20-SentinelSaT_Descarga

Creación de shapefiles

Usando las librerías sentinelst, geopandas, Python y GEE

Creación de archivos shapefile

```
import geopandas as gpd
from shapely.geometry import Polygon

# Coordenadas de ejemplo (LONGITUD, LATITUD)
# - ordenadas en sentido horario
coords = [
    (-75.883, 8.883), # Esquina inferior izquierda
    (-75.870, 8.883), # Esquina inferior derecha
    (-75.870, 8.890), # Esquina superior derecha
    (-75.883, 8.890), # Esquina superior izquierda
    (-75.883, 8.883) # Cerrar el polígono (igual al primer punto)
]
```

```
# Crear el polígono
polygon = Polygon(coords)

# Crear GeoDataFrame con el polígono
gdf = gpd.GeoDataFrame({'id': [1]},
                       geometry=[polygon], crs='EPSG:4326')

# Guardar como shapefile
gdf.to_file('aoi_parcela.shp')

print("Shapefile 'aoi_parcela.shp' generado con éxito.")
```

¿Qué archivos se generan?

aoi_parcela.shp

aoi_parcela.shx

aoi_parcela.dbf

aoi_parcela.cpg

Puedes abrirlo en **QGIS**, **ArcGIS** o usarlo directamente en Python, aunque el mas común es el .shp.

Como generar shapefiles:

- ▶ Desde Google Earth o Google Maps: haz clic derecho sobre la zona → "¿Qué hay aquí?".
- ▶ Desde QGIS: dibuja el polígono con la herramienta de edición y expórtalo como .shp.
- ▶ Desde Sentinel Hub EO Browser: exporta un polígono en formato GeoJSON o KML y conviértelo.

Generar polígonos en GGE

```
// Tu polígono dibujado llamado 'aoi'  
print('Coordenadas del polígono:', aoi.coordinates());  
  
// Exportar el polígono como shapefile (Table)  
Export.table.toDrive({  
  collection: ee.FeatureCollection([ee.Feature(aoi)]),  
  description: 'exportar_aoi',  
  fileFormat: 'SHP'  
});
```

Conversión de GeoJSON a shapefile

```
import geopandas as gpd

# Leer archivo GeoJSON
gdf = gpd.read_file("mi_area.geojson")

# Exportar como Shapefile
gdf.to_file("mi_area_convertido.shp")

print("Conversión GeoJSON → Shapefile completada.")
```

Convertir de KML a Shapefile

- ▶ import geopandas as gpd
- ▶ # Leer archivo KML (requiere habilitar el driver)
- ▶ gdf = gpd.read_file("mi_area.kml", driver='KML')
- ▶ # Exportar como Shapefile
- ▶ gdf.to_file("mi_area_convertido.shp")
- ▶ print("Conversión KML → Shapefile completada.")

Convertir de GPX a Shapefile

```
import geopandas as gpd

# Leer tracks del GPX
gdf = gpd.read_file("mi_ruta.gpx", layer='tracks') # Puedes cambiar a 'waypoints',
'routes'

# Exportar como Shapefile
gdf.to_file("mi_ruta_convertido.shp")

print(" Conversión GPX → Shapefile completada.")
```

¿Cómo se consiguen estos archivos?

- **GeoJSON:** Puedes exportarlos desde <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser> o geojson.io.
- **KML/GPX:** Puedes obtenerlos desde Google Earth o aplicaciones de GPS como Garmin o Strava.

En Google Earth Engine (GEE) código de Java

```
// Tu polígono dibujado llamado 'aoi'  
print('Coordenadas del polígono:', aoi.coordinates());  
  
// Exportar el polígono como shapefile (Table)  
Export.table.toDrive({  
  collection: ee.FeatureCollection([ee.Feature(aoi)]),  
  description: 'exportar_aoi',  
  fileFormat: 'SHP'  
});
```

En Google Earth Engine (GEE)

- ▶ Exporta el área que dibujaste (Hacer click en Task que esta en amarillo)
- ▶ Recuerda que los archivos se exportan a tu Drive de Google
- ▶ Descarga un .zip con archivos shapefile (.shp, .shx, .dbf, etc.).
- ▶ Puedes usarlo directamente con geopandas, sentinel, o en QGIS.

- ▶ Recuerda que estos archivos se generan en GEE:
<https://code.earthengine.google.com>

MODIS

Imágenes satelitales de alta resolución espectral

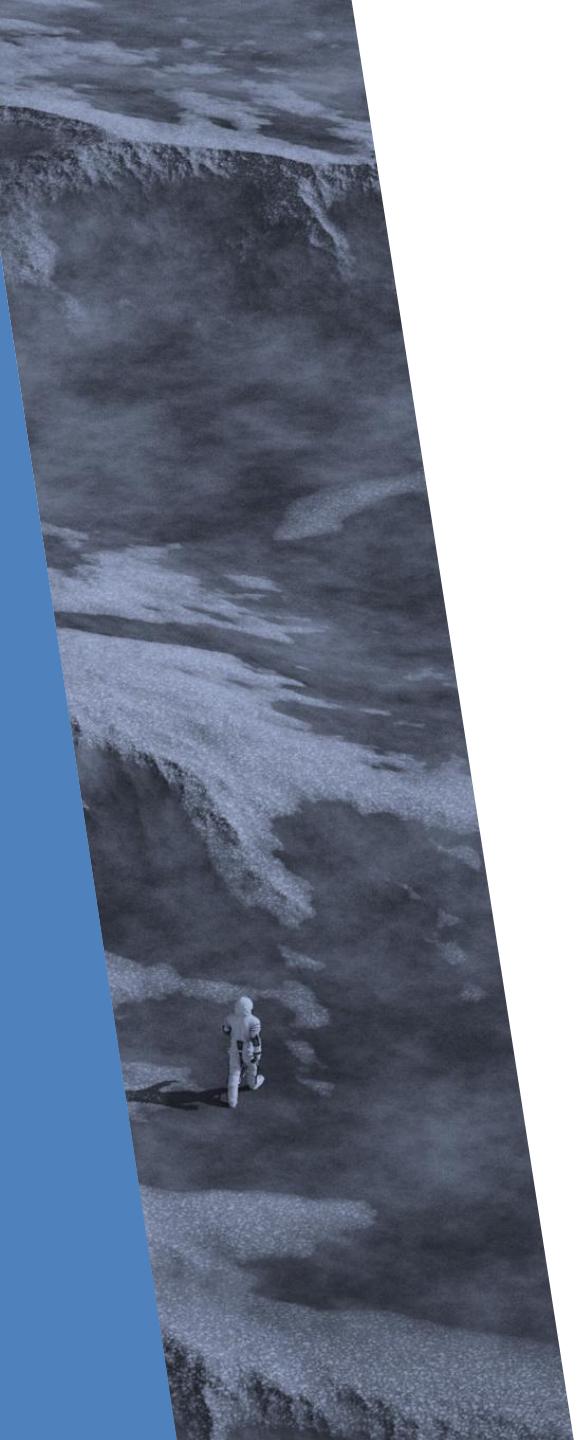
A satellite photograph of Earth at night, showing the illuminated areas of continents against the dark void of space. The lights from cities and towns are visible as white and yellow specks, with major urban centers appearing as larger, brighter clusters. The image captures the global distribution of human-made light at night.

MODIS

**MODerate Resolution Imaging
Spectroradiometer**
(Espectrorradiómetro de Imágenes de
Resolución Moderada)

Es un sensor a bordo de dos satélites
de la NASA:

- **Terra** (lanzado en 1999)
- **Aqua** (lanzado en 2002)



MODIS

MODIS captura imágenes de la superficie terrestre, océanos y atmósfera todos los días, en 36 bandas espectrales (desde visible hasta infrarrojo térmico).

Mide cosas como:

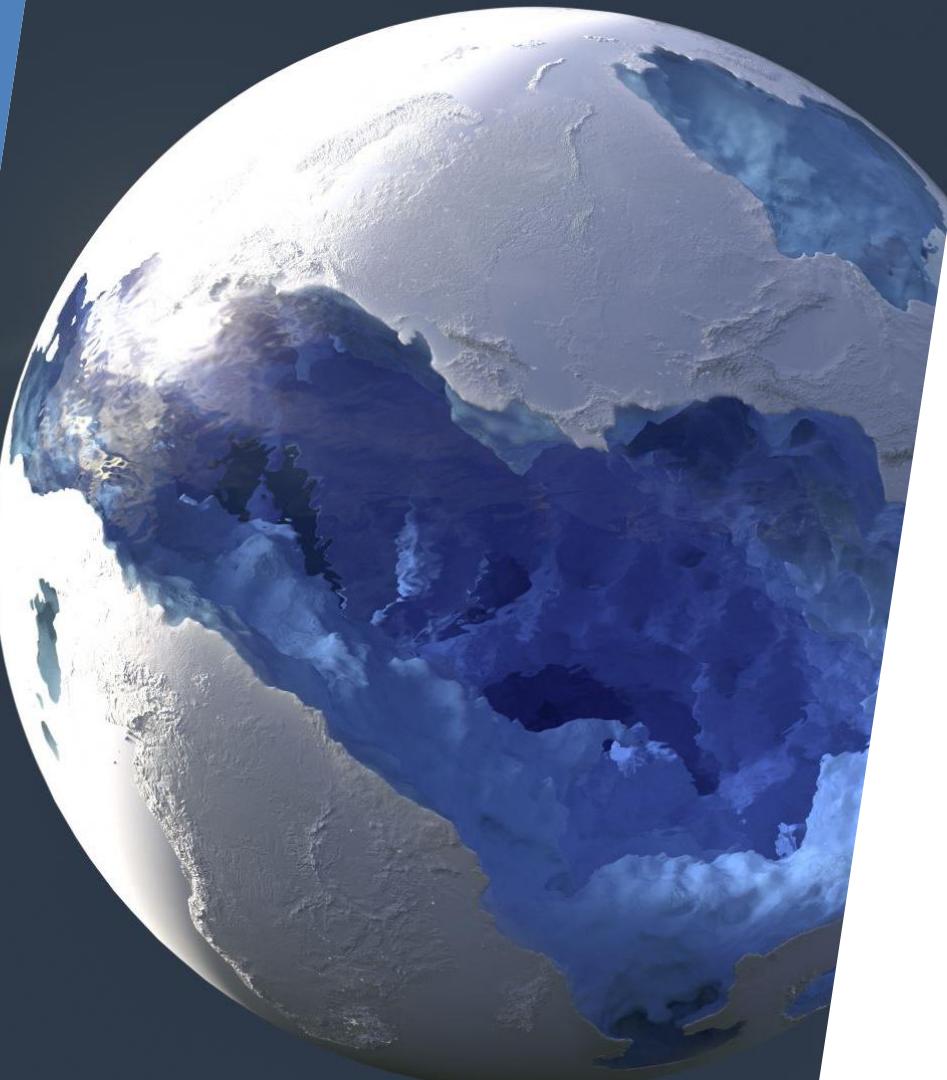
- Índices de vegetación: NDVI, EVI, etc.
- Temperatura de la superficie.
- Cobertura de nubes.
- Uso y cambio del suelo.
- Fuego y quemas.
- Biomasa, productividad primaria, etc.

MODIS

Parámetro	Valor
Resolución espacial	250 m, 500 m o 1 km (según banda)
Resolución temporal	1 a 2 días
Cobertura global	Sí (visita toda la Tierra a diario)

Productos de MODIS

Producto	Descripción	Resolución
MOD13Q1	NDVI y EVI (cada 16 días)	250 m
MOD11A2	Temperatura de superficie (8 días)	1 km
MCD12Q1	Clasificación de cobertura del suelo	500 m
MOD15A2H	Índice de área foliar (LAI)	500 m



Donde se obtienen imágenes con MODIS

- ▶ Google Earth Engine (muy práctico para procesamiento en la nube).
- ▶ NASA LP DAAC (<https://lpdaac.usgs.gov>)
- ▶ App MODIS Subsets para descargas por coordenadas.
- ▶ Librerías en Python como MODIS, pyModis, o vía earthengine-api.

Cómo obtener con GEE (JavaScript)

```
var aoi = ee.Geometry.Rectangle([-75.89, 8.88, -75.86,  
8.90]);  
  
var modis = ee.ImageCollection("MODIS/006/MOD13Q1")  
  .filterDate('2023-12-01', '2024-03-01')  
  .filterBounds(aoi)  
  .select('NDVI');  
  
// Mostrar cuántas imágenes hay  
print("Número de imágenes encontradas:", modis.size());  
  
// Verifica si hay imágenes antes de hacer operaciones  
var imageCount = modis.size();  
  
var ndvi_mean = ee.Image(ee.Algorithms.If(  
  imageCount.gt(0),  
  modis.mean().clip(aoi),  
  ee.Image(0).rename('NDVI').clip(aoi)  
));  
  
// Visualizar  
Map.centerObject(aoi, 13);  
Map.addLayer(ndvi_mean, {min: 0, max: 9000, palette:  

```

Usando earthengine-api (Google Earth Engine con Python)

Digitar en terminal

```
pip install earthengine-api
```

Se abre

```
earthengine authenticate
```

Usando earthengine-api (Google Earth Engine con Python) en Python

```
import ee
ee.Initialize()

# Área de interés (Turipaná, Córdoba)
aoi = ee.Geometry.Rectangle([-75.89, 8.88, -75.86, 8.90]) # Exportar imagen a Google Drive

# Fechas de análisis
start_date = '2024-01-01'
end_date = '2024-03-01'

# Colección MODIS NDVI
modis_ndvi = ee.ImageCollection('MODIS/006/MOD13Q1') \
    .filterDate(start_date, end_date) \
    .filterBounds(aoi) \
    .select('NDVI')

# Validar si hay imágenes disponibles
image_count = modis_ndvi.size().getInfo()

print(f"Número de imágenes encontradas: {image_count}")

if image_count > 0:
    # Calcular NDVI promedio
    ndvi_composite = modis_ndvi.mean().clip(aoi)

    task = ee.batch.Export.image.toDrive(
        image=ndvi_composite,
        description='MODIS_NDVI_EneMar2024',
        folder='GEE_Exports',
        fileNamePrefix='NDVI_MODIS_Turipana_2024',
        region=aoi,
        scale=250,
        crs='EPSG:4326',
        maxPixels=1e13
    )
    task.start()
    print("Exportación iniciada a Google Drive.")

else:
    print("No se encontraron imágenes MODIS NDVI para el área y fechas especificadas.")
```

¿Por qué usar MODIS?

