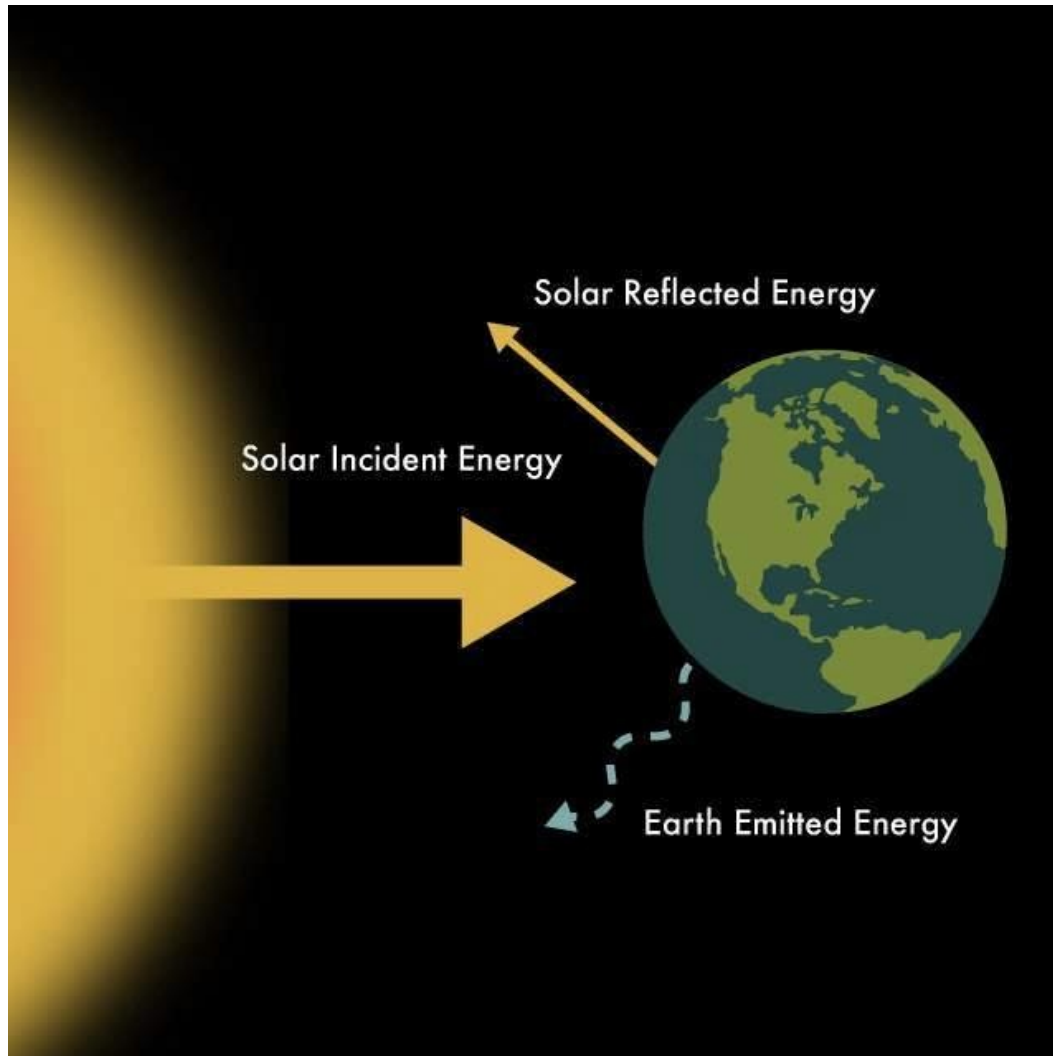


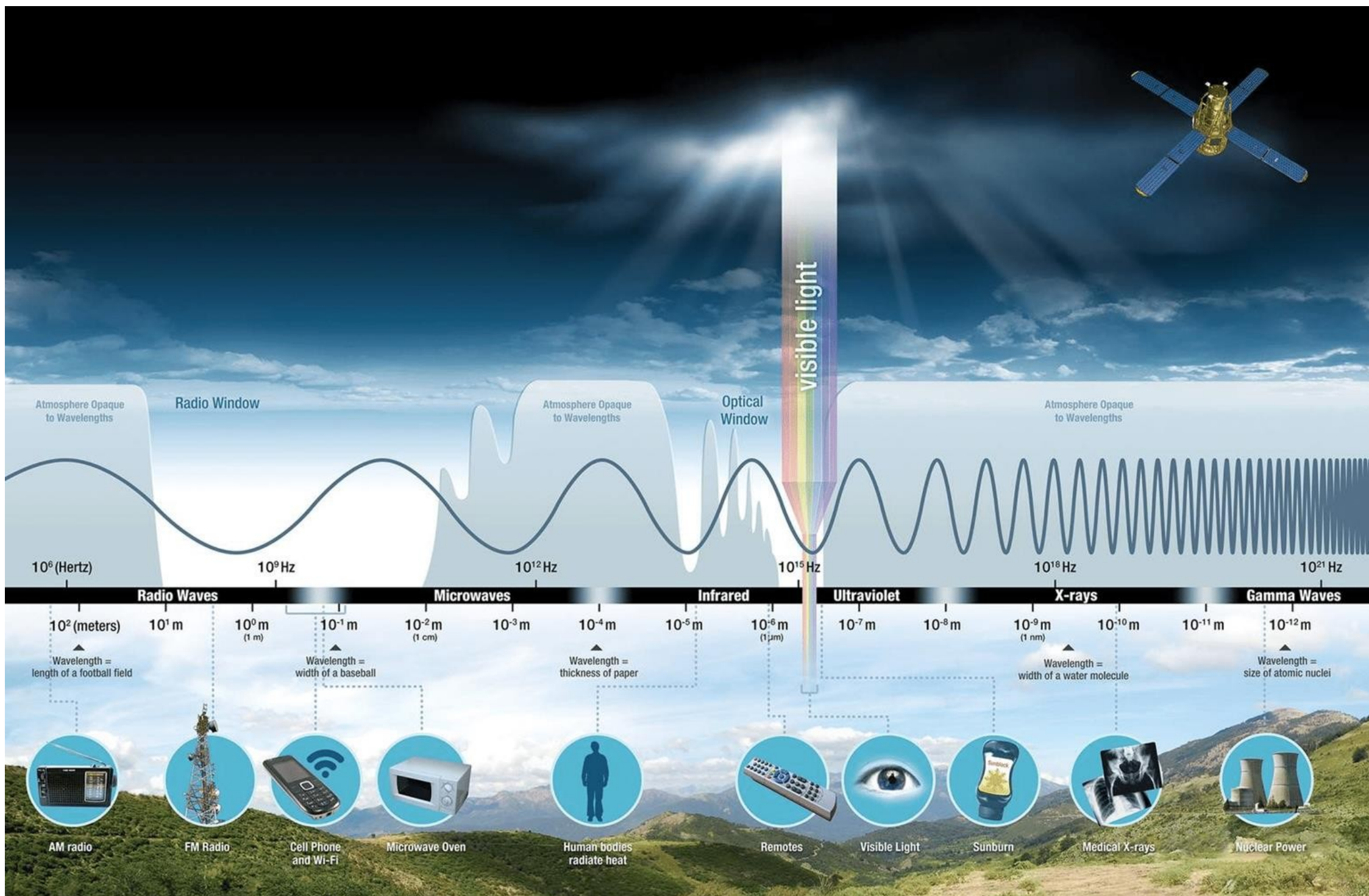


# Teledetección



- La energía que la Tierra recibe del Sol se llama radiación electromagnética.
- La radiación es reflejada, absorbida y emitida por la superficie de la Tierra como se ve en este diagrama a la izquierda.
- Los satélites llevan instrumentos o sensores que miden la radiación electromagnética reflejada o emitida por fuentes tanto terrestres como atmosféricas.
- Con instrumentos calibrados, los científicos pueden medir la altura, temperatura, el contenido húmedo (y más) para casi todos los atributos de la atmósfera, hidrosfera, litosfera e biosfera de la Tierra.