- Alta frecuencia temporal (útil para seguimiento).
- Larga serie histórica (desde 2000).
- Cobertura global y gratuita.

Clasificación de imágenes: supervisada y no supervisada

Algoritmos de clasificación de imágenes



¿En qué consiste la clasificación?

La clasificación consiste en la asignación de etiquetas (clases) a cada píxel según sus características espectrales, espaciales y radiométricas. Esta puede hacerse de dos maneras principales:

1. Clasificación Supervisada
2. Clasificación No Supervisada

Clasificación Supervisada

El usuario **entrena** el algoritmo con ejemplos de clases conocidas, como:

- **Bosque**
- **Agua**
- **Cultivos**
- **Urbano**

El algoritmo aprende los patrones espectrales o radiométricos y luego clasifica el resto de la imagen.

Algoritmos comunes

- Random Forest (RF)
- Support Vector Machine (SVM)
- Decisión Tree (Árboles de decisión)
- Redes neuronales (MLP)

Clasificación Supervisada

Ventajas

- Alta precisión si las muestras están bien tomadas
- Control sobre las clases

Desventajas

- Requiere muestras etiquetadas (datos de entrenamiento)
- Sensible a errores en los datos de entrada

Clasificación No Supervisada

El algoritmo agrupa píxeles sin conocimiento previo de las clases, basándose solo en similitudes espectrales o radiométricas (clustering).

Algoritmos comunes

- K-means
- ISODATA

Clasificación No Supervisada

Ventajas

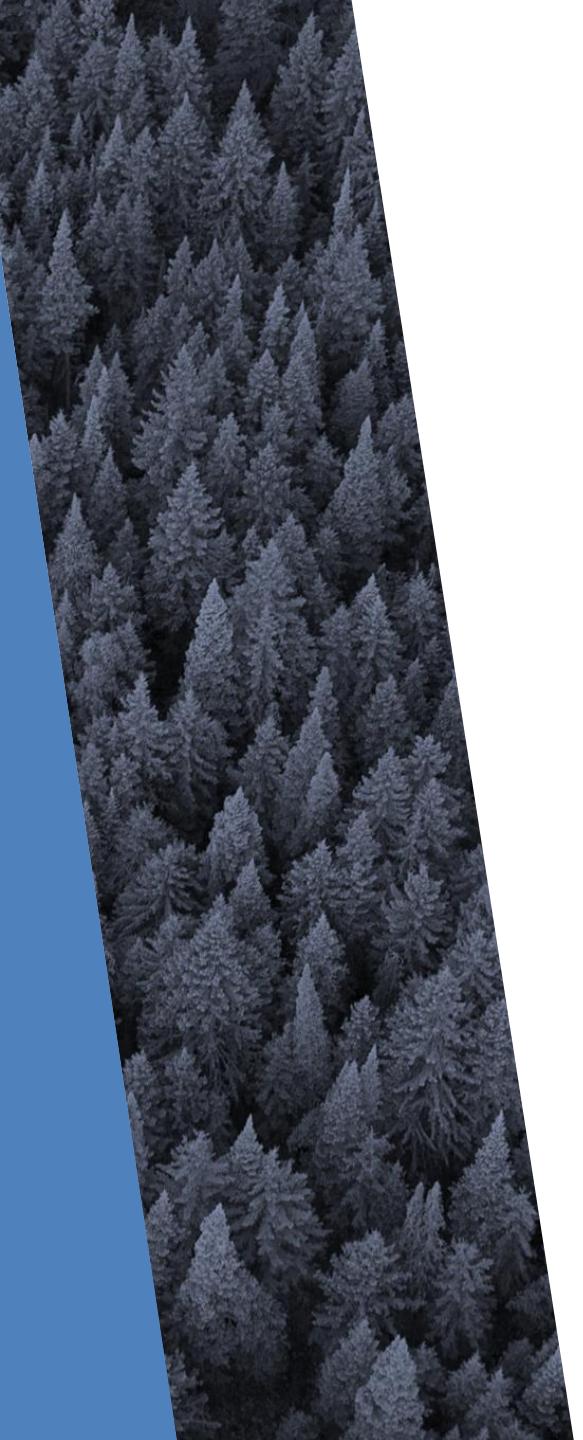
- No requiere datos de entrenamiento
- Útil para exploración inicial

Desventajas

- El usuario debe interpretar los grupos resultantes
- Menor precisión
- No garantiza que cada grupo corresponda a una clase real

Comparación entre ambos métodos de clasificación

Característica	Supervisada	No Supervisada
¿Requiere muestras?	<input checked="" type="checkbox"/> Sí	<input checked="" type="checkbox"/> No
¿Precisión?	<input checked="" type="checkbox"/> Alta con buen entrenamiento	<input type="checkbox"/> Menor, depende del agrupamiento
¿Interpretación?	Directa	Necesita análisis posterior
¿Ideal para...?	Clasificación temática precisa	Exploración preliminar



Clasificación Supervisada con Random Forest y en GEE

1. Carga imágenes Sentinel-2.
2. Aplica enmascaramiento de nubes.
3. Crea muestras de entrenamiento para 3 clases (bosque, pasto y suelo)
4. Entrena un clasificador (Random Forest).
5. Aplica y visualiza la clasificación.

CLASIFICACIÓN CON RANDOM FOREST

```
// 1. Área de interés (Turipaná, Córdoba)  
  
var aoi = ee.Geometry.Rectangle([-75.89, 8.88, -75.86, 8.90]);  
Map.centerObject(aoi, 14);  
  
// 2. Enmascarar nubes y seleccionar solo bandas necesarias  
  
function maskS2clouds(image) {  
  var qa = image.select('SCL');  
  var cloudBitMask = 1 << 10;  
  var cirrusBitMask = 1 << 11;  
  var mask = qa.bitwiseAnd(cloudBitMask).eq(0)  
    .and(qa.bitwiseAnd(cirrusBitMask).eq(0));  
  return image.updateMask(mask)  
    .select(['B2', 'B3', 'B4', 'B8']) // Solo las bandas útiles  
    .copyProperties(image, ['system:time_start']);  
}
```

```
// 3. Cargar imágenes Sentinel-2 SR  
  
var s2 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR')  
  .filterDate('2024-01-01', '2024-03-31')  
  .filterBounds(aoi)  
  .map(maskS2clouds);
```

CLASIFICACIÓN CON RANDOM FOREST

```
// 4. Crear imagen compuesta (mediana)
var composite = s2.median().clip(aoi);

// 5. Visualización RGB
Map.addLayer(composite, {bands: ['B4', 'B3', 'B2'],
min: 0, max: 0.3}, 'Sentinel-2 RGB');

// 6. Crear muestras de entrenamiento (puedes
modificarlas o cargarlas)
var bosque = ee.FeatureCollection([
  ee.Feature(ee.Geometry.Point([-75.88, 8.89]),
{'class': 0}),
  ee.Feature(ee.Geometry.Point([-75.879, 8.891]),
{'class': 0})
]);
```

```
var pasto = ee.FeatureCollection([
  ee.Feature(ee.Geometry.Point([-75.87, 8.89]),
{'class': 1}),
  ee.Feature(ee.Geometry.Point([-75.871, 8.891]),
{'class': 1})
]);

var suelo = ee.FeatureCollection([
  ee.Feature(ee.Geometry.Point([-75.86, 8.89]),
{'class': 2}),
  ee.Feature(ee.Geometry.Point([-75.861, 8.891]),
{'class': 2})
]);
```

CLASIFICACIÓN CON RANDOM FOREST

```
var muestras =  
bosque.merge(pasto).merge(suelo);  
  
// 7. Tomar muestras de la imagen  
compuesta  
  
var training =  
composite.sampleRegions({  
    collection: muestras,  
    properties: ['class'],  
    scale: 10  
});
```

```
// 8. Entrenar clasificador Random  
Forest  
  
var classifier =  
ee.Classifier.smileRandomForest(50).tr  
ain({  
    features: training,  
    classProperty: 'class',  
    inputProperties:  
composite.bandNames()  
});
```

CLASIFICACIÓN CON RANDOM FOREST

```
// 9. Clasificar la imagen
var classified = composite.classify(classifier);

// 10. Visualizar clasificación
Map.addLayer(classified,
  {min: 0, max: 2, palette: ['006400', '7FFF00',
  'DAA520']},
  'Clasificación Random Forest');

// 11. Exportar la imagen clasificada a Google
Drive
Export.image.toDrive({
  image: classified,
  description: 'Clasificacion_RF_Turipana',
  folder: 'GEE_Exports', // Cambia si deseas otra
  carpeta en tu Drive
  fileNamePrefix: 'clasificacion_turipana_rf_2024',
  region: aoi,
  scale: 10,
  crs: 'EPSG:4326',
  maxPixels: 1e13
});
```

A vertical strip on the left side of the slide shows an aerial photograph of a dense forest on a hillside. The trees are dark green and stand vertically. A thick layer of white fog or low-hanging clouds covers the lower half of the slope, obscuring the ground. The top half is visible through the mist.

Clasificación no Supervisada con k-means

1. Carga imágenes Sentinel-2.
2. Aplica enmascarado de nubes.
3. Clasificación para para 3 clases (bosque, pasto y suelo)
según características radiométricas o espectrales
4. Aplica y visualiza la clasificación.

Clasificación no Supervisada con k-means

```
// 1. Definir el área de interés
```

```
var aoi = ee.Geometry.Rectangle([-75.89, 8.88, -75.86,  
8.90]);  
  
Map.centerObject(aoi, 14);
```

```
// 2. Enmascarar nubes y seleccionar bandas útiles
```

```
function maskS2clouds(image) {  
  
  var qa = image.select('SCL');  
  
  var cloudBitMask = 1 << 10;  
  
  var cirrusBitMask = 1 << 11;  
  
  var mask = qa.bitwiseAnd(cloudBitMask).eq(0)  
    .and(qa.bitwiseAnd(cirrusBitMask).eq(0));  
  
  return image.updateMask(mask)  
    .select(['B2', 'B3', 'B4', 'B8']) // Solo bandas  
espectrales  
  
    .copyProperties(image, ['system:time_start']);  
}
```

```
// 3. Cargar colección Sentinel-2 SR
```

```
var s2 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR')  
  .filterDate('2024-01-01', '2024-03-31')  
  .filterBounds(aoi)  
  .map(maskS2clouds);
```

```
// 4. Crear imagen compuesta
```

```
var composite = s2.median().clip(aoi);
```

Clasificación no Supervisada con k-means

```
// 5. Visualización RGB
```

```
Map.addLayer(composite, {bands: ['B4', 'B3', 'B2'], min: 0,  
max: 0.3}, 'Sentinel-2 RGB');
```

```
// 6. Clasificación no supervisada: sampleo y KMeans
```

```
var training = composite.sample({  
  
  region: aoi,  
  
  scale: 10,  
  
  numPixels: 5000,  
  
  geometries: true  
});
```

```
// 7. Entrenar el modelo KMeans con 3 clusters
```

```
var clusterer = ee.Clusterer.wekaKMeans(3).train(training);
```

```
// 8. Clasificar la imagen
```

```
var result = composite.cluster(clusterer);
```

```
// 9. Visualizar clasificación
```

```
Map.addLayer(result.randomVisualizer(), {}, 'KMeans -  
Clusters');
```

Técnicas de Segmentación y Detección de Cambios

Algoritmos de Segmentación

Importancia de la segmentación y detección de cambios

Las técnicas de segmentación y detección de cambios son herramientas clave en el análisis de imágenes satelitales, sobre todo para monitoreo de coberturas, agricultura, gestión forestal y seguimiento de fenómenos ambientales como la deforestación o sequías

Qué es la segmentación

La **segmentación** consiste en dividir una imagen en regiones homogéneas en función de sus características espectrales, espaciales o temporales. Aquí algunas técnicas comunes:

a) Segmentación por Umbral (Thresholding)

- Se basa en definir un valor límite (por ejemplo, NDVI > 0.4) para separar vegetación de no vegetación.
- Muy útil en imágenes NDVI, NDWI, etc.

Qué es la segmentación

b) Crecimiento de Regiones (Region Growing)

Parte de "semillas" que se expanden a píxeles vecinos similares. Más complejo y generalmente aplicado en software como eCognition o Python (OpenCV, scikit-image).

c) Segmentación basada en Objetos (OBIA)

Divide la imagen en objetos geográficos, no solo píxeles. Se usa en plataformas como: eCognition Orfeo Toolbox GEE (limitado con connectedComponents) Python (skimage.segmentation.slic)

d) k-Means y clustering espectral:

Técnicas no supervisadas (útiles como segmentadores de clases espectralmente o radiométricamente homogéneas.

Técnicas de Detección de Cambios

c) Clasificación Post-Clasificación

- Clasificas ambas fechas con Random Forest, luego comparas píxel a píxel los resultados para generar un **mapa de transición**.

d) Cambio basado en aprendizaje automático

- Se usa un modelo supervisado para clasificar tipos de cambio directamente.
- También existen métodos no supervisados como **Change Vector Analysis (CVA)** o **PCA multitemporal**.

Ejemplo de segmentación en GEE

Pasos

- ▶ Extrae NDVI desde Sentinel-2.
- ▶ Aplica un umbral NDVI > 0.5 para seleccionar vegetación densa.
- ▶ Agrupa los píxeles contiguos (4-conectividad) en objetos etiquetados.
- ▶ Usa randomVisualizer() para visualizar cada parche con color diferente.

¿Qué se puede hacer después?