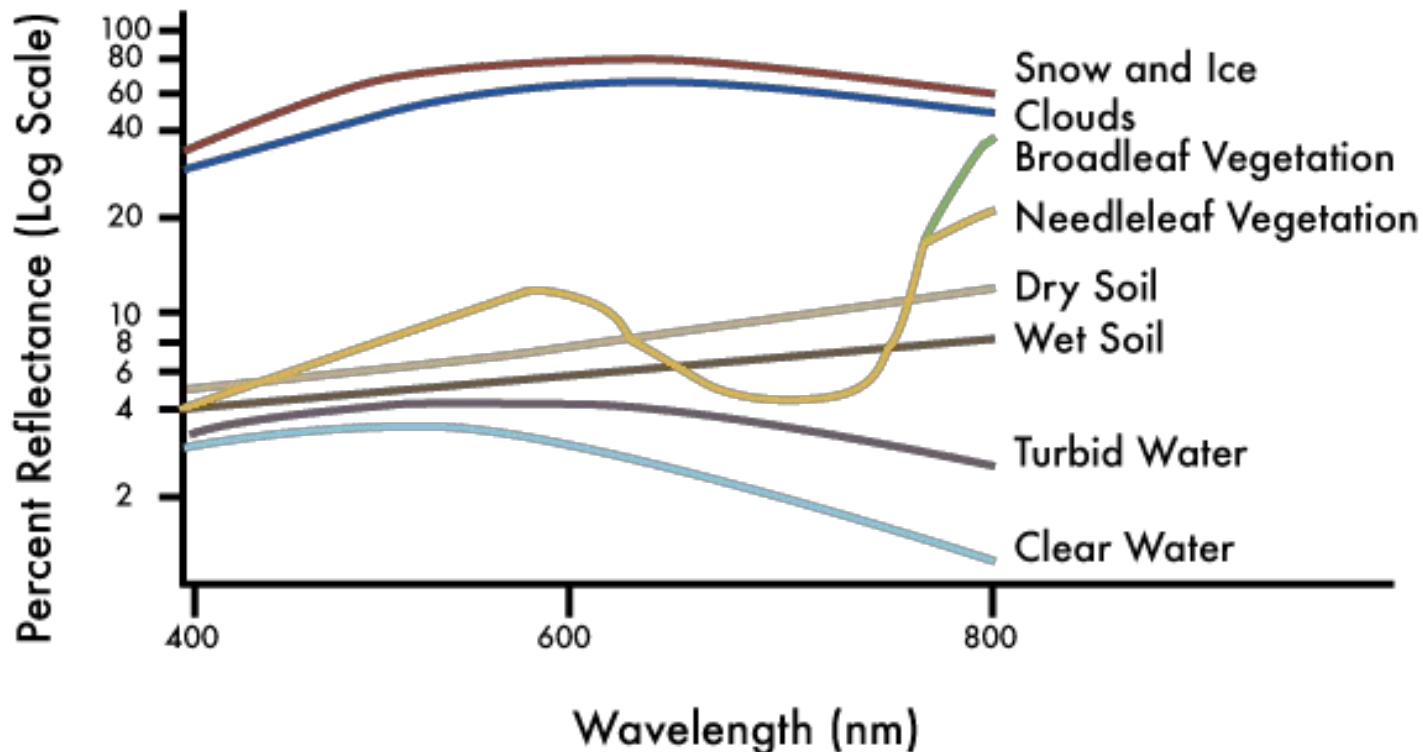




# Teledetección

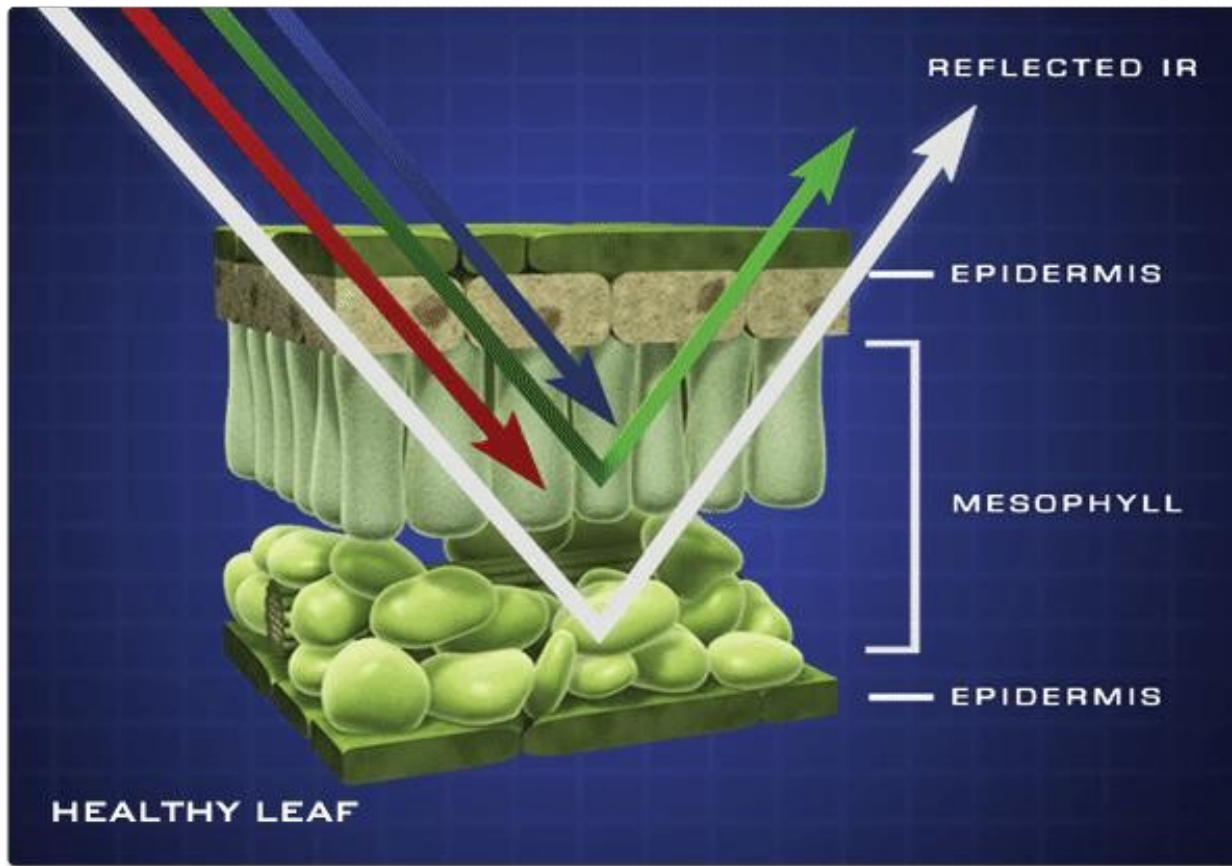
- El **espectro electromagnético** es simplemente la gama completa de frecuencias de ondas que caracteriza a radiación solar.
- Aunque estamos hablando de la luz, la mayor parte del espectro electromagnético no puede ser detectada por el ojo humano. Incluso los detectores a bordo de los satélites solo capturan una pequeña porción del espectro electromagnético completo

# Teledetección



Diferentes materiales reflejan y absorben ondas de radiación electromagnética de diferentes longitudes. Se pueden ver las diferentes longitudes de las ondas detectadas por un sensor y determinar el tipo de material del cual fueron reflejadas. Esto se conoce como una **firma espectral**. En el gráfico a la izquierda, compare la relación entre el porcentaje de reflectancia y las longitudes de onda reflectivas de los diferentes componentes de la superficie terrestre

# Teledetección



- Ciertos pigmentos en las hojas de las plantas absorben fuertemente las longitudes de onda de la luz visible (roja).
- Las hojas en sí reflejan fuertemente las ondas de luz infrarroja cercana, esta siendo invisible para el ojo humano.
- A medida que un dosel de vegetación va cambiando, del crecimiento al principio de la primavera, a la madurez al final de la temporada y la senescencia, las propiedades de la reflectancia también cambian.
- Como no podemos ver la radiación infrarroja, la vegetación saludable la vemos como verde.