Exportar cada parche como shapefile. Calcular área, perímetro, NDVI medio por segmento. Usarlo como base para clasificación supervisada basada en objetos.

Ejemplo de segmentación (Umbralización o Thresholding)

```
// 1. Área de interés: Turipaná
var aoi = ee.Geometry.Rectangle([-75.89, 8.88, -75.86, 8.90]);
Map.centerObject(aoi, 15);

// 2. Imagen Sentinel-2, sin nubes
var s2 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR')
  .filterBounds(aoi)
  .filterDate('2024-01-01', '2024-01-31')
  .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 10))
  .median()
  .clip(aoi);

// 3. Calcular NDVI
var ndvi = s2.normalizedDifference(['B8', 'B4']).rename('NDVI');

Map.addLayer(ndvi, {min: 0, max: 1, palette: ['white', 'green']},
  'NDVI');

// 4. Umbral para vegetación densa
var vegetacion = ndvi.gt(0.5).selfMask();

// 5. Preparar imagen binaria (necesaria para segmentar)
var binaria = vegetacion.rename('binary');

// 6. Segmentar usando connectedComponents
var segmentos = binaria.connectedComponents({
  connectedness: ee.Kernel.plus(1), // conectividad 4
  maxSize: 128
});

// 7. Visualizar etiquetas de segmentos
var etiquetas = segmentos.select('labels');
var visual = etiquetas.randomVisualizer();
Map.addLayer(visual, {}, 'Segmentos de vegetación');
```



Detección de cambios y mapas de post-clasificación

- Un ejemplo en GEE con **detección de cambio NDVI** entre dos fechas.
- O cómo hacer un **mapa de transición post-clasificación**.

Código de detección de cambios

```
// 1. Área de interés: Turipaná
var aoi = ee.Geometry.Rectangle([-75.89, 8.88, -75.86, 8.90]);
Map.centerObject(aoi, 14);

// 2. Función para enmascarar nubes en Sentinel-2
function maskS2clouds(image) {
  var qa = image.select('QA60');
  var cloudBitMask = 1 << 10;
  var cirrusBitMask = 1 << 11;
  var mask = qa.bitwiseAnd(cloudBitMask).eq(0)
    .and(qa.bitwiseAnd(cirrusBitMask).eq(0));
  return image.updateMask(mask)
    .select(['B8', 'B4']); // B8 = NIR, B4 = Red
}

// 3. Colecciones multitemporales
var s2_2023 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR')
  .filterDate('2023-01-01', '2023-01-31')
  .filterBounds(aoi)
  .map(maskS2clouds)
  .median()
  .clip(aoi);

var s2_2024 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR')
  .filterDate('2024-01-01', '2024-01-31')
  .filterBounds(aoi)
  .map(maskS2clouds)
  .median()
  .clip(aoi);
```

Código de detección de cambios

```
// 4. Calcular NDVI  
  
function calcNDVI(image) {  
    return image.normalizedDifference(['B8',  
    'B4']).rename('NDVI');  
}  
  
var ndvi_2023 = calcNDVI(s2_2023);  
var ndvi_2024 = calcNDVI(s2_2024);  
  
// 5. Calcular cambio de NDVI  
  
var cambioNDVI =  
ndvi_2024.subtract(ndvi_2023).rename('CambioNDVI');  
  
// 6. Visualización  
  
Map.addLayer(ndvi_2023, {min: 0, max: 1,  
palette: ['white', 'green']}, 'NDVI 2023');  
Map.addLayer(ndvi_2024, {min: 0, max: 1,  
palette: ['white', 'darkgreen']}, 'NDVI 2024');  
Map.addLayer(cambioNDVI, {min: -0.5, max: 0.5,  
palette: ['red', 'white', 'blue']}, 'Cambio NDVI');  
  
// 7. Umbralizar pérdida y ganancia  
  
var perdida = cambioNDVI.lt(-0.1);  
var ganancia = cambioNDVI.gt(0.1);  
  
Map.addLayer(perdida.updateMask(perdida),  
{palette: ['red']}, 'Pérdida Vegetación');  
Map.addLayer(ganancia.updateMask(ganancia),  
{palette: ['blue']}, 'Ganancia Vegetación');
```

Código de detección de cambios

```
Export.image.toDrive({  
  image: cambioNDVI,  
  description: 'Cambio_NDVI_Ene2023_2024',  
  folder: 'GEE_Exports',  
  scale: 10,  
  region: aoi,  
  fileFormat: 'GeoTIFF'  
});
```

Ejemplo de detección de cambios con MODIS para cambios mas grandes

```
// 1. Área de interés en EPSG:4326 (lat/lon)
var aoi4326 = ee.Geometry.Rectangle([-75.89,
8.88, -75.86, 8.90]);
Map.centerObject(aoi4326, 13);

// 2. Cargar NDVI MODIS
var modis =
ee.ImageCollection('MODIS/006/MOD13Q1')
.filterDate('2023-01-01', '2024-01-01')
.filterBounds(aoi4326)
.select('NDVI');
```

```
// 3. Escalar NDVI
var modisNDVI = modis.map(function(img) {
  return img.multiply(0.0001).copyProperties(img,
['system:time_start']);
});
```

```
// 4. Obtener proyección MODIS y transformar
AOI con tolerancia
var sampleImage = modis.first();
var modisProjection = sampleImage.projection();
var aoiReprojected =
aoi4326.transform(modisProjection, 100); // Tolerancia de 100 m
```

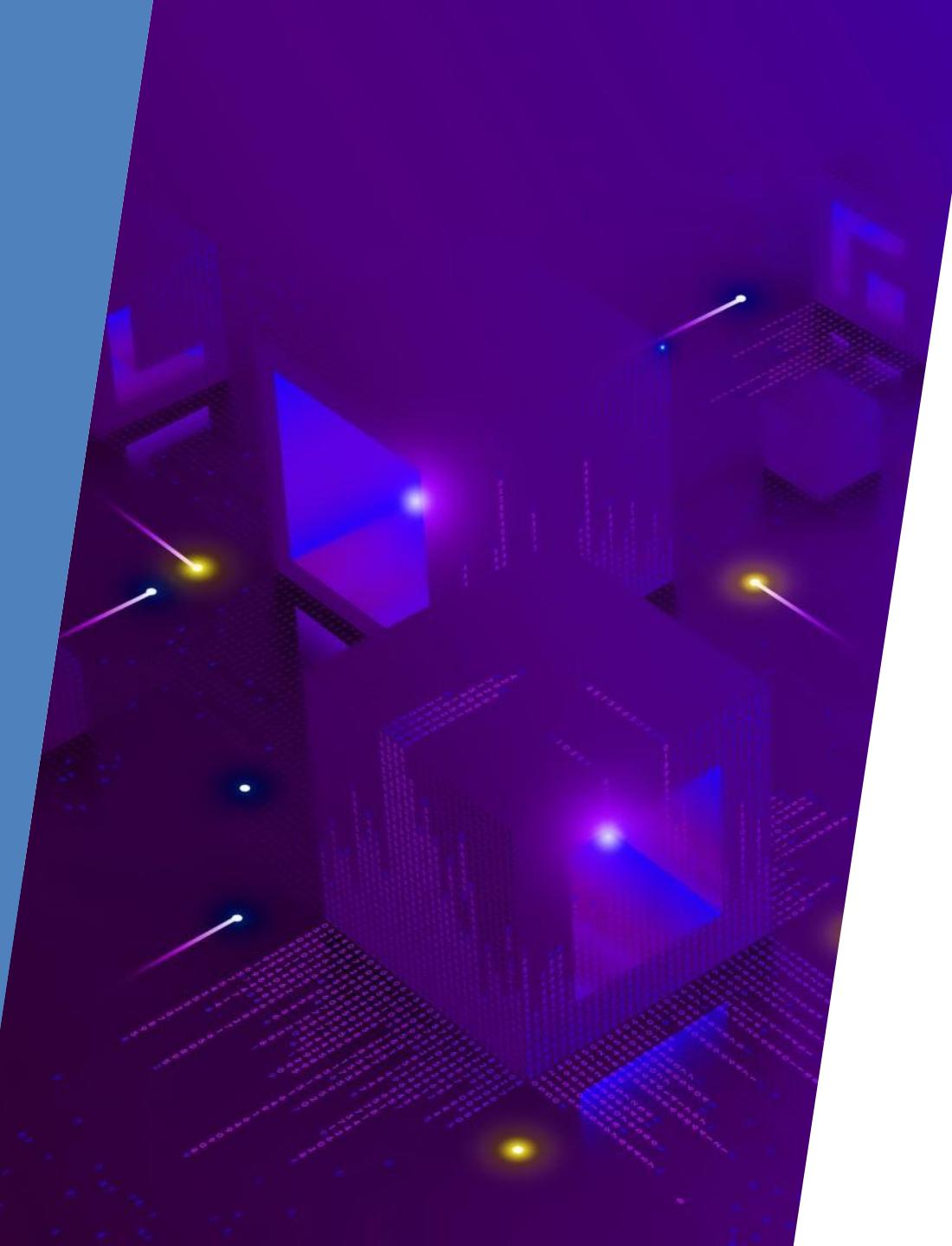
Ejemplo de detección de cambios con MODIS para cambios mas grandes

```
// 5. Gráfico serie temporal
var chart = ui.Chart.image.series({
  imageCollection: modisNDVI,
  region: aoiReprojected,
  reducer: ee.Reducer.mean(),
  scale: 250,
  xProperty: 'system:time_start'
}).setOptions({
  title: 'Serie Temporal de NDVI MODIS (2023)',
  hAxis: {title: 'Fecha'},
  vAxis: {title: 'NDVI (0 - 1)'},
  lineWidth: 2,
  pointSize: 4
});
print(chart);

// 6. Visualizar última imagen
var ultima = modisNDVI.sort('system:time_start', false).first();
Map.addLayer(ultima, {min: 0, max: 1, palette: ['white', 'green']},
  'NDVI última imagen');
```

Fusión de Imágenes y Multitemporalidad

Mejorando la interpretación, clasificación y monitoreo de fenómenos a lo largo del tiempo.



Fusión de imágenes

La fusión de imágenes (**image fusion**) es el proceso de combinar **información de múltiples imágenes** (pueden ser de diferentes sensores, resoluciones o fechas) para generar una nueva imagen más **informativa o útil**.

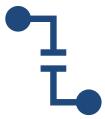
Tipos de fusiones



Fusión espacial:

Combina imágenes de baja resolución espacial (e.g., MODIS) con imágenes de alta resolución (e.g., Sentinel-2).

.



Fusión espectral:

Integra bandas de diferentes sensores o longitudes de onda (e.g., visible + infrarrojo térmico).

Ejemplo: *Pan-sharpening*, que mejora la resolución espacial de una imagen multiespectral usando una banda pancromática



Fusión temporal:

Une imágenes tomadas en diferentes fechas para mejorar la continuidad de observación (útil cuando hay nubes).



Fusión de sensores:

MODIS + Sentinel + Landsat, por ejemplo, para tener mejor frecuencia temporal o espectral.

Característica de una banda pancromática

- ▶ Alta resolución espacial: detecta detalles más finos del terreno. Por ejemplo, la banda pancromática del satélite Landsat 8 tiene una resolución de 15 metros, mientras que sus bandas multiespectrales tienen 30 metros.
- ▶ Amplio espectro: integra varias longitudes de onda visibles (como azul, verde y rojo) y a veces parte del infrarrojo cercano, pero no permite distinguir colores.
- ▶ Imagen en escala de grises: registra variaciones en la reflectancia total como intensidades de gris.

Banda pancromática (*Pan-sharpening*)

La banda pancromática es una bandapectral que captura imágenes en blanco y negro (escala de grises), combinando un amplio rango de longitudes de onda del espectro visible (y a veces parte del infrarrojo cercano). Su principal característica es que ofrece una resolución espacial más alta que las bandas multiespectrales del mismo satélite.

Aplicaciones



Fusión de imágenes (pan-sharpening): se combina la banda pancromática con las bandas multiespectrales para mejorar la resolución espacial de las imágenes a color.



Detección de detalles urbanos o agrícolas finos: caminos, techos, surcos, etc.



Análisis temporal con alta resolución cuando no se requiere información espectral precisa.

Bandas pancromáticas en Satélites

Ejemplo:

- ▶ **Satélite Landsat 8**
 - ▶ Banda Pancromática (Banda 8)
 - ▶ Resolución: 15 m
 - ▶ Rangopectral: 0.50 - 0.68 μm

Bandas pancromáticas en Satélites

En la banda pancromática, no se combinan directamente las bandas multiespectrales existentes, sino que el sensor captura directamente una sola imagen en blanco y negro (escala de grises), usando una banda ancha del espectro electromagnético.

Sin embargo, la intensidad (nivel de gris) de cada píxel en la banda pancromática depende de la cantidad total de radiación reflejada dentro del rangopectral específico de la banda pancromática.

¿Cómo se calcula el nivel de energía captado por la banda pancromática?

No se calcula como suma de otras bandas como el rojo, verde y azul, sino que el sensor mide la energía total reflejada en un rango amplio (por ejemplo, de 0.5 a 0.68 µm en Landsat 8).

Cada píxel representa la cantidad de energía que llega al sensor dentro de ese rango.

Esa energía se convierte en un valor digital (Digital Number, DN) proporcional a la reflectancia.

Multitemporalidad

- ▶ La multitemporalidad en imágenes satelitales se refiere al uso de imágenes adquiridas en diferentes momentos del tiempo para observar y analizar cambios, patrones o dinámicas.
- ▶ Aplicaciones: Detección de cambios (deforestación, expansión urbana, sequías).Monitoreo agrícola (NDVI a lo largo del ciclo fenológico).Análisis estacional (variaciones entre épocas húmedas y secas).Evaluación de recuperación ambiental tras incendios o inundaciones.

Uso de GEE y Python

- ▶ En Google Earth Engine, usas `.filterDate()` y `.map()` para construir colecciones multitemporales.
- ▶ En Python, puedes usar librerías como rasterio, xarray, geopandas o PyModis para manejar datos multitemporales y combinarlos.

Ejemplo de fusión y multitemporalidad

1. Análisis multitemporal mensual de NDVI con MODIS.
2. Fusión MODIS (temporal) + Sentinel-2 (espacial).

Código GEE en JavaScript- Paso 1 para generar serie multitemporal con MODIS

```
// Área de interés: Turipaná, Córdoba
var aoi = ee.Geometry.Rectangle([-75.89, 8.88, -75.86, 8.90]);
Map.centerObject(aoi, 13);

// Cargar colección MODIS NDVI
var modis = ee.ImageCollection('MODIS/006/MOD13Q1')
  .filterBounds(aoi)
  .filterDate('2023-01-01', '2023-12-31')
  .select('NDVI');

// Crear lista de imágenes mensuales, ignorando meses sin datos
var listaMensual = ee.List.sequence(1, 12).map(function(mes) {
  var mensual = modis.filter(ee.Filter.calendarRange(mes, mes,
    'month'));
  var count = mensual.size();
  // Si hay imágenes, promediarlas y devolver
  // imagen NDVI escalada
  return ee.Algorithms.If(
    count.gt(0),
    mensual.mean()
      .multiply(0.0001)
      .set('month', mes)
      .set('system:time_start',
        ee.Date.fromYMD(2023, mes, 1).millis()),
    null // Ignorar si no hay imágenes
  );
});
```

Código GEE en JavaScript- Paso 1 para generar serie multitemporal con MODIS

```
// Eliminar elementos nulos y convertir a  
ImageCollection  
  
var mensual =  
ee.ImageCollection(ee.List(listaMensual).remove  
All([null]));
```

```
// Gráfico NDVI mensual  
  
var chart = ui.Chart.image.series({  
    imageCollection: mensual,  
    region: aoi,  
    reducer: ee.Reducer.mean(),  
    scale: 250  
}).setOptions({  
    title: 'NDVI Mensual MODIS 2023 (Turipaná)',  
    hAxis: {title: 'Mes'},  
    vAxis: {title: 'NDVI (0 - 1)'}  
});  
  
print(chart);
```

Código completo de fusión y multitemporalidad en JavaScript para GEE

```
// =====
// 1. Definir área de interés
// =====

var aoi = ee.Geometry.Rectangle([-75.89, 8.88, -75.86, 8.90]);
Map.centerObject(aoi, 13);

// =====
// 2. Serie mensual MODIS NDVI 2023
// =====

var modis = ee.ImageCollection('MODIS/006/MOD13Q1')
  .filterBounds(aoi)
  .filterDate('2023-01-01', '2023-12-31')
  .select('NDVI');

// Generar colección mensual (con control de errores)

var listaMensual = ee.List.sequence(1,
12).map(function(mes) {

  var mensual = modis.filter(ee.Filter.calendarRange(mes,
mes, 'month'));

  var count = mensual.size();

  return ee.Algorithms.If(
    count.gt(0),
    mensual.mean()
      .multiply(0.0001)
      .set('month', mes)
      .set('system:time_start', ee.Date.fromYMD(2023, mes,
1).millis()),
    null
  );
});
```

Código completo de fusión y multitemporalidad en JavaScript para GEE

```
// =====  
// 3. Gráfico de NDVI mensual MODIS  
// =====  
  
var chart = ui.Chart.image.series({  
  imageCollection: mensual,  
  region: aoi,  
  reducer: ee.Reducer.mean(),  
  scale: 250  
}).setOptions({  
  title: 'NDVI Mensual MODIS 2023 (Turipaná)',  
  hAxis: {title: 'Mes'},  
  vAxis: {title: 'NDVI (0 - 1)'}  
});  
  
print(chart);  
  
// =====  
// 4. NDVI junio 2023 - MODIS  
// =====  
  
var modis_jun = ee.Image(ee.Algorithms.If(  
  modis.filterDate('2023-06-01', '2023-06-30').size().gt(0),  
  modis.filterDate('2023-06-01', '2023-06-30')  
  .mean()  
  .multiply(0.0001)  
  .rename('NDVI_MODIS'),  
  
  ee.Image(0).rename('NDVI_MODIS').updateMask(ee.Image(0))  
));
```

Código completo de fusión y multitemporalidad en JavaScript para GEE

```
// =====
// 5. NDVI junio 2023 - Sentinel-2
// =====
var s2 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED')
  .filterBounds(aoi)
  .filterDate('2023-06-01', '2023-06-30')
  .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 20))
  .select(['B4', 'B8']); // rojo e infrarrojo cercano

var sentinel_jun = ee.Image(ee.Algorithms.If(
  s2.size().gt(0),
  s2.median(),
  ee.Image().select() // imagen vacía
));

var ndvi_s2 = ee.Algorithms.If(
  sentinel_jun.bandNames().size().gt(0),
  sentinel_jun.normalizedDifference(['B8', 'B4']).rename('NDVI_S2'),
  ee.Image().select()
);
ndvi_s2 = ee.Image(ndvi_s2);

// 6. Fusión visual: Reproyectar MODIS a 10 m
var reproj = ee.Algorithms.If(
  ndvi_s2.bandNames().size().gt(0),
  ndvi_s2.projection(),
  ee.Projection('EPSG:4326').atScale(10)
);
var modis_resampled = modis_jun
  .resample('bilinear')
  .reproject({
    crs: ee.Projection(reproj).crs(),
    scale: 10
  });

// 7. Fusionar imágenes
var modis_fused = ee.Image(modis_resampled.add(ndvi_s2));
var modis_fused = ee.Image(modis_fused.select('NDVI_S2'));
```

Código completo de fusión y multitemporalidad en JavaScript para GEE

```
// =====  
// 7. Mostrar capas en el mapa  
// =====  
  
if (modis_jun.bandNames().size().getInfo() > 0) {  
  Map.addLayer(modis_resampled.clip(aoi), {  
    min: 0, max: 1,  
    palette: ['white', 'green']  
  }, 'MODIS NDVI (jun 2023)');  
}  
else {  
  print('⚠️ No hay datos MODIS NDVI en junio 2023.');//  
}  
  
if (ndvi_s2.bandNames().size().getInfo() > 0) {  
  Map.addLayer(ndvi_s2.clip(aoi), {  
    min: 0, max: 1,  
    palette: ['white', 'darkgreen']  
  }, 'Sentinel-2 NDVI (jun 2023)');  
}  
else {  
  print('⚠️ No hay datos Sentinel-2 NDVI en junio 2023.');//  
}
```

Ejercicio práctico de clasificación supervisada y no supervisada de firmas espectrales

Usando SVM y covarianza para clasificación



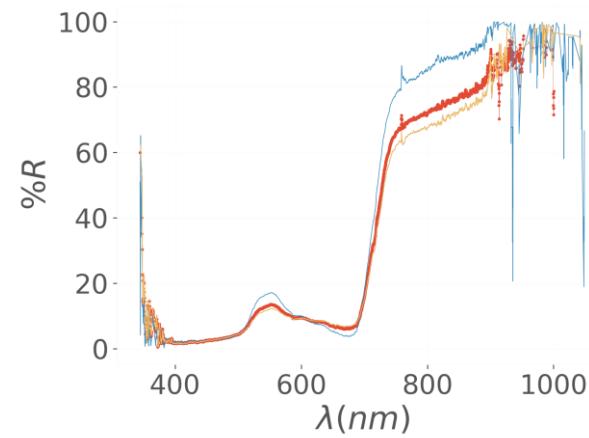
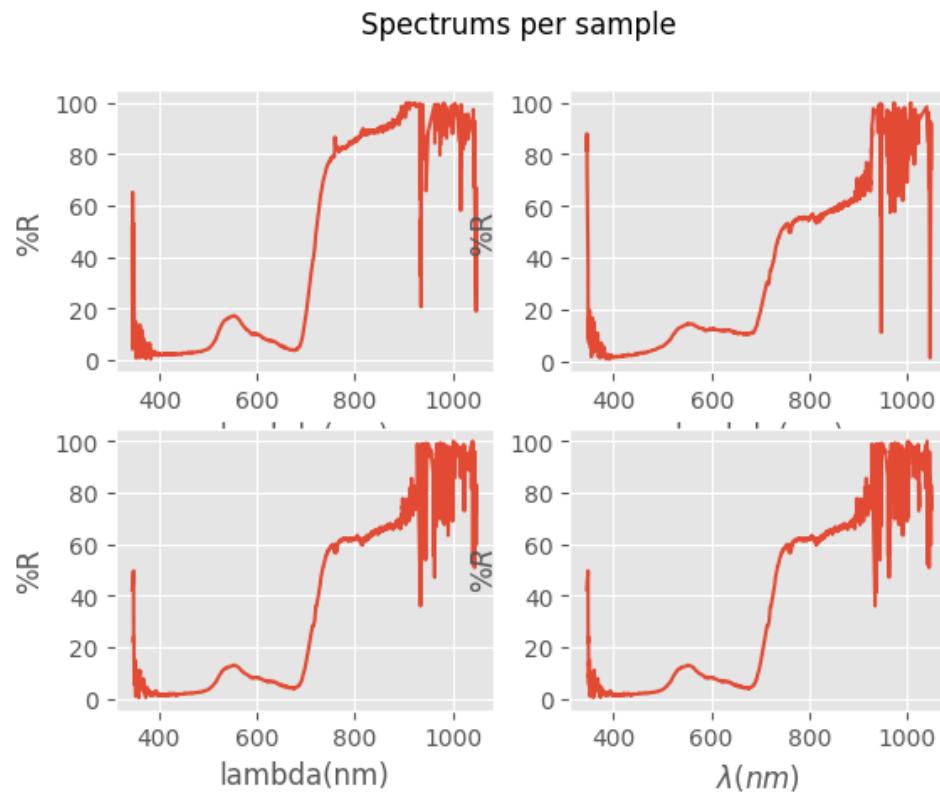
Procesamiento de espectros de reflectancia - firma espectral

Código: 7-SPECTRUM_PROCESSING_GROUP.ipynb

Características:

- ▶ Lectura de archivos .txt de registros de firmas espetrales con OCEAN OPTICS
- ▶ Promedio de 4 espectros
- ▶ Visualización de espectro promedio.
- ▶ Calculo de covarianza en bandas R, G, B y NIR
- ▶ Cálculo de 21 índices de vegetación (NDVI, NDRE, GNDVI, etc), calculada a través de la longitud de onda aproximada.

Procesamiento de espectros de reflectancia - firma espectral



Ejemplo de etiquetados

▶ Etiquetado

Asociar cada espectro con una **clase conocida**, por ejemplo:

- ▶ **Tipo de cobertura:** pasto Mombasa, suelo desnudo, sombra, árbol.
- ▶ **Estado:** estrés hídrico, sano, seco.

Asociar a la covarianza del NIR una clase conocida, por ejemplo

- ▶ **Uniformidad de macollas de Mombasa:** Dependiendo del valor
- ▶ **Usar algoritmos como Máquinas de Soporte Vectorial (SVM) para clasificación de biomasa de Mombasa** si se asocia una propiedad del espectro (reflectancia NIR, NDVI u otro índice) con la biomasa en términos de etiquetas (ALTA, BAJA). Véase ejemplo ilustrativo en clase de una clasificación de biomasa con No. de hojas totales de la planta (macolla).

Código de clasificación usando sklearn de Python

```
espectros = [  
    {'reflectancia': [0.12, 0.18, 0.25, 0.32, 0.04],  
     'clase': 'Mombasa'},  
  
    {'reflectancia': [0.03, 0.05, 0.08, 0.12, 0.02],  
     'clase': 'Suelo'},  
]  
  
from sklearn.ensemble import  
RandomForestClassifier  
  
from sklearn.model_selection import  
train_test_split  
  
from sklearn.metrics import classification_report  
  
import numpy as np  
  
# Datos de ejemplo: X = espectros  
(reflectancias por banda), y = etiquetas  
X = np.array([  
    [0.12, 0.18, 0.25, 0.32, 0.04],  
    [0.10, 0.16, 0.22, 0.30, 0.03],  
    [0.03, 0.05, 0.08, 0.12, 0.02],  
    [0.02, 0.04, 0.07, 0.11, 0.01]  
])
```

Código de clasificación usando sklearn de Python

```
y = ['Mombasa', 'Mombasa', 'Suelo', 'Suelo']

# Dividir y entrenar

X_train, X_test, y_train, y_test =
train_test_split(X, y, test_size=0.25,
random_state=42)

clf =
RandomForestClassifier(n_estimators=100,
random_state=42)

clf.fit(X_train, y_train)
```

```
# Evaluar

y_pred = clf.predict(X_test)

print(classification_report(y_test, y_pred))
```

8-

ClasificadorRFMombasaReflectancia.ipynb

Aplicaciones del modelo

Aplica el modelo a:

- Imágenes multiespectrales completas (por píxel).
- Nuevas muestras de espectro de campo.

Si tienes imágenes de **Sentinel-2** o dron:

- Extrae las bandas por píxel.
- Aplica el modelo a cada vector de bandas.
- Reconstruye un mapa de clases.

Véase ejemplo de clasificación de imágenes multibandas (5 bandas) usando Random Forest

[9-ClasificadorSupMombasalmagen5bandas.ipynb](#)

[9-GeneradorAleatorioImagen5Bandas](#)

Comparación de técnicas de clasificación supervisadas y no supervisadas

Técnica	Descripción
Random Forest	Robusto y fácil de interpretar. Ideal para espectros.
SVM	Funciona bien con espectros si normalizas.
PCA	Reduce bandas redundantes antes de clasificar.
K-means + supervisado	Usa <i>k-means</i> para agrupar y etiquetar manualmente.
CNNs	Para clasificación de imágenes completas con espectros espaciales.

Librerías de Python



scikit-learn: modelos clásicos.



xgboost: muy preciso para clasificación.



spectral: para trabajar con imágenes hiperespectrales.



geemap/ee: si trabajas con imágenes de Earth Engine.



numpy, pandas, matplotlib: manipulación y visualización.