# Teledetección

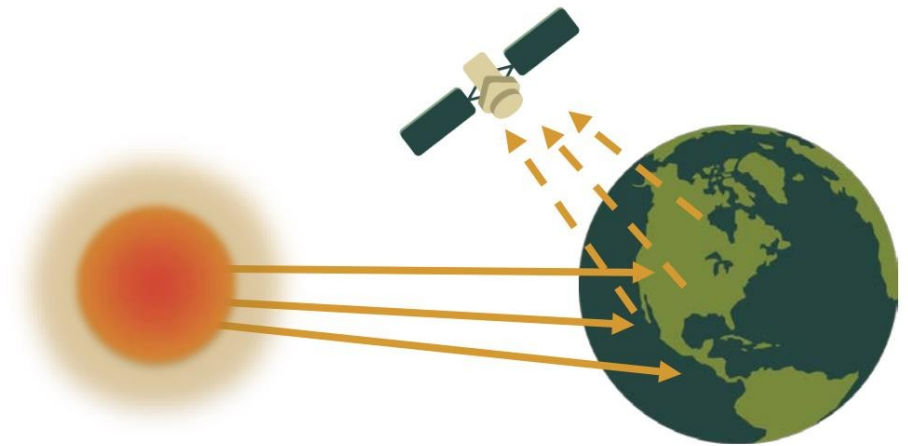


Las longitudes de onda más largas (verdes y rojas) y la radiación infrarroja cercana son más absorbidas por el agua que las longitudes de onda más cortas (azules) – por lo tanto, el agua normalmente se ve azul o verde-azul.

# Sensores Satelitales

- Los sensores remotos pasivos miden energía radiante reflejada o emitida por el sistema Tierra-atmósfera o cambios en la gravedad de la Tierra.
- La energía radiante se convierte en cantidades biogeofísicas como temperatura, precipitación y humedad del suelo.
- Ejemplos: Landsat OLI/TIRS, Sentinel 2 MSI, Terra MODIS, etc.

Passive Sensors

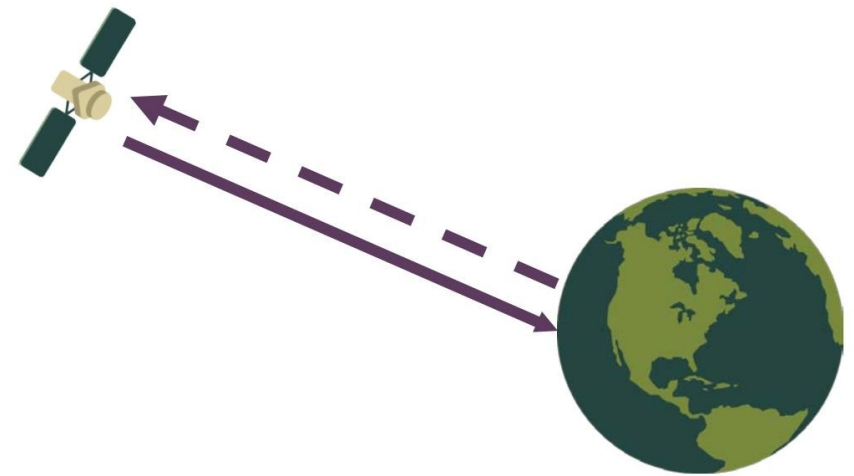




# Sensores Satelitales

- Los sensores activos proporcionan su propia fuente de energía para la iluminación
- La mayoría de los sensores activos opera en la región de las microondas en el espectro electromagnético, lo que permite penetrar la atmósfera bajo la mayoría de las condiciones y se pueden usar de día o de noche.
- Tienen una variedad de aplicaciones relacionadas con la meteorología y la observación de la superficie y atmósfera de la Tierra.
- Ejemplos: Altimetros de Laser, LiDAR, RADAR, Dispersómetros, Sondas
- Misiones: Sentinel-1 (C-SAR), ICESat-2 (ATLAS), GPM (DPR)

Active Sensors

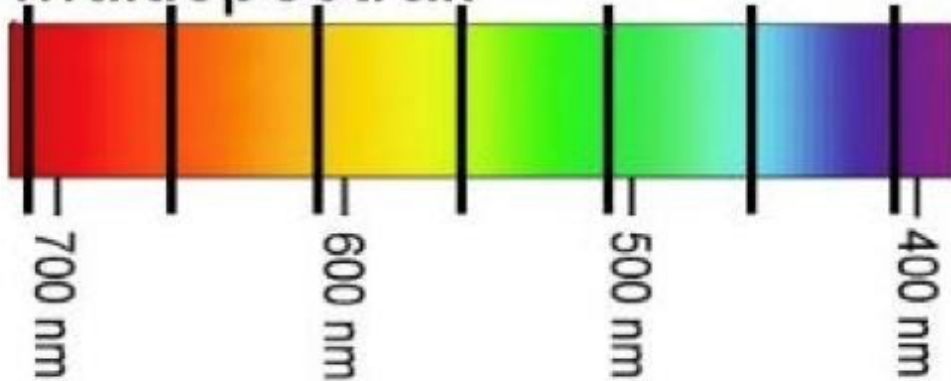


<https://earthdata.nasa.gov/learn/remote-sensors/active-sensors>

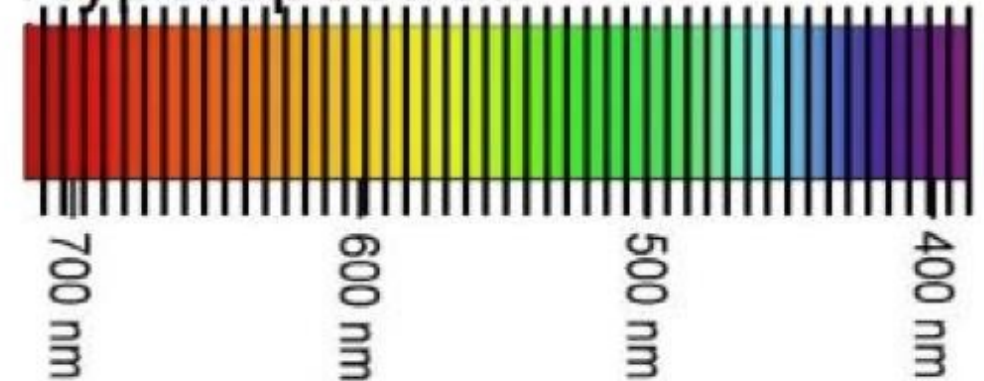
# Resolución espectral

- La resolución espectral depende de la configuración de la órbita del satélite y el diseño del sensor.
- Diferentes sensores tienen diferentes resoluciones.
- Significa el número y el ancho de las bandas espectrales del sensor. Cuanto más alta sea la resolución espectral, más angosta será la gama de longitudes de onda para un determinado canal o banda.
- Un mayor número de canales espectrales más finos permite la teledetección de diferentes partes de la superficie Terrestre.
- Por lo general, las imágenes multispectrales se refieren a 3 hasta 10 bandas, mientras que las imágenes hiperespectrales consisten en centenares o millares de bandas (más angostas, es decir, una resolución espectral más alta). La pancromática es una sola banda ancha que recolecta una amplia gama de longitudes de onda.

Multispectral:



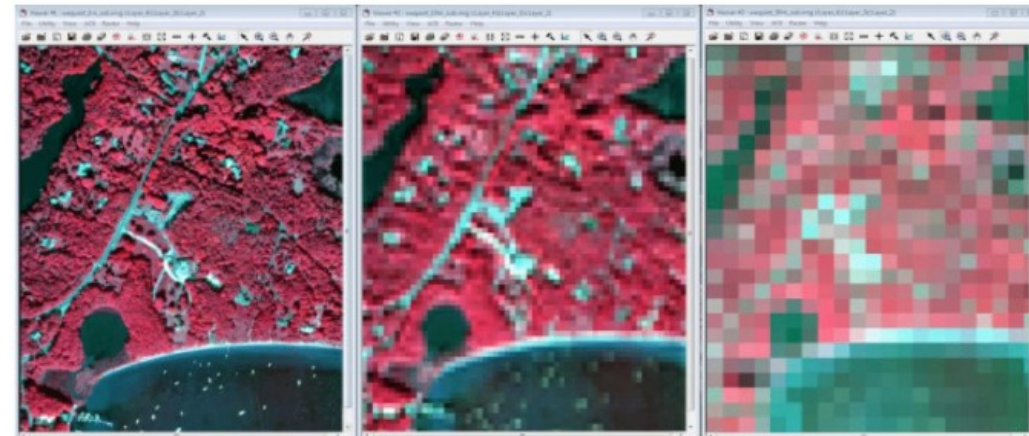
Hyperspectral:



# Resolución espacial

- La resolución espacial depende de la configuración de la órbita del satélite y el diseño del sensor. Diferentes sensores tienen diferentes resoluciones.
- Significa la superficie que forma un píxel en la imagen. Los objetos de tamaño sub-píxel a veces se pueden resolver.
- Normalmente se presenta como un valor único representando la longitud de un lado de un cuadrado.
- Cuanto más alta sea la resolución espacial, menos área cubre un solo píxel.
- La imagen en la parte inferior derecha muestra la misma imagen con diferentes resoluciones: (de izquierda a derecha) 1 m, 10 m y 30 m

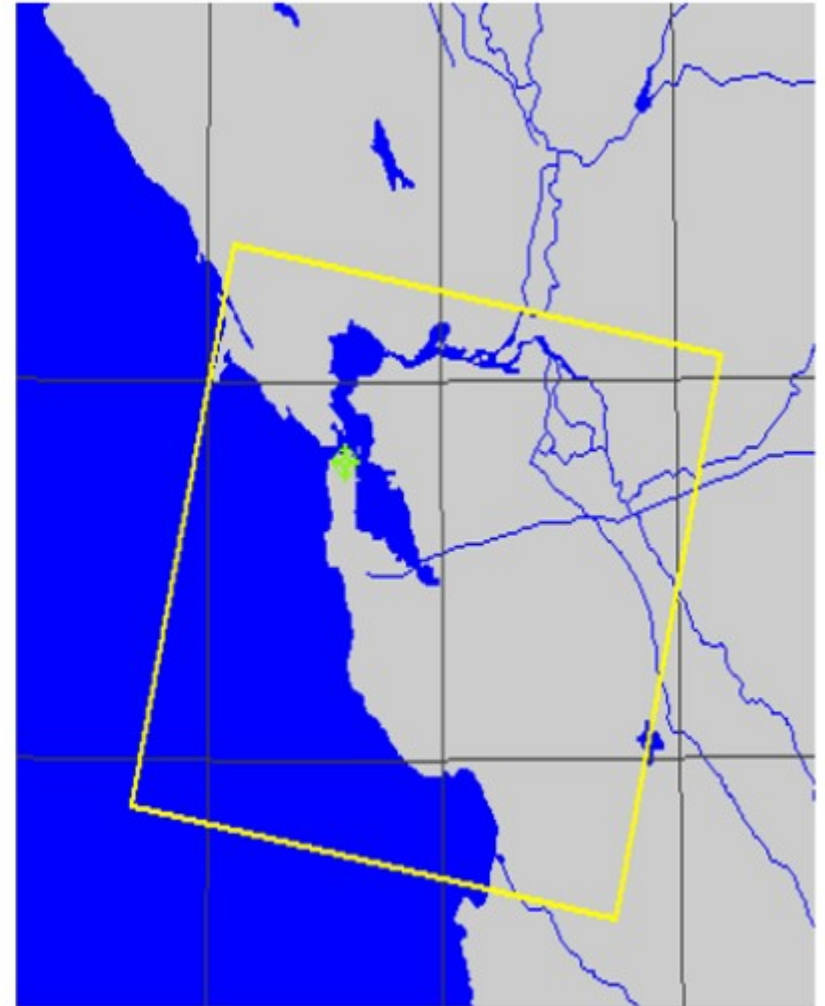
Sensor	Resolución Espacial
DigitalGlobe (y otros)	<1 m - 4 m
Landsat	30 m
MODIS	250 m - 1 km
GPM IMERG	~10 km



# Resolución espacial



MODIS (250 m - 1 km)



Landsat OLI (30 m)

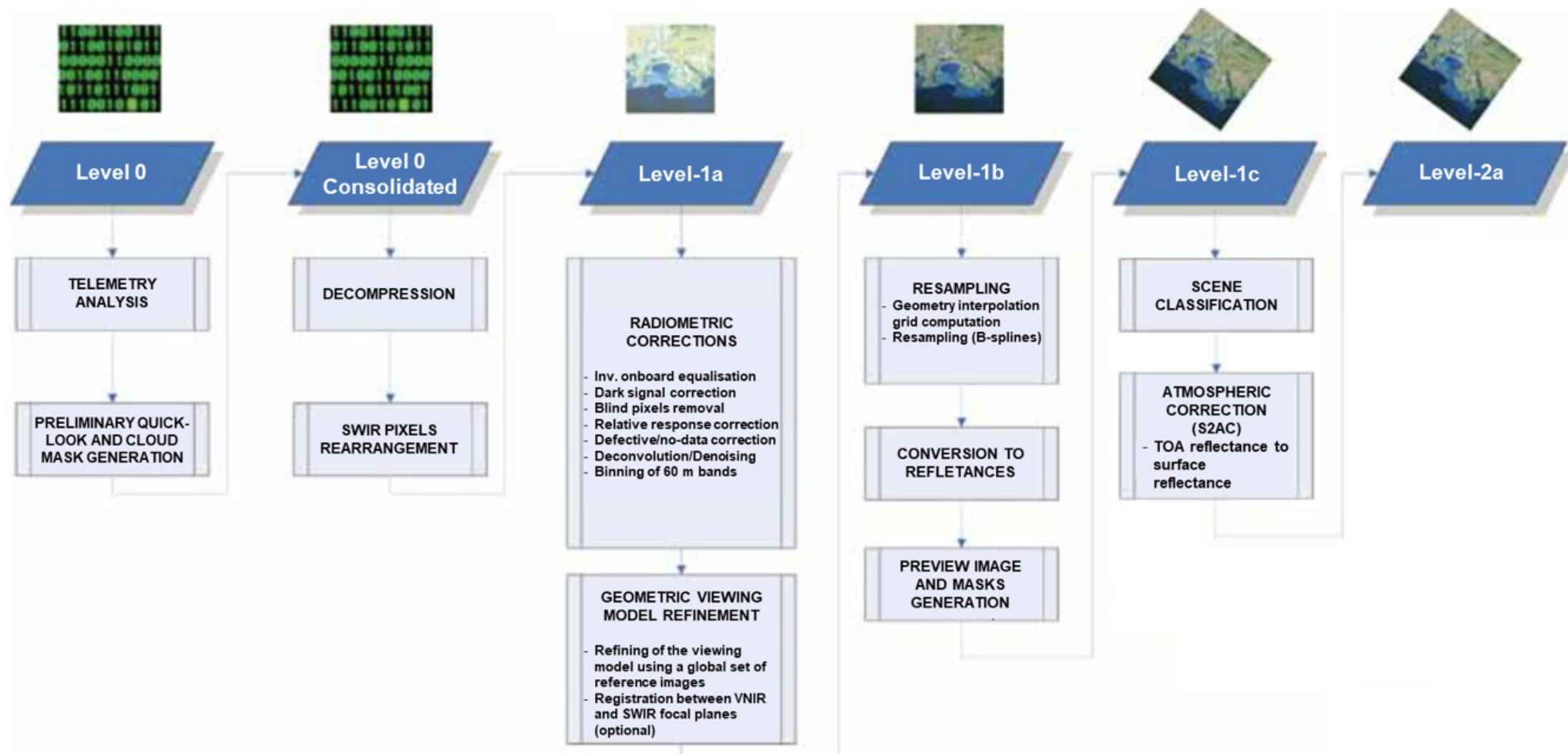


# Resolución Temporal

- El tiempo que tarda un satélite para completar un ciclo de órbita—también llamado “tiempo de revisita”
- Depende de las capacidades del satélite/sensor, solapa del barrido y latitud
- Algunos satélites tienen una mayor resolución temporal porque:
  - Pueden maniobrar sus sensores
  - Tienen una mayor solapa a latitudes mayores