Generalidades y componentes de los vehículos aéreos no tripulados

Drones, características técnicas y altura de vuelo

Tipos de drones según plataforma

Tipo	Descripción	Ejemplo de uso
Multirrotor	Vuela verticalmente, maniobrable y fácil de operar	Agricultura, topografía, inspecciones
Ala fija	Vuela como un avión, mayor autonomía y cobertura	Cartografía, monitoreo de cultivos
Híbrido VTOL	Despegue como multirrotor, vuela como Ala fija	Coberturas amplias con precisión

Características técnicas claves

Característica	Descripción
Sensor / Cámara	RGB, multiespectral, térmica, hiperespectral, LiDAR
Resolución	En megapíxeles (RGB) o resolución espacial (cm/píxel para multiespectral)
Estabilización / Gimbal	Mejora la calidad de imágenes en vuelo
Precisión GPS	RTK/PPK para precisión centimétrica (ideal para ortomosaicos y mapeo)
Autonomía de vuelo	Entre 20 y 60 minutos típicamente
Alcance de comunicación	Generalmente entre 2-7 km (depende del dron y regulaciones locales)
Capacidad de carga útil	Peso que puede llevar: importante si deseas añadir sensores específicos

Altura de vuelo recomendada (AGL = sobre el nivel del suelo)

Aplicación	Altura típica (AGL)	Resolución esperada (cm/píxel)	Notas
Agricultura RGB general	60-120 m	2-5 cm/píxel	Balance entre resolución y cobertura
Agricultura multiespectral	80-120 m	5-10 cm/píxel	Según sensor (e.g., RedEdge, Altum)
Clasificación de cobertura (NDVI)	100-120 m	5-10 cm/píxel	Cobertura amplia, resolución útil
Detección fina (plagas, estrés)	30-60 m	<2 cm/píxel	Requiere baja altura y alta resolución
Levantamiento topográfico (LiDAR)	100-150 m	Depende del sensor	Generalmente con RTK/PPK
Silvopasturas	80-100 m	4-8 cm/píxel	Permite NDVI, altura y biomasa

Drones usados en Agricultura y Monitoreo Ambiental

Modelo	Sensor incluido	Notas clave
DJI Phantom 4 RTK	RGB + RTK	Muy usado para cartografía y ortomosaicos
DJI Mavic 3 Multispectral	RGB + Multispectral (4 bandas)	Ideal para NDVI y agricultura de precisión
Parrot Anafi USA	RGB + térmica	Inspección y monitoreo
eBee X + RedEdge-MX	Multispectral	Alta cobertura para parcelas grandes
DJI Matrice 300 + Zenmuse P1 / L1	RGB / LiDAR	Profesional, adaptable, alta carga útil

Recomendaciones para uso de drones



❖ **Calibración radiométrica:** Usa paneles de calibración si trabajas con sensores multiespectrales.



❖ **Planifica con software:** Pix4D, DroneDeploy, DJI Terra o QGIS con plugins.



❖ **Vuelo automático:** Usa misiones preprogramadas para asegurar solapamiento y calidad.



❖ **Baterías extras:** Planifica con baterías de respaldo si el terreno es grande.

Programa que relaciona el FOV, la altura de Vuelo y tipo de cámara

- ▶ 10-CALCULADORA_CAMARA_DRONES.ipynb

PASOS PARA GENERACIÓN DE IMÁGENES NDVI DE DRONES

- ▶ Cargar las bandas (NIR y RED)
- ▶ Calcular el NDVI
- ▶ Visualizar el NDVI
- ▶ Guardar el NDVI como imagen GeoTIFF o JPG

El rango del NDVI va de -1 a 1:

- NDVI > 0.5: vegetación vigorosa
- NDVI entre 0.2 y 0.5: vegetación escasa o en estrés
- NDVI < 0.2: suelo, agua, o materiales inertes

PASOS PARA GENERACIÓN DE IMÁGENES NDVI DE DRONES

- ▶ 11-CARGAR_IMAGENES_DRONES.ipynb
- ▶ 12-GENERACION_NDVI_FROM_R_NIR -DRONES

SEGMENTACIÓN DE IMÁGENES DE DRONES USANDO k-means

- ▶ 13-Segmentación_Kmeans (Carpeta con archivos Python)



IMÁGENES ORIGINALES



IMAGENES SEGMENTADAS

App de escritorio y Android: OPTIFORRAJE

- ▶ Presentación de la App Optiforaje.
- ▶ Algoritmos de procesamiento de espectros integrados en plataforma digital OPTIFORRAJE
- ▶ Algoritmos de procesamiento de imágenes: k-means y Mahalanobis.

Sensores remotos (Teledetección) Vs. Sensores proximales (Espectroradiómetros y smartphones)

Los **SENSORES REMOTOS** capturan información de la superficie terrestre desde una **gran distancia**, normalmente desde **satélites o drones**.

Características:

- Cobertura espacial amplia (decenas a miles de km²).
- Resoluciones espacial, espectral, temporal y radiométrica variables.
- Pueden ser **sensores pasivos** (como Sentinel-2, Landsat) o **activos** (como Sentinel-1, LIDAR).

Usos comunes:

- Monitoreo multitemporal de NDVI, humedad del suelo, temperatura.
- Seguimiento de cambios en grandes extensiones (cultivos, pasturas, bosques).
- Detección de patrones regionales.

Ejemplos:

- Satélites: Sentinel-2, Landsat, MODIS.
- Drones con cámaras multiespectrales o térmicas.

Sensores remotos (Teledetección) Vs. Sensores proximales (Espectroradiómetros y smartphones)

Los SENSORES PROXIMALES operan muy cerca del objetivo (centímetros a metros), y son empleados directamente en campo.

Características:

- Alta resolución espacial ypectral.
- Permiten mediciones inmediatas y específicas por planta o parcela.
- Ideales para **calibrar** y **validar** datos satelitales.

Usos comunes:

- Medición directa del NDVI, PRI, clorofila, contenido de agua.
- Evaluación de calidad forrajera o estrés hídrico.
- Calibración de modelos predictivos y aprendizaje automático.

Ejemplos:

- **Espectroradiómetros** portátiles (como ASD FieldSpec, OCEAN OPTICS).
- **Smartphones** con apps especializadas o adaptadores de lentes multiespectrales.
- **Sensores ópticos** en tractor o bastón.

Sensores remotos Vs. Proximales

Característica	Sensores Remotos	Sensores Proximales
Distancia de medición	Decenas a miles de kilómetros	Centímetros a pocos metros
Resolución espacial	Baja a media (10-1000 m/píxel)	Muy alta (milímetros - centímetros)
Cobertura	Regional a global	Hoja, planta, parcela
Frecuencia de medición	Determinada por plataforma	Según necesidad (manual o continua)
Costo	Bajo por área, alto por unidad	Medio a alto por unidad
Requiere calibración	Sí, preferiblemente con datos de campo	No siempre
Ejemplos	Sentinel-2, MODIS, drones	ASD FieldSpec, smartphone, SVC

Aplicaciones y estado de arte

Open Access Article

In-Field Forage Biomass and Quality Prediction Using Image and VIS-NIR Proximal Sensing with Machine Learning and Covariance-Based Strategies for Livestock Management in Silvopastoral Systems

by Claudia M. Serpa-Imbett ^{1,2,*}  , Erika L. Gómez-Palencia ¹  , Diego A. Medina-Herrera ¹  , Jorge A. Mejía-Luquez ¹  , Remberto R. Martínez ¹  , William O. Burgos-Paz ¹   and Lorena A. Aguayo-Ulloa ^{1,*} 

¹ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, Centro de Investigación Turipaná, km 13 vía Montería Cereté, Cereté 230550, Córdoba, Colombia

² Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad del Sinú Elías Bechara Zainum, Montería 230001, Córdoba, Colombia

* Authors to whom correspondence should be addressed.

AgriEngineering 2025, 7(4), 111; <https://doi.org/10.3390/agriengineering7040111>

Submission received: 14 February 2025 / Revised: 18 March 2025 / Accepted: 2 April 2025 / Published: 8 April 2025

(This article belongs to the Collection Exploring the Application of Artificial Intelligence and Image Processing in Agriculture)

Remotos para analizar patrones y evolución en el tiempo.

Proximales para validar datos, mejorar modelos de predicción y tomar decisiones inmediatas de manejo.

[In-Field Forage Biomass and Quality Prediction Using Image and VIS-NIR Proximal Sensing with Machine Learning and Covariance-Based Strategies for Livestock Management in Silvopastoral Systems](#)



AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria



TELEDETECCIÓN

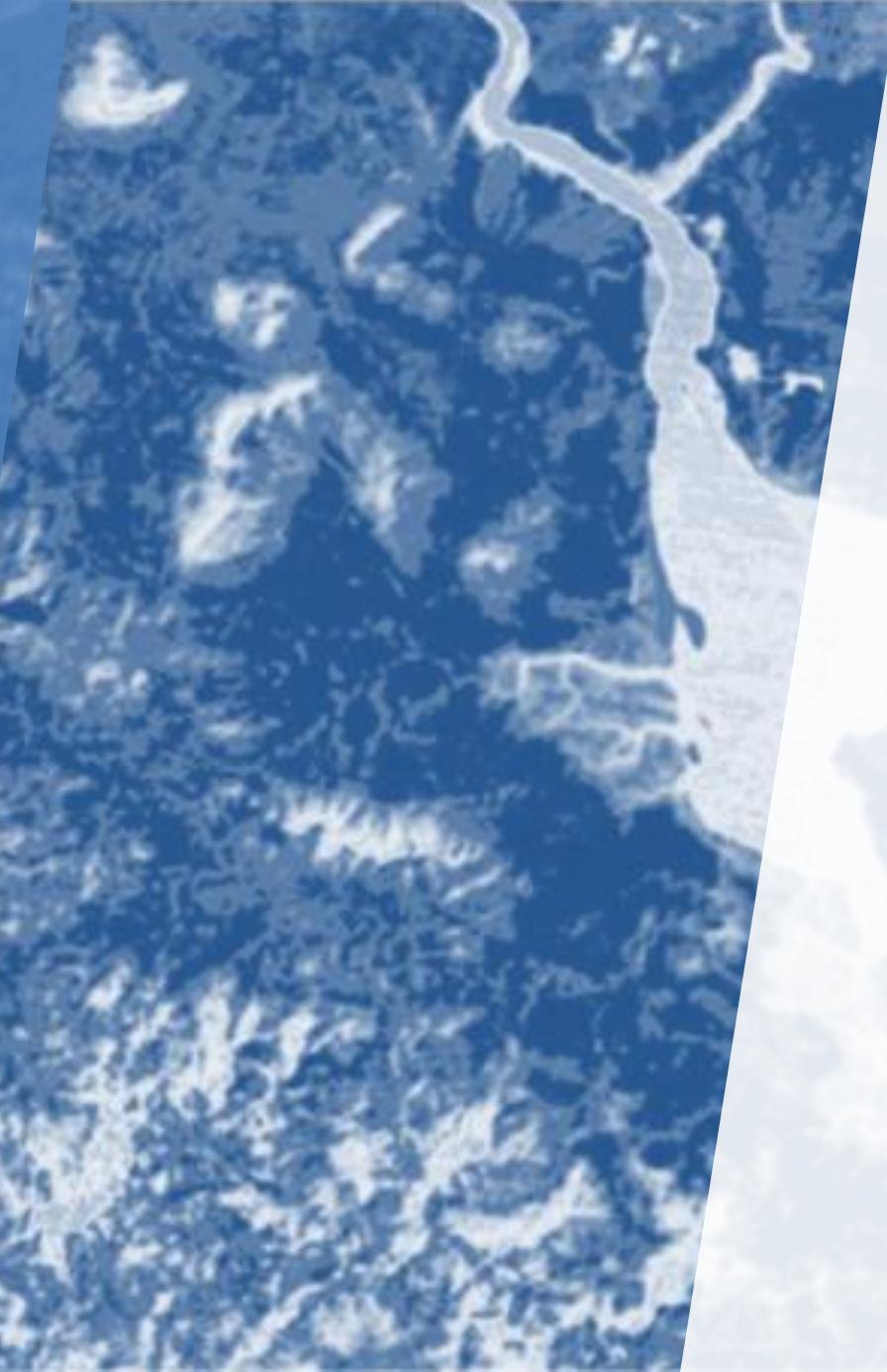
Maestría y Doctorado en Ingeniería
UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA

CLAUDIA MILENA SERPA IMBETT, PhD
Posdoctorado - AGROSAVIA C.I Turipaná -
CERETÉ.
Docente de Universidad del Sinú -
MONTERÍA.

CONTENIDO

1. Fundamentos de teledetección
2. Imágenes pasivas
3. Imágenes activas





MODULO 3

IMÁGENES ACTIVAS

CONTENIDO

1. Fundamentos de teledetección
2. Imágenes pasivas
3. Imágenes activas



¿Qué es un sensor activo?

Un **sensor activo** es un tipo de sensor de teledetección (sensor remoto) que **emite su propia energía electromagnética** hacia la superficie terrestre y **mide la energía reflejada o dispersada** por los objetos en esa superficie.



¿Qué es un sensor activo?

Los sensores activos generan una **imagen activa** capturada por una plataforma de teledetección que **emite su propia señal electromagnética** y registra su retorno tras interactuar con el objetivo.

Ejemplos más comunes:

- **Radar (Radio Detection and Ranging)** – microondas.
- **LIDAR (Light Detection and Ranging)** – láser (infrarrojo o verde).



¿Cómo funciona un sensor activo?

- **Emisión:** El sensor genera una señal (como un pulso de microondas o láser) dirigida hacia el terreno.
- **Interacción:** Esta señal interactúa con la superficie u objetos (suelo, vegetación, agua, construcciones).
- **Recepción:** El sensor detecta la señal que retorna después de la interacción.
- **Procesamiento:** A partir del tiempo, intensidad y forma de la señal reflejada, se infiere información sobre el objeto observado.