# Niveles de Procesamiento de Datos Satelitales

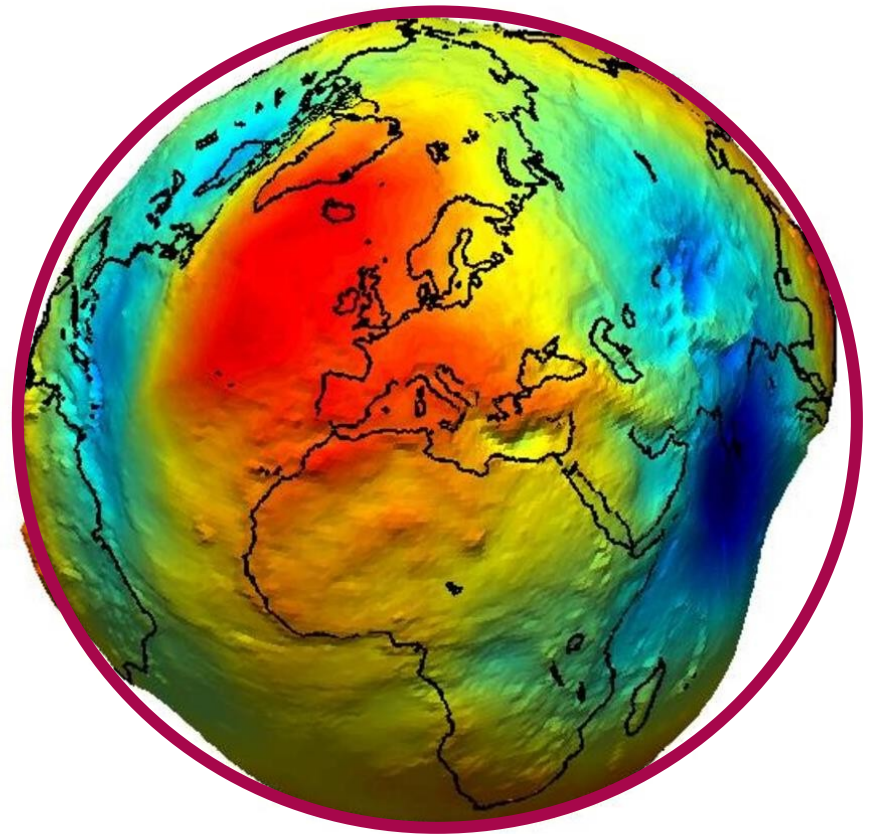
- Los datos satelitales están disponibles en diferentes etapas (o niveles) de procesamiento, de datos brutos recolectados del satélite hasta productos refinados que visualizan la información.
- La NASA toma los datos de los satélites y los procesa para hacerlos más utilizables para una gran variedad de aplicaciones. Existe una especie de terminología que la NASA utiliza para referirse a los niveles de procesamiento que realiza:
  - Nivel 0 y Nivel 1- Datos brutos de los instrumentos que pueden estar referenciados en el tiempo. Son los más difíciles de usar.
  - Nivel 2- Datos de Nivel 1 que han sido convertidos en alguna cantidad geofísica mediante un algoritmo computacional (proceso conocido como extracción). Los datos están georreferenciados y calibrados.
  - Nivel 3- Datos de Nivel 2 que han sido mapeados sobre una cuadrícula espacio-temporal uniforme y que han pasado por un proceso de control de calidad.
  - Nivel 4- Datos de Nivel 3 que han sido combinados con modelos o datos de otros instrumentos.



# Sistemas de coordenadas

Para poder visualizar datos espaciales de manera espacialmente consistente, usamos un **esferoide elíptico** para aproximar la superficie de la Tierra.

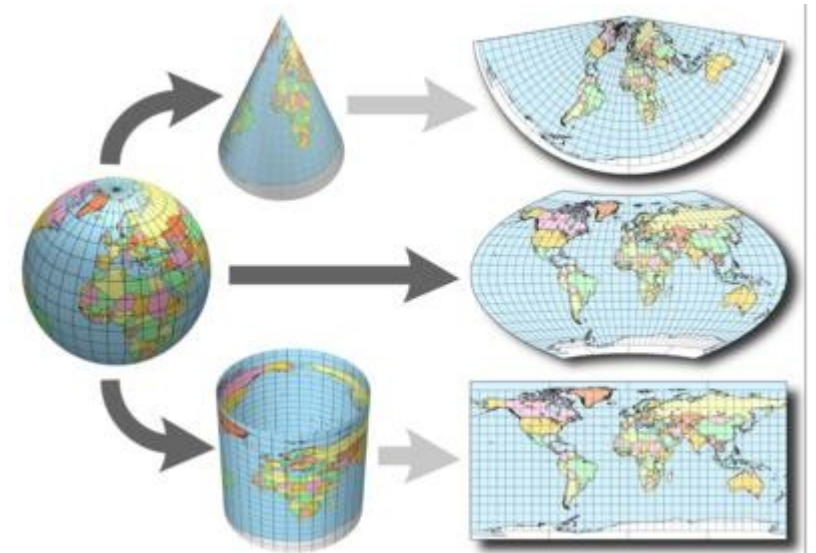
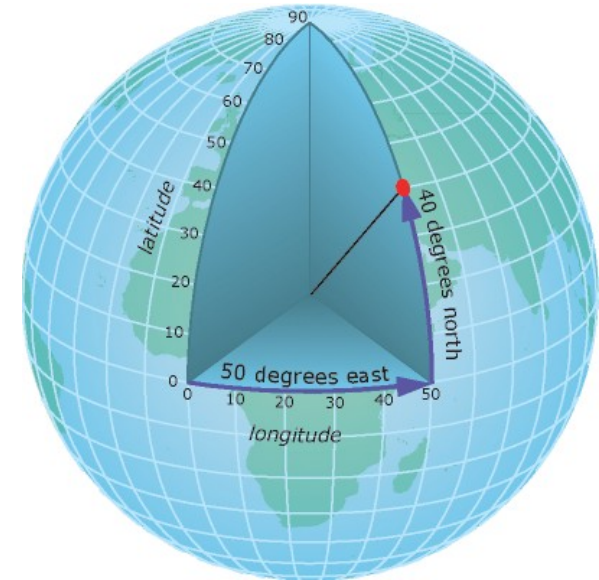
- Ningún esferoide es un equivalente perfecto, así que se utilizan diferentes aproximaciones.
- Cada aproximación coincidirá mejor con alguna parte de la superficie de la Tierra que con otras.
- Cada uno de estos esferoides se calcula usando un **datum** específico como punto de referencia.



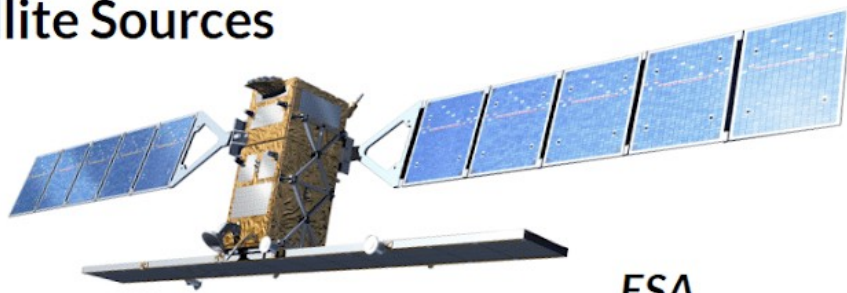


# Sistemas de coordenadas

- Todos los datos espaciales, incluso las imágenes satelitales, deben ser indexados, o georreferenciados, a un punto fijo en la superficie de la Tierra.
- El mapeo de un punto o un píxel de datos con una ubicación específica en el suelo requiere un sistema de coordenadas de referencia (**coordinate reference system o CRS**).
- Hay dos tipos de sistemas de coordenadas que se utilizan comúnmente, los de coordenadas geográficas (WGS84) y los de coordenadas proyectadas (UTM).