Tipos de sensores activos

▶ RADAR (Radio Detection and Ranging)

- Emite microondas.
- Usado en satélites como Sentinel-1, RADARSAT.
- Capaz de operar bajo cualquier condición climática.

▶ LIDAR (Light Detection and Ranging)

- Emite pulsos de luz láser.
- Usado en drones y aviones para generar modelos 3D del terreno o vegetación.
- Alta resolución y precisión vertical.

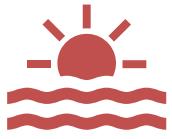
Tipos de sensores ópticos y de radiofrecuencia

Sensor	Energía emitida	Longitud de onda	Usos comunes
SAR (Radar de apertura sintética)	Microondas (GHz)	~1-100 cm	Vegetación, humedad del suelo, estructuras, topografía, agricultura
LIDAR	Láser (infrarrojo o visible)	~0.5-1.5 μm	Modelos digitales de terreno, biomasa, estructuras forestales

Diferencias entre sensor activo y pasivo

Característica	Sensor Activo	Sensor Pasivo
Fuente de energía	Propia (emitida)	Externa (como el Sol)
Operación nocturna	 Sí	 No (depende de la luz solar)
Capacidad de penetrar nubes o vegetación	Alta (especialmente radar)	Limitada
Ejemplos	RADAR, LIDAR, Echo Sounder	Cámaras ópticas, termales, multiespectrales

Ventajas de los sensores activos



Funcionan de **día o noche** (independientes de la luz solar).



Pueden penetrar nubes, humo y vegetación (especialmente SAR).



Capturan información estructural y geométrica (relieve, textura, rugosidad).



LIDAR proporciona datos en 3D de alta precisión.

Interacción de la señal con la superficie

Radar/SAR:

- Interacción dominada por rugosidad del terreno, contenido de humedad y geometría del objeto.
- Produce imágenes en **tonos de gris** (**backscatter**).
- Polarización (HH, HV, VV) afecta la sensibilidad del sensor.

LIDAR:

- Mide el **tiempo de retorno** del pulso láser para obtener:
 - Altura de objetos
 - Altura del terreno
 - Nubes de puntos 3D
- Puede distinguir entre **copa vegetal, tronco y suelo**.

¿Qué es la polarización?



Cuando una antena emite una onda de radar, esa onda tiene una orientación eléctrica (polarización). El sensor puede cambiar o mantener esa orientación al enviar y recibir la señal.

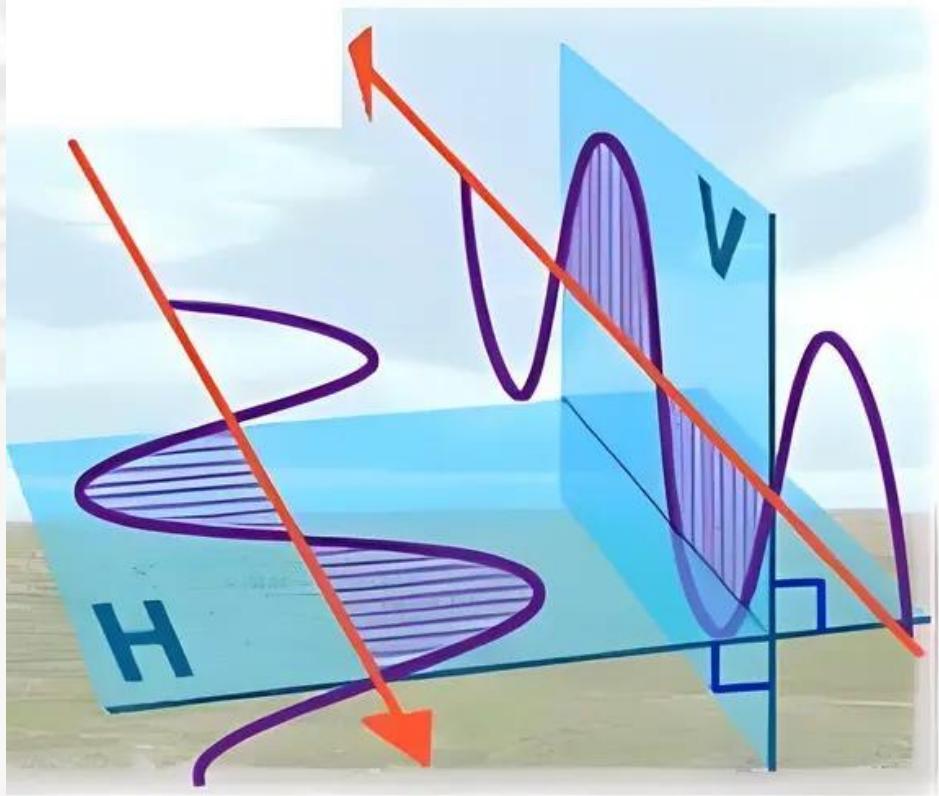


Esto afecta **cómo interactúa la onda con la superficie**, dependiendo del tipo de cobertura (agua, vegetación, suelo, estructuras).

Codificación

Código	Significado	Sensibilidad principal
HH	Horizontal emitida y recibida	Superficies planas como suelo desnudo o agua.
VV	Vertical emitida y recibida	Superficies verticales como tallos o edificios.
HV	Horizontal emitida, vertical recibida	Estructuras complejas como vegetación densa.
VH	Vertical emitida, horizontal recibida	Similar a HV (son recíprocos).

Polarización V y H (Lineal)



Aplicaciones en vegetación y agricultura

- HH o VV: Útiles para monitorear humedad del suelo o estructuras verticales.
- HV o VH (cross-polarization): Muy útiles para evaluar **biomasa, estructura de vegetación o interacciones volumétricas** (e.g., ramas, hojas).

Ejemplo el Sentinel-1 proporciona:

- VV + VH para modo IW (Interferometric Wide swath).
- Datos en **polarización dual** (dual-pol) o **polarización completa** (quad-pol) dependiendo del sensor.

¿Cómo afecta a la interpretación?

- ▶ Un campo cubierto de pasto denso reflejará más señal HV que VV.
- ▶ Un lago reflejará más en VV o HH y casi nada en HV.
- ▶ Combinando varias polarizaciones, se pueden hacer clasificaciones supervisadas, detección de cambios, o estimación de biomasa.



Procesamiento de imágenes activas

- **Corrección geométrica y radiométrica**

- SAR: corrección speckle, calibración radiométrica.
- LIDAR: corrección de trayectoria y calibración láser.

- **Extracción de características**

- Textura, retrodispersión (SAR).
- Altura, densidad, perfil vertical (LIDAR).

- **Clasificación supervisada/no supervisada**

- Basada en patrones de backscatter o altura.

- **Fusión multifuente**

- Integración con imágenes ópticas o NDVI para mejores resultados.

Aplicaciones de sensores activos

- ▶ Altura de cultivos o pastos (LIDAR).
- ▶ Densidad de vegetación o cobertura arbórea (LIDAR, RADAR).
- ▶ Humedad del suelo (RADAR).
- ▶ Mapeo de estructuras en suelos complejos o bajo sombra.

Ejemplos de Aplicaciones

Aplicación

Estimación de biomasa y altura de pastos

Evaluación de humedad del suelo

Análisis de deforestación y cambio de uso de suelo

Detección de estructuras agrícolas o canales

Monitoreo de pasturas bajo cobertura arbórea (silvopastoriles)

Sensor

LIDAR (UAV o satelital)

SAR (Sentinel-1, RADARSAT)

SAR + óptico

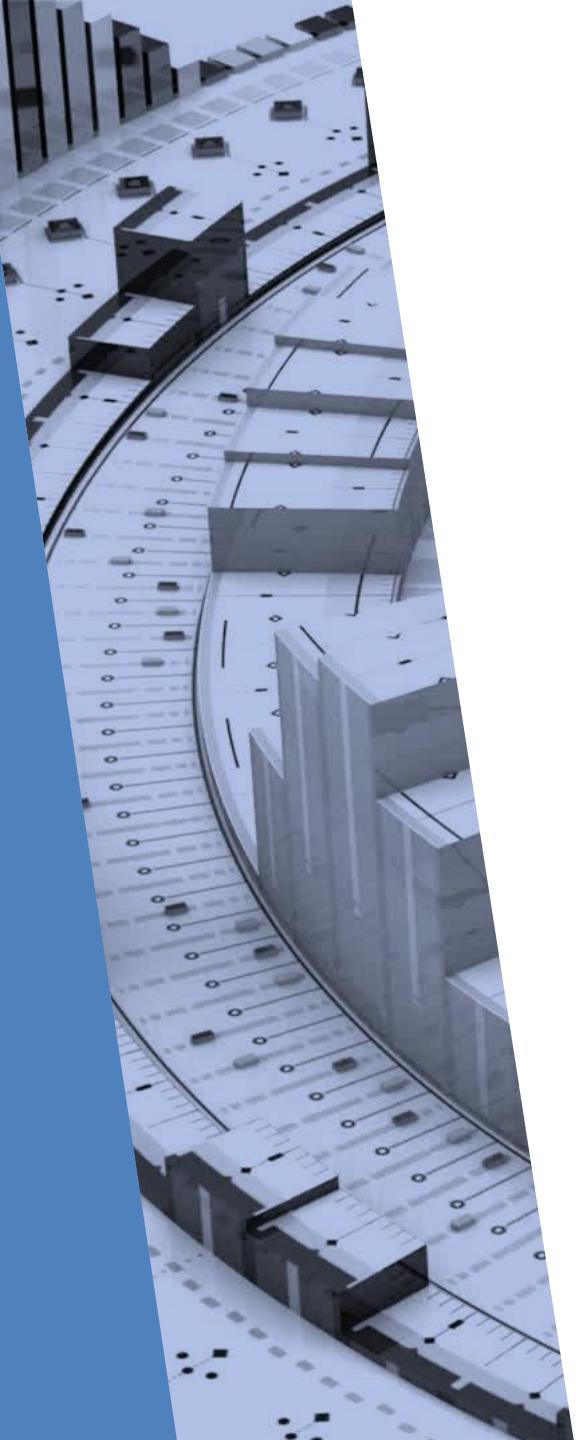
LIDAR topográfico

LIDAR + NDVI

Integración con Python

Librerías clave:

- rasterio, geopandas: manipulación de datos geoespaciales.
- lidar, laspy: manejo de nubes de puntos LIDAR.
- sentinel, pyroSAR: descarga y análisis de datos SAR.
- scikit-learn, xgboost: clasificación supervisada.



Procesamiento de Imágenes Sentinel-1 VV y VH con Python

1. Descarga de Datos

Puedes obtener imágenes de Sentinel-1 desde el Copernicus Open Access Hub o utilizar plataformas como [Google Earth Engine](#) para acceder a datos preprocesados.

2. Preprocesamiento

Es recomendable realizar los siguientes pasos:

- **Calibración radiométrica:** para convertir los valores de retrodispersión a unidades físicas.
- **Corrección geométrica:** para alinear las imágenes con coordenadas geográficas precisas.
- **Conversión a decibelios (dB):** utilizando la fórmula $10 * \log_{10}(\text{valor})$.

Nota: Si utilizas datos de Google Earth Engine, muchos de estos pasos ya están aplicados.

3. Cálculo de Índices

Puedes calcular el índice de retrodispersión cruzada (Cross Ratio Index) para resaltar diferencias entre las polarizaciones:

Unidades de retrodispersión

En el caso de imágenes satelitales activas como las de Sentinel-1, que utiliza radar de apertura sintética (SAR), la retrodispersión (backscatter) es la medida principal, y sus unidades se relacionan con la potencia de la señal reflejada por la superficie hacia el sensor.

- ▶ La retrodispersión se mide como un **coeficiente adimensional**, generalmente representado como:
- ▶ **σ^0 (sigma-cero)**: Coeficiente de retrodispersión normalizada.
- ▶ Aunque σ^0 es adimensional, **se expresa comúnmente en decibelios (dB)** para facilitar la interpretación y comparación:

$$\sigma_0(\text{dB}) = 10 \cdot \log_{10}(\sigma^0)$$

Comparación con el dominio óptico

Mientras que en sensores pasivos (como Sentinel-2 o Landsat) se trabaja con:

- ▶ **Radiancia** ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$)
- ▶ **Reflectancia** (valor entre 0 y 1, o en %)

En sensores **activos** como Sentinel-1, el radar emite su propia señal y mide la fracción que regresa (retrodispersión), por eso:

- ▶ No se mide **radiancia reflejada del Sol**, sino la **potencia reflejada del pulso de radar**.
- ▶ No se usa reflectancia espectral, sino **coeficientes de dispersión** (σ^0 , β^0 o γ^0).

Coeficientes de retrodispersión

Coeficiente	Significado	Relación	Comentario
σ^0 (sigma nought)	Retrodispersión en dirección normal al radar	Base	Común en productos GRD (Ground Range Detected)
β^0 (beta nought)	Potencia de retrodispersión por unidad de ángulo sólido	Relacionado con σ^0 por el ángulo de incidencia	Útil en análisis topográficos
γ^0 (gamma nought)	Retrodispersión referida al plano local del terreno	$\gamma^0 = \sigma^0 / \cos(\theta)$	Común en productos corregidos topográficamente (RTC)

Unidades para los SAR

- ▶ Unidad base: σ^0 , adimensional, expresada en decibelios (dB).
- ▶ dB es una escala logarítmica: cada +10 dB representa un aumento de 10 veces en potencia.
- ▶ No hay unidades como W/m^2 en SAR, ya que no se mide radiancia solar, sino potencia de eco del radar.
- ▶ La interpretación física del valor depende de la rugosidad, humedad y geometría del terreno.

Ejemplo en GEE (Conversión de unidades)

```
// Definir el polígono de interés
var geometry = ee.Geometry.Polygon(
  [[[[-75.9, 8.8],
    [-75.9, 8.6],
    [-75.5, 8.6],
    [-75.5, 8.8]]]]);
// Convertir a dB
var sigma0_dB = image.log10().multiply(10).rename('VV_dB');

// Cargar imagen Sentinel-1 VV
var image = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S1_GRD')
  .filterBounds(geometry)
  .filterDate('2024-01-01', '2024-01-31')
  .filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', 'IW'))
  .filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass', 'DESCENDING'))
  .filter(ee.Filter.eq('resolution_meters', 10))
  .filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation', 'VV'))
  .select('VV')
  .first();

// Parámetros de visualización
var visParams = {
  min: -25,
  max: 0,
  palette: [
    '#440154', '#3b528b', '#21918c', '#5ec962', '#fde725'
  ]
};
```

Ejemplo en GEE (Conversion de unidades)

```
// Mostrar la imagen y el polígono en el mapa  
Map.centerObject(geometry, 10);  
Map.addLayer(sigma0_dB, visParams, 'VV en dB (resaltado)');  
Map.addLayer(ee.FeatureCollection(geometry),  
    {color: 'red'},  
    'Área de interés', false); // El "false" permite activar/desactivar la capa
```

```
// Exportar imagen a Google Drive  
Export.image.toDrive({  
    image: sigma0_dB.clip(geometry),  
    description: 'Sentinel1_VV_dB_Export',  
    folder: 'GEE_Export',  
    fileNamePrefix: 'sentinel1_vv_dB',  
    region: geometry,  
    scale: 10,  
    crs: 'EPSG:4326',  
    maxPixels: 1e13  
});
```

Conversión de unidades en Python

[21-Sentinel1-ConversiondBRetro.ipynb](#)

Calculo con bandas VV y VH

```
import rasterio
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# Cargar las bandas VV y VH
with rasterio.open('sentinel1_VV.tif') as vv_src:
    vv = vv_src.read(1)
    profile = vv_src.profile

with rasterio.open('sentinel1_VH.tif') as vh_src:
    vh = vh_src.read(1)

# Evitar divisiones por cero
epsilon = 1e-10
cross_ratio = np.log10((vv + epsilon) / (vh + epsilon))

# Guardar el índice como un nuevo raster
profile.update(dtype=rasterio.float32, count=1)
with rasterio.open('cross_ratio.tif', 'w', **profile) as dst:
    dst.write(cross_ratio.astype(rasterio.float32), 1)

# Visualizar el resultado
plt.imshow(cross_ratio, cmap='viridis')
plt.colorbar(label='Cross Ratio Index')
plt.title('Índice de Retrodispersión Cruzada (VV/VH)')
plt.axis('off')
plt.show()
```

[22-Generacion_Imagenes_VV_VH.ipynb](#)

Aplicaciones de las bandas VV y VH

1. Estimación de Humedad Superficial

La retrodispersión en la polarización **VV** es sensible a la humedad del suelo. Puedes aplicar modelos empíricos o de aprendizaje automático para estimar la humedad superficial a partir de los valores de retrodispersión. Por ejemplo, utilizando regresión lineal o Random Forest, entrenados con datos de campo.

2. Clasificación de Cobertura Vegetal

Combinando las polarizaciones **VV** y **VH**, puedes realizar una clasificación supervisada para diferenciar tipos de cobertura vegetal. Esto se puede lograr utilizando algoritmos como Random Forest o Support Vector Machines, entrenados con muestras de referencia.

Comparación de diferentes satélites

Característica	Sentinel-1A/B	Sentinel-1C	RISAT (1, 2, 2B, 1A)	RADARSAT-2	RADARSAT Constellation (RCM)
Agencia Espacial	ESA	ESA	ISRO (India)	CSA / MDA (Canadá)	CSA (Canadá)
País	Unión Europea	Unión Europea	India	Canadá	Canadá
Sensor SAR	Banda C (5.405 GHz)	Banda C (idéntica a A/B)	Banda C (1/1A) y Banda X (2/2B)	Banda C	Banda C
Resolución espacial	5 - 40 m	5 - 40 m (misma que A/B)	1 - 50 m	3 - 100 m	3 - 100 m
Cobertura de escena	20 - 400 km	20 - 400 km	10 - 240 km	20 - 500 km	20 - 500 km
Revisita temporal	~6 días (con 1A+1B)	Ayudaría a retomar ciclo de 6 días	2 - 5 días	~24 días	4 días (con 3 satélites)
Altura de órbita	~693 km	~693 km	~536 - 576 km	~798 km	~600 km
Órbita	Heliosíncrona	Heliosíncrona	Heliosíncrona	Heliosíncrona	Heliosíncrona
Polarizaciones	VV, VH, HH, HV (dual)	Igual que A/B	VV, HH, HV, VH (según versión)	HH, VV, HV, VH, quad-pol	HH, VV, HV, VH, quad-pol
Lanzamiento inicial	1A: 2014; 1B: 2016	1C: 2024 (lanzamiento previsto)	2: 2009; 1: 2012; 2B: 2019; 1A: 2022	2007	2019
Objetivo principal	Agricultura, monitoreo terrestre	Reforzar continuidad del programa	Defensa, monitoreo agrícola	Hielo, agricultura, vigilancia	Agricultura, clima, vigilancia marítima
Acceso a datos	Gratis y abierto (Copernicus Hub)	Gratis (mismo sistema)	Parcial o restringido	Comercial (licencia MDA)	Gratis para Canadá / comercial limitado

Tipos de adquisición del SAR

Satélite	Modos SAR	Detalles
Sentinel-1A/B/C	- IW (Interferometric Wide Swath)- EW (Extra Wide Swath)- SM (Stripmap)- WV (Wave Mode)	- IW: modo estándar para tierra (res. ~10m, 250km ancho)- EW: emergencias costeras- SM: alta resolución
RISAT	- Fine Resolution Stripmap (FRS)- Coarse Resolution ScanSAR- Spotlight (en RISAT-2B)	- Múltiples modos según misión: defensa, agricultura, vigilancia
RADARSAT-2	- Spotlight (3m)- Fine Quad-pol (8m)- Wide (100m)- ScanSAR Wide	- Capacidad multi-polarización y modos flexibles
RCM (Constelación)	- Spotlight- Ultra-Fine- Wide ScanSAR- Maritime Surveillance	- Óptimo para cobertura frecuente, monitoreo rápido y vigilancia marítima

Modo Strip Map (SM) - Sentinel 1

Es un modo SAR de resolución alta que adquiere imágenes de una franja continua del terreno al mover la antena del radar con una dirección fija respecto al nadir (sin barrido lateral).



Para que se usa el Strip Map (SM)

- ▶ Usado cuando se requiere **alta resolución espacial** sobre áreas más pequeñas, como:
- ▶ **Monitoreo de infraestructura crítica**
- ▶ **Aplicaciones militares o de seguridad**
- ▶ **Detección de objetos pequeños**
- ▶ **Estudios de detalle sobre zonas urbanas, fallas geológicas o glaciares**



Modo Strip Map (SM) de Sentinel 1

Parámetro

Valor típico (Sentinel-1)

Resolución espacial

~5 m (azimut) x 5 m (range)

Ancho de franja

~80 km

Polarizaciones

HH, VV, HV, VH (dual disponibles)

Frecuencia de uso

Poco frecuente en Sentinel-1
(se prioriza IW)

Comparación con modos IW y EW

Modo	Resolución (m)	Cobertura (km)	Uso principal
SM	5 x 5	80	Alta resolución en áreas pequeñas
IW	10 x 10	250	Estándar para monitoreo terrestre
EW	40 x 40	400	Grandes áreas, emergencias
WV	~20 x 20	Puntual	Estudios oceánicos (olas)

¿Que es el nadir?

El **nadir** es el punto directamente debajo del satélite, es decir, el punto de la superficie terrestre que se encuentra en línea recta vertical con respecto al sensor.

Imagina una línea recta que va del satélite hacia el centro de la Tierra:
→ El punto donde esta línea toca la superficie se llama **nadir**.

- Ángulo de nadir = 0°** (mirada completamente vertical).
- Los sensores que miran hacia el nadir se llaman **nadirales** o de **visión nadiral**.

Importancia de nadir

Aspecto

Resolución espacial

Órbitas satelitales

Modo SAR StripMap

Correcciones geométricas

Relación con el nadir

Es máxima en el nadir (menor distorsión geométrica).

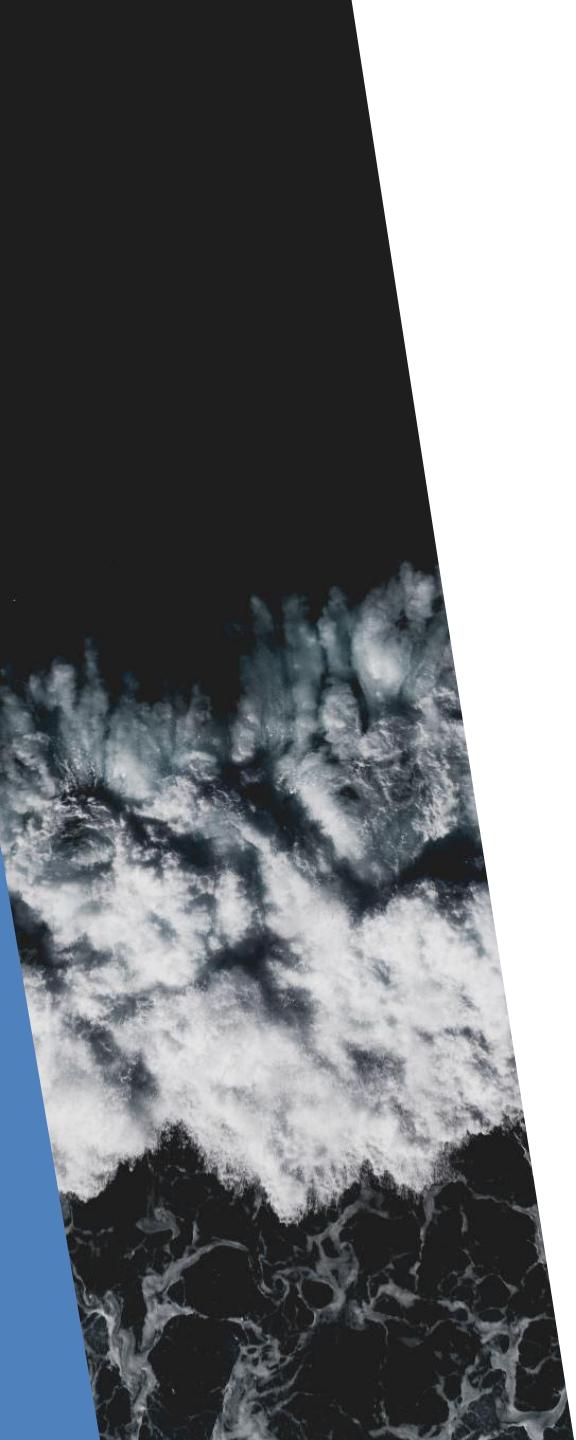
Muchos satélites de observación pasan justo sobre el nadir.

Se orienta cerca del nadir pero ligeramente inclinado.

Se utilizan para compensar el ángulo respecto al nadir.

Wave mode (WM)

Es un modo puntual (no continuo) en el que el radar captura pequeñas “ventanas” de imagen SAR llamadas *imagettes* o *vignettes*.



Parámetros del wave mode (WM)

Parámetro	Valor típico en Sentinel-1
Tamaño de imagette	~20 km × 20 km
Frecuencia de adquisición	Cada ~100 km sobre el océano
Resolución espacial	~10 m
Cobertura	No es continua; solo pequeñas zonas
Polarización	VV (frecuente) o dual (VV + VH)

Uso de wave mode (WM)



Este modo está optimizado para generar productos como:



Espectros de olas oceánicas



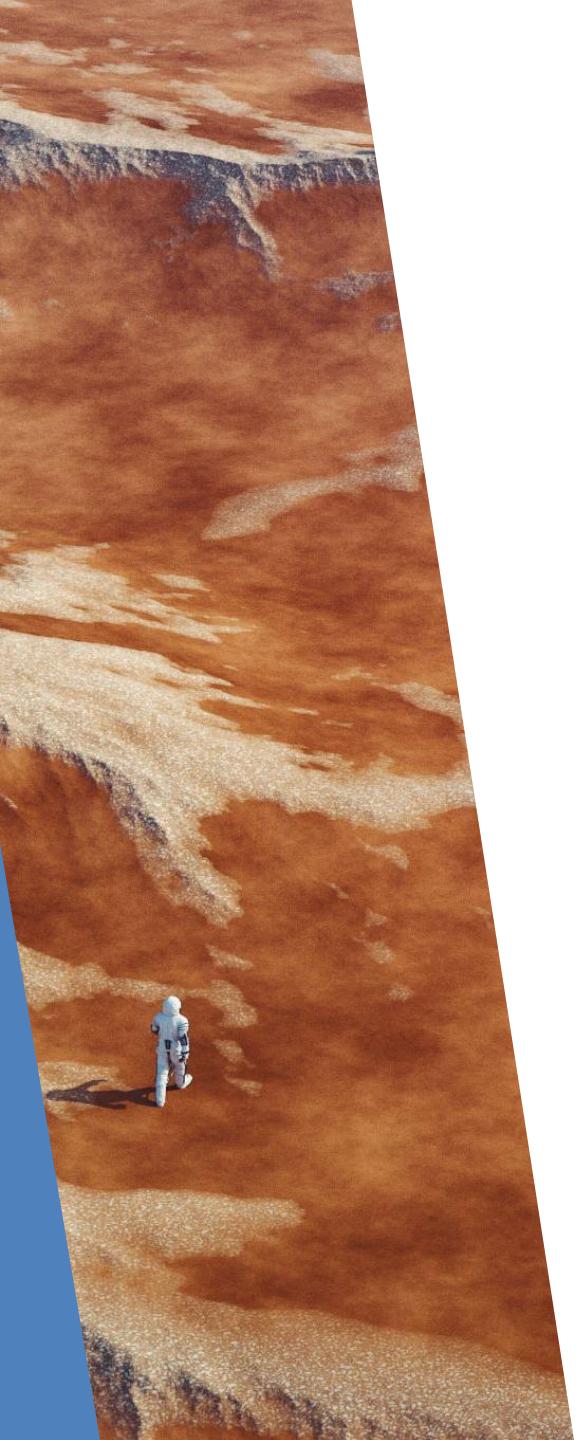
Altura significativa de oleaje



Dirección y longitud de onda

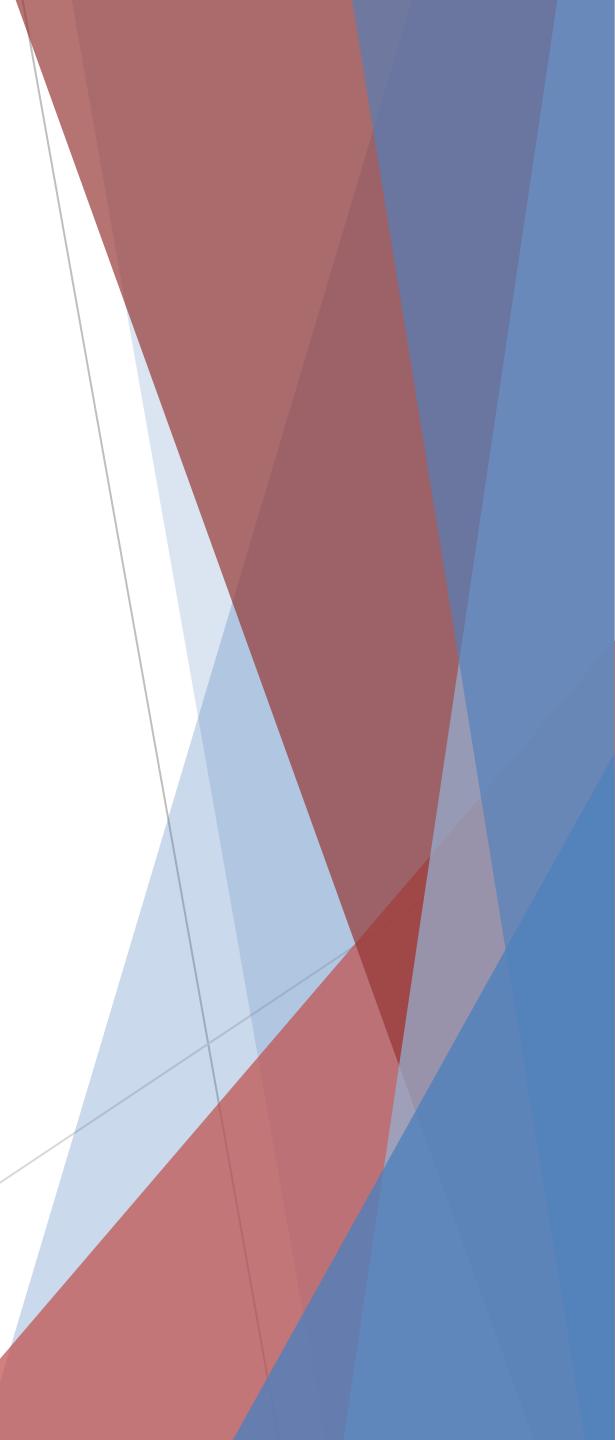


Vigilancia marítima puntual (de forma secundaria)



Como funciona WM

El satélite **toma una serie de imágenes pequeñas** sobre el océano abiertas cada ciertos kilómetros, sin formar una imagen continua. Estas se procesan para estimar parámetros físicos del mar mediante análisis de Fourier del patrón SAR.



Diferencia con otros modos

Modo	Resolución	Cobertura	Uso principal
WV	10 m	20x20 km	Olas y dinámica marina puntual
IW	10 m	250 km	Monitoreo terrestre general
EW	40 m	400 km	Costas, emergencias, mar abierto
SM	5 m	80 km	Alta resolución sobre tierra

Pasos para procesar imágenes satelitales de Sentinel 1 (RADAR) con GEE

1. Configuración del Entorno
2. Definir el Área de Interés (AOI) y el Rango de Fechas
3. Cargar y Filtrar la Colección de Imágenes Sentinel-1
4. Calcular la Media Temporal de las Polarizaciones VV y VH
5. Calcular el Índice de Retrodispersión Cruzada (CR)
6. Visualizar los Resultados
7. Exportar los Resultados

Ejecutar código en COLAB: [13-Procesamiento de Imagenes ActivasCOLAB.ipynb](#)

31

18

12

Clasificación supervisada usando datos de polarización VV y VH de Sentinel-1, empleando Google Earth Engine (GEE) y Random Forest.

- ▶ Usa Google Earth Engine para obtener datos VV y VH de Sentinel-1.
- ▶ Crea puntos de entrenamiento etiquetados para tres clases.
- ▶ Entrena un clasificador Random Forest.

- ▶ Crea puntos de entrenamiento etiquetados para dos clases.
- ▶ Entrena un clasificador SVC (Maquina de vectores de soporte)

- ▶ Aplica la clasificación y visualiza en un mapa interactivo con geemap.
- ▶ Exporta la imagen clasificada como .tif a tu Google Drive.

Ejecutar códigos RF

[14-ClasificaciónImagenesActivasCOLAB.ipynb](#)

[15-ClasificaciónImagenesActivas2ImagenesCOLAB.ipynb](#)

Ejecutar código SVC:

[16-GeneradorImagenesActivasVWVH](#)

[16-ClasificaciónImagenesActivasSVCyRFCOLAB.ipynb](#)

Clasificación de imágenes activas usando XGBoost

- ▶ Soporta valores faltantes
- ▶ Alta precisión
- ▶ Control de overfitting
- ▶ Buena interpretación (importancia de variables)
- ▶ Se puede combinar con espectros, índices (NDVI, NDWI) y variables auxiliares (e.g., altura, textura)
- ▶ Consulta el siguiente recurso: [Saeideh-Maleki/XGBoost_Classification_algorithm: Using this code, the NPZ files containing remote sensing data can be classified.](#)



Potencialidades del uso de XGBoost

Con XGBoost puedes realizar distintos tipos de clasificación en imágenes satelitales o de dron, incluyendo:

1. **Clasificación de cobertura del suelo** (uso del suelo, vegetación, agua, urbano, suelo desnudo, etc.).
2. **Clasificación de tipos de vegetación** (por ejemplo, distinguir cultivos, especies forrajeras como Mombasa, o pastos vs arbustos).
3. **Clasificación de humedad del suelo** (utilizando combinaciones de bandas e índices).
4. **Detección de cambios** (comparando épocas y clasificando zonas con cambio o sin cambio).
5. **Clasificación por salud de la vegetación** (alta, media, baja, o vegetación estresada).
6. **Clasificación de áreas quemadas** (usando NBR, NDVI y otros índices).
7. **Zonificación agrícola o ganadera** (por productividad, biomasa, calidad del forraje, etc.).
8. Puedes combinar las bandas originales (por ejemplo, Sentinel-2 B2-B8) con índices espectrales (NDVI, EVI, SAVI, etc.) y luego aplicar XGBoost con entrenamiento supervisado usando datos etiquetados (por ejemplo, puntos de muestreo en campo)

Potencialidades del uso de XGBoost

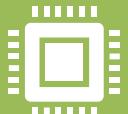
Ejecutar:

- ▶ **17-GeneradorImagenesActivasMUESTRASVvVH.ipynb**
- ▶ **17-XGBoostCLASIFICADORVvVH.ipynb**
- ▶ **18-XGBoostCLASIFICADORVvVH_2clases**

Recursos recomendados



<https://youtu.be/eSLuGvnsorM?si=HBZEGYseAWfWq7xi>
(SAR - Curso de la Nasa)



<https://youtu.be/NPiXuN9kInI?si=Ks1yMkuGASdtGD79>
(Inteligencia Artificial y Teledetección).

Aplicaciones IA y teledetección en Colombia

Aplicación	Descripción	Ejemplos de uso
Clasificación automática de coberturas	Uso de algoritmos supervisados (e.g., Random Forest, SVM, CNN) para mapear cultivos, bosques, cuerpos de agua	Agricultura de precisión, ordenamiento territorial
Segmentación y detección de objetos	Deep learning con imágenes de drones o satélites para identificar parcelas, vías, techos, deforestación	Catastro, infraestructura, monitoreo ambiental
Detección de anomalías	IA para detectar cambios súbitos (e.g., incendios, inundaciones, invasiones urbanas)	Gestión de riesgos y desastres
Estimación de variables biofísicas	Modelos de ML para predecir biomasa, humedad del suelo, rendimiento de cultivos	Agricultura y silvicultura
Fusión de datos multifuente	Redes neuronales o modelos híbridos para combinar datos ópticos, radar, climáticos, etc.	Sistemas de alerta temprana y monitoreo multitemporal

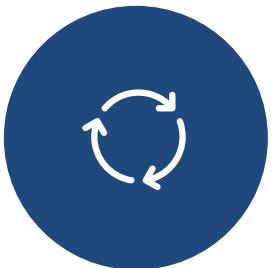
Aplicaciones de Teledetección en el mundo

Aplicación	Descripción	País / Proyecto destacado
 Agricultura de precisión	Monitoreo de cultivos, estrés hídrico, predicción de rendimientos	US EE.UU. – John Deere, Climate FieldView
 Gestión de recursos hídricos	Seguimiento de cuerpos de agua, humedad del suelo, calidad y caudal	IN India – Cuenca del Ganges
 Monitoreo ambiental y cambio climático	Evaluación de deforestación, emisiones, desertificación	Global – Global Forest Watch (Brasil, Congo, Indonesia)
 Gestión de desastres	Prevención y respuesta ante incendios, inundaciones, terremotos	AU Australia – Alerta de incendios forestales
 Planeación urbana y expansión	Ánalisis de crecimiento urbano, uso del suelo, zonificación	CN China – Ciudades inteligentes en Pekín y Shenzhen
 Minería y geología	Exploración de minerales y control ambiental	CL Chile – Exploración de cobre con imágenes satelitales
 Seguridad alimentaria	Anticipación de sequías, apoyo a programas humanitarios	África – FAO/WFP usando NDVI y CHIRPS
 Oceanografía y monitoreo costero	Seguimiento de temperatura, floraciones algales, erosión y derrames	PE Perú – Monitoreo del fenómeno El Niño con Sentinel-3
 Arqueología y patrimonio	Descubrimiento de ruinas ocultas y monitoreo de sitios culturales	GT Guatemala – Ciudades mayas con LiDAR
 Defensa y vigilancia	Observación de fronteras, movimientos, embarcaciones y cambios territoriales	UA Ucrania – Monitoreo de infraestructura y conflicto

CONCLUSIÓN

- ▶ Este fue un curso de Teledetección, enfocado a la comprensión profunda de las Imágenes Pasivas y Activas, Fundamentos y Machine Learning.
- ▶ Durante este curso se consolidaron los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para comprender y aplicar técnicas de teledetección basadas en sensores pasivos (plataformas satelitales como Sentinel-2, MODIS) y activos (como Sentinel-1 o radares SAR). Se analizaron sus principios físicos, ventajas comparativas, limitaciones y aplicaciones en el monitoreo de la superficie terrestre.
- ▶ Se abordaron las características técnicas de las plataformas satelitales y de drones
- ▶ En la teledetección pasiva, se abordaron conceptos como la reflectancia espectral, índices de vegetación (NDVI, EVI, etc.), y el uso de espectros multiespectrales e hiperespectrales para la caracterización biofísica de coberturas. Por su parte, la teledetección activa permitió explorar la utilidad de la polarización (HH, HV, VV, VH) y el coeficiente CR para el análisis de estructuras, humedad del suelo y cobertura vegetal, incluso en condiciones de nubosidad.

CONCLUSIÓN



Complementariamente, se introdujeron técnicas de **aprendizaje automático supervisado**, como Random Forest, SVM y XGBoost, para realizar clasificaciones temáticas, segmentaciones y predicciones basadas en información espectral y polarimétrica. Estas herramientas permitieron automatizar la interpretación de imágenes, mejorar la precisión de los análisis y generar productos útiles para agricultura, monitoreo ambiental, gestión del territorio y cambio climático.



Se presentó el manejo de plataformas de procesamiento de imágenes multiespectrales como QGIS y SNAP.



Se abordó el manejo de Google Earth Engine, plataforma de descarga de imágenes Copernicus, Sentinel Hub y directamente desde Python en Google Colab



Este enfoque integral capacita al estudiante para abordar desafíos reales con un criterio científico-técnico, integrar fuentes de datos complementarias, y diseñar flujos de trabajo reproducibles que conectan la adquisición de imágenes satelitales y de dron con el análisis avanzado basado en inteligencia artificial.

Obrigado
MATONDO
Obrigado DANK JE
DANK JE
Kia Ora Kiitos
SPASIBO
ASANTE Mamana Grazie
Maake
Grazie
Kiitos
Multumesc
Matondo
ASANTE Obrigado
Raibh Maith Agat
Chokrane
Multumesc Mochchakkeram SPASIBO
NIRRINGRAZZJAK Raibh Maith Agat Obrigado
SPASIBO
MAAKE
Kiitos
Matondo Matur Nuwun Chokrane
Salamat SPASIBO Multumesc
DANK JE
MAMAKF
Mochchakkeram

Mamana
SPASIBO KIITOS
THank Juspa
DANK JE
Gracias DANK JE
Grazie SPASIBO
Kiitos
Obrigado Mochchakkeram
Chokrane
Obrigado Chokrane
Raibh Maith Agat
Kiitos
Mochchakkeram
Chokrane
Grazie
Raibh Maith Agat
Multumesc Matondo
Obrigado SPASIBO
Grazie ASANTE Matur Nuwun SPASIBO
Cam on ban
Raibh Maith Agat
Kiitos
Merci
Obrigado Ua Tsaug Rau Koj
DANK JE
Arigato Ua Tsaug Rau Koj
DANK JE
MAAKF Obrigado Multumesc
Mochchakkeram