## Public Satellite Sources



**ESA**  
Sentinel-1A



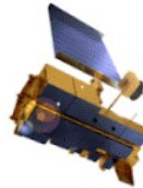
**USGS/NASA**  
Landsat 8



**USGS/NASA**  
Landsat 7

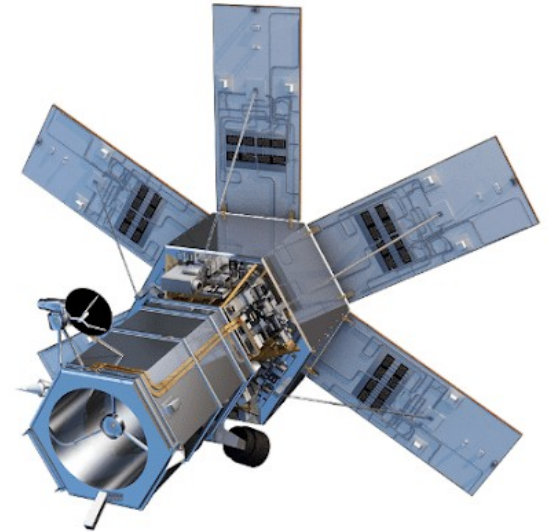


**ESA**  
Sentinel-2A/B



**USGS/NASA**  
**MODIS** Terra / Aqua

## Commercial Satellite Sources



**Maxar**  
(Digital Globe)  
WorldView



**Airbus**  
Pleiades, SPOT



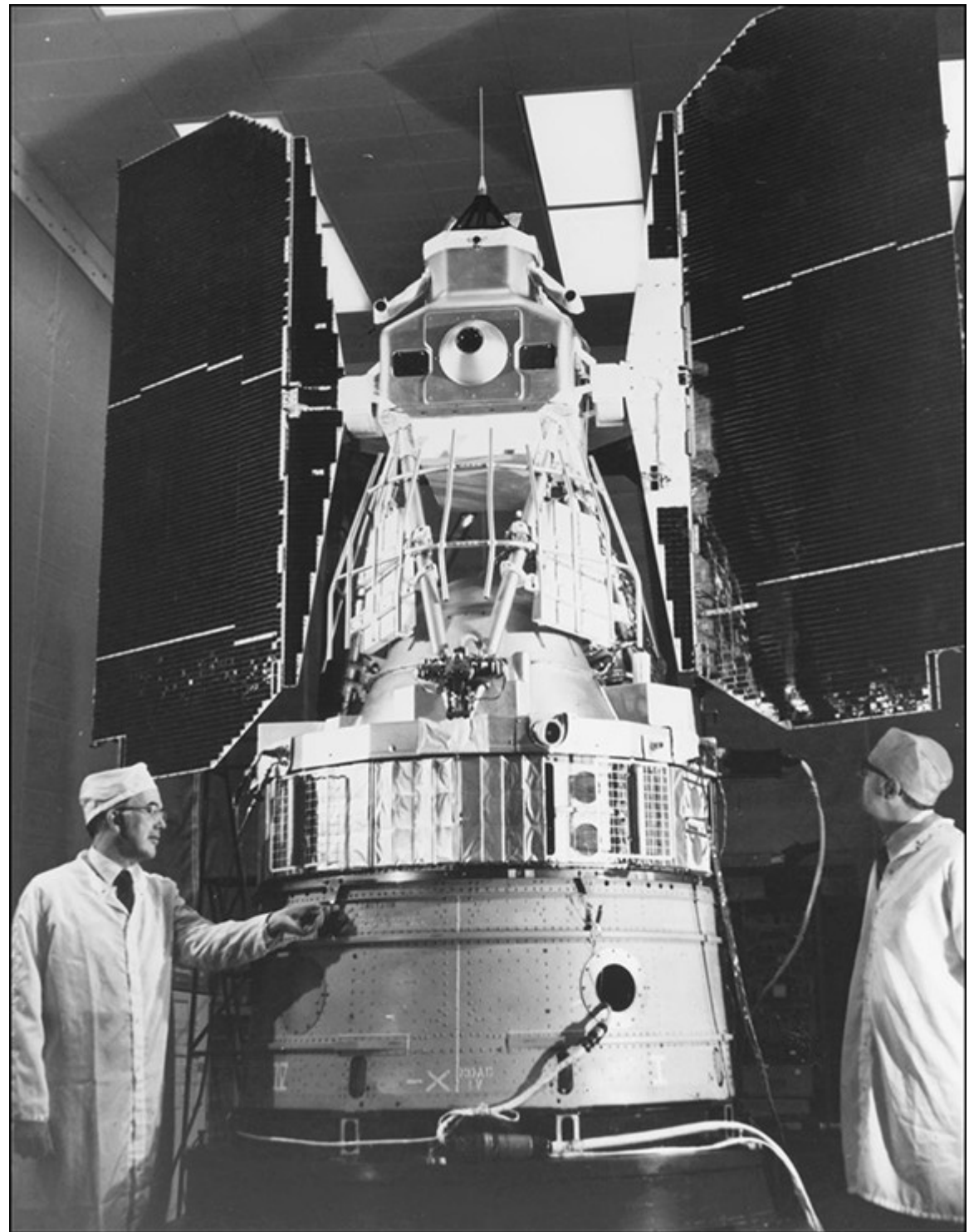
**Planet**  
Dove, SkySat

# Landsat 1

**Landsat 1** (originalmente llamado "Earth Resources Satellite-1")

- Lanzado el 23 de julio de 1972
- Sensor: Multispectral Scanner (MSS)
- Gama espectral: 0,5 – 1,1  $\mu\text{m}$  (verde, rojo y dos bandas infrarrojas)
- Fue el primer satélite para la observación de la tierra lanzado con el propósito expreso de estudiar y monitorear las masas continentales del planeta
- Contribuyó al desarrollo de pronósticos de producción de cultivos, dando inicio a un sistema de monitoreo agrícola a nivel mundial que perdura hasta hoy

<https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-1/>



# Landsat 9

Operational Land Imager 2  
(OLI-2)

Cuerpo del  
satélite

Thermal Infrared Sensor 2  
(TIRS 2)





# 5 years protecting our planet: Happy Birthday Sentinel-2A!

Copernicus mission delivers oodles of valuable data for many applications.

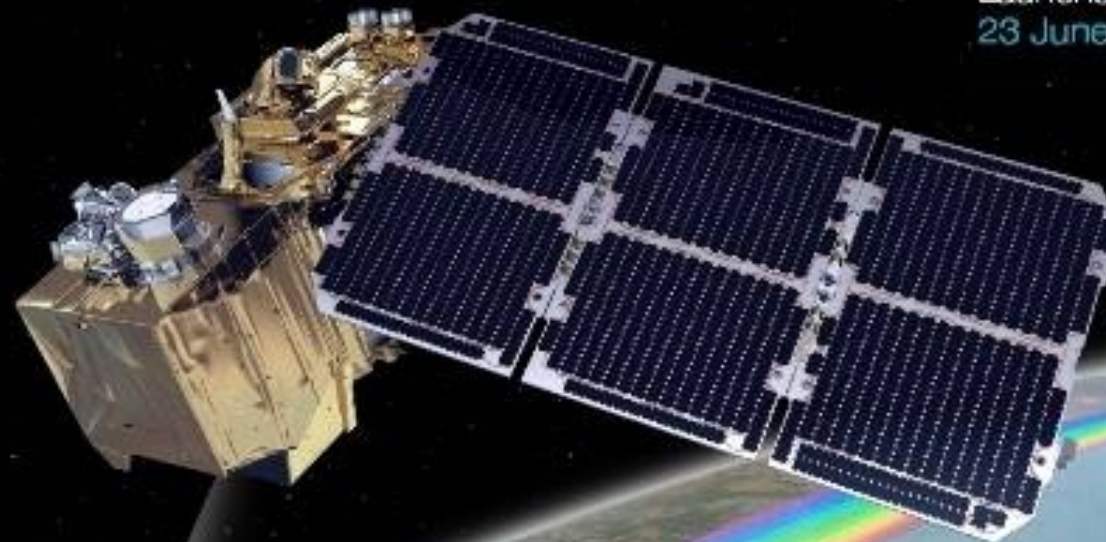
Launched on  
23 June 2015

Orbited Earth  
more than  
26,000 times

Travelled more than  
1200 million km  
in space

## The mission

Helping crop yield prediction,  
water pollution monitoring,  
disaster mapping and  
deforestation prevention.



2019 - delivery of  
390 terabytes of  
data per month

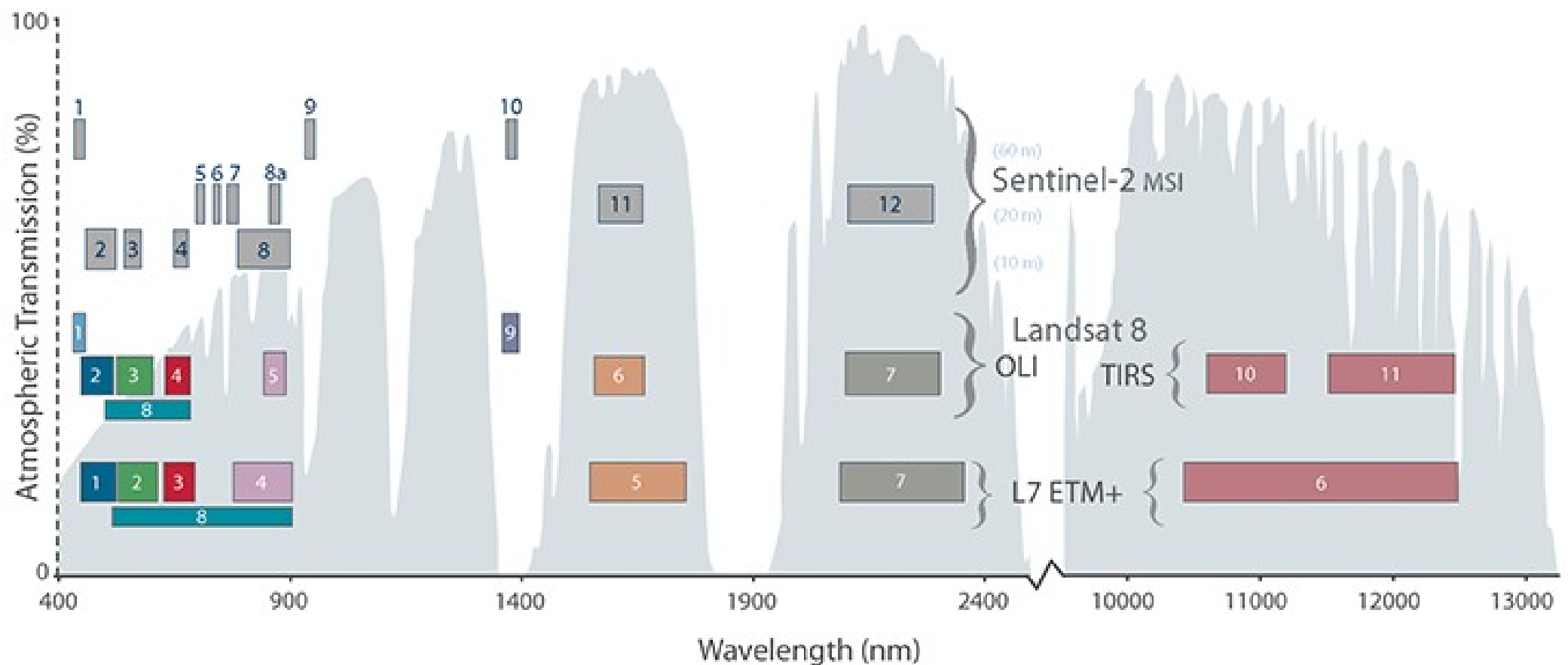
Swath width of  
290 km

Fresh views of Earth's  
land surface every 5 days

AIRBUS

# Resolución espectral

Comparison of Landsat 7 and 8 bands with Sentinel-2



# MODIS

## Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer\* (MODIS)

– A bordo de dos plataformas NASA:

- Terra (1999-hoy)

- Aqua (2002-hoy)

– Resolución Espacial: 250 m, 500 m, 1 km

– Resolución Espectral: 36 bandas con varias longitudes de onda entre 0,4  $\mu\text{m}$  y 14,4  $\mu\text{m}$

– Resolución Temporal: Diaria, 8 días, 16 días, mensual, anual

– 2000 – Hoy

– Cobertura global con lagunas orbitales en las latitudes tropicales

Nombre MODIS	Nombre del Producto <i>Nombre Corto</i>	Resolución Espacial (m)	Resolución Temporal
MOD 09	Reflectancia Superficial	250, 500	Diaria, 8 Días
MOD 11	Temperatura de la Superficie Terrestre	1000	Diaria, 8 Días
MOD 12	Cobertura del Suelo/Cambios	500	8 Días, Anual
MOD 13	Índices de Vegetación	250, 500, 1000	8 Días, 16 Días, Mensual
MOD 14	Anomalías Térmicas/Incendios	1000	Diaria, 8 Días
MOD 15	Índice de Área Foliar/Fracción de Radiación Fotosintéticamente Activa Absorbida (FPAR)	500	4 Días, 8 Días
MOD 16	Evapotranspiración	500	8 Días, Anual
MOD 17	Producción Primaria	500	8 Días, Anual
MOD 43	Función de Distribución de Reflectancia Bidireccional (BRDF)/Albedo	500, 1000	16 Días
MOD 44	Campos Continuos de Vegetación	250	Anual
MOD 45	Área Quemada	500	Mensual

# Sentinel-1

- Constelación de dos satélites de órbita polar
- Radar de Apertura Sintética Banda-C (C-SAR)
- Resolución Temporal: 12 días
- Doble Polarización: VV+VH o HH+HV
- 2014 – Hoy

Frecuencia de Banda	Ejemplo de Aplicación
VHF	Follaje y Penetración en el Suelo, Biomasa
Banda-P	Biomasa, Humedad del Suelo, Penetración
Banda-L	Agricultura, Silvicultura, Humedad del Suelo
Banda-C	Océano, Agricultura
Banda-X	Agricultura, Océano, Radar de Alta Resolución
Banda-Ku	Glaciología (mapeo de la cobertura de nieve)
Banda-Ka	Radar de Alta Resolución



# Radar de Apertura Sintética (SAR)

- Ventajas

- Funciona en casi cualquier condición climática
- Funciona de día o de noche
- Penetra a través de la cobertura vegetal
- Penetra a través del suelo
- Los efectos atmosféricos son mínimos
- Es sensible a propiedades dieléctricas (agua líquida vs. congelada)
- Sensible a la estructura

- Desventajas

- El contenido informático es diferente al de los sensores ópticos y a veces es difícil de interpretar
- Efecto “speckle” (‘granos’ en la imagen)
- Efectos de la topografía

# Aplicaciones en agricultura

- Cobertura local a global oportuna y objetiva
- Útil para observar áreas inaccesibles
- Para monitorear el crecimiento de plantas y estimar el rendimiento de cultivos
- Para evaluar la humedad del suelo y necesidades de irrigación
- Para identificar características y condiciones del suelo y de cultivos
- Mejores pronósticos de precipitación y enfermedades de cultivos
- Para maximizar el rendimiento de cultivos a la vez que se reduce el consumo de energía
- Para evitar el desperdicio de insumos agrícolas (agua, fertilizante y pesticida)

# Aplicaciones en agricultura

- Monitoreo de Cultivos

- Fenología, área de cultivo, tipo de cultivo, condición de cultivo, rendimiento, paisaje irrigado, inundación, sequía, helada, presentación precisa y oportuna de estadísticas agrícolas

- Pronóstico de Cultivos

- Pronósticos precisos de rendimientos o déficits en la producción agrícola y el suministro de alimentos por región y país

- Estabilidad del Mercado

- Reduce la incertidumbre e incrementa la transparencia de la oferta global de alimentos
- Reduce la volatilidad de los precios al anticipar tendencias en el mercado con menor incertidumbre

- Catástrofes naturales

- Seguimiento de inundaciones, desprendimientos, terremotos, etc

- Ayuda Humanitaria

- Monitoreo de la seguridad alimentaria en regiones de alto riesgo a nivel mundial
- Alerta temprana de hambruna, posibilitando la movilización oportuna de una respuesta internacional en forma de ayuda alimentaria

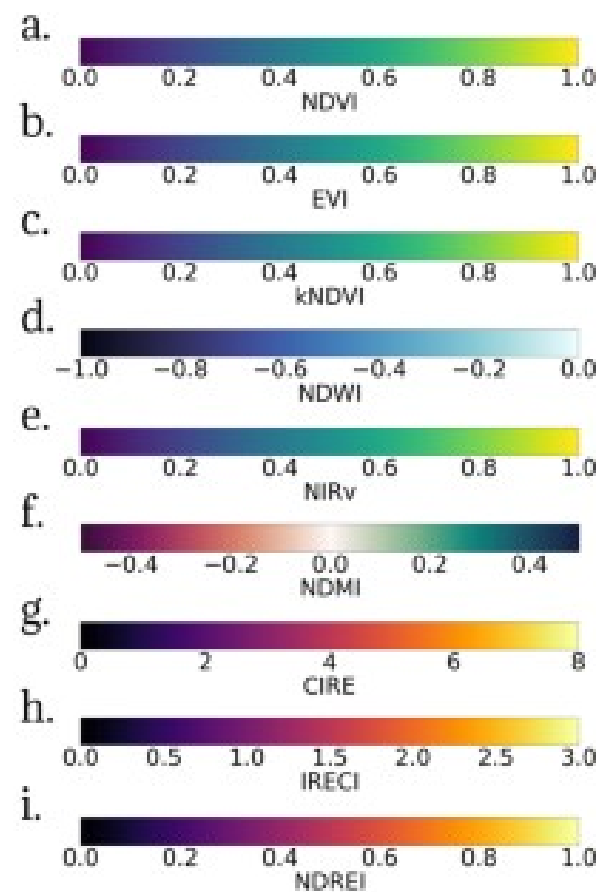
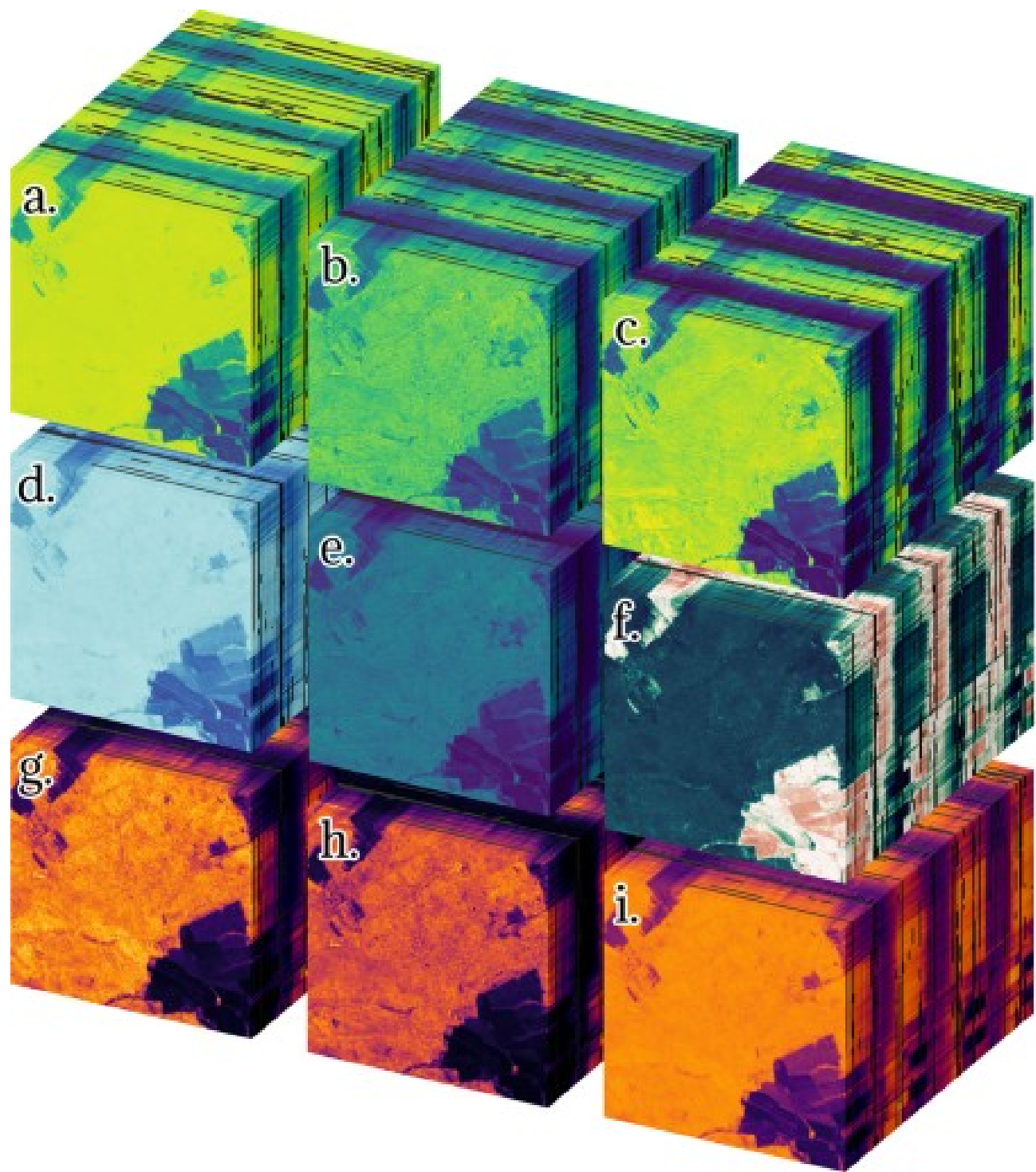
Satélite	Sensor	Reflectancia de la Superficie Terrestre	Evapotranspiración	Temperatura Superficial Terrestre	Precipitación	Humedad del Suelo	Verdor de la Vegetación	Estructura
Terra	MODIS	X	X	X			X	
Aqua	MODIS	X	X	X			X	
Suomi-NPP	VIIRS	X		X			X	
NOAA-20	VIIRS	X		X			X	
Landsat 8	OLI	X					X	
Sentinel 2	MSI	X					X	
Landsat 8 & Sentinel 2	HLS	X					X	
International Space Station	ECOSTRESS		X					
Land Data Assimilation System	Salida modelada		X			X		
Global Precipitation Measurement	GMI, DPR				X			
CHIRPS	Múltiples				X			
Soil Moisture Active Passive	Radar banda-L					X		
Sentinel 1	Radar banda-C							X

# Acceso a los datos

- Sentinel Scientific Data Hub (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/>)
- USGS Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>)
- Google Earth Engine (<https://earthengine.google.com/>)
- STAC (<https://stacspec.org>)



A detailed map of Costa Rica illustrating the proposed road route from San José to Puerto Armuelles. The route is marked with a thick orange line, starting from San José, passing through Cartago, San Marcos, Puntarenas, Ciudad Cortés, Ciudad Neily, and David, before reaching Puerto Armuelles. The map also shows the Rio San Juan de Nicaragua and the Rio Coen. Other cities labeled include San Miguelito, Morillo, Los Chiles, Boca de Sábalo, Greytown, Upala, San Rafael, Bagaces, Cañas, Tilarán, Ciudad Quesada, Las Juntas, Miramar, Espritu Santo, Curridabat, Turrialba, Limón, Bribri, Changuinola, Almirante, Kusapin, Chiriquí Grande, Samboá, Santa Ca, Soloy, Llano Tugrí, Námmoni, San Lorenzo, El Puerto, Lajas, and Tole. The map also shows the Rio San Juan de Nicaragua and the Rio Coen.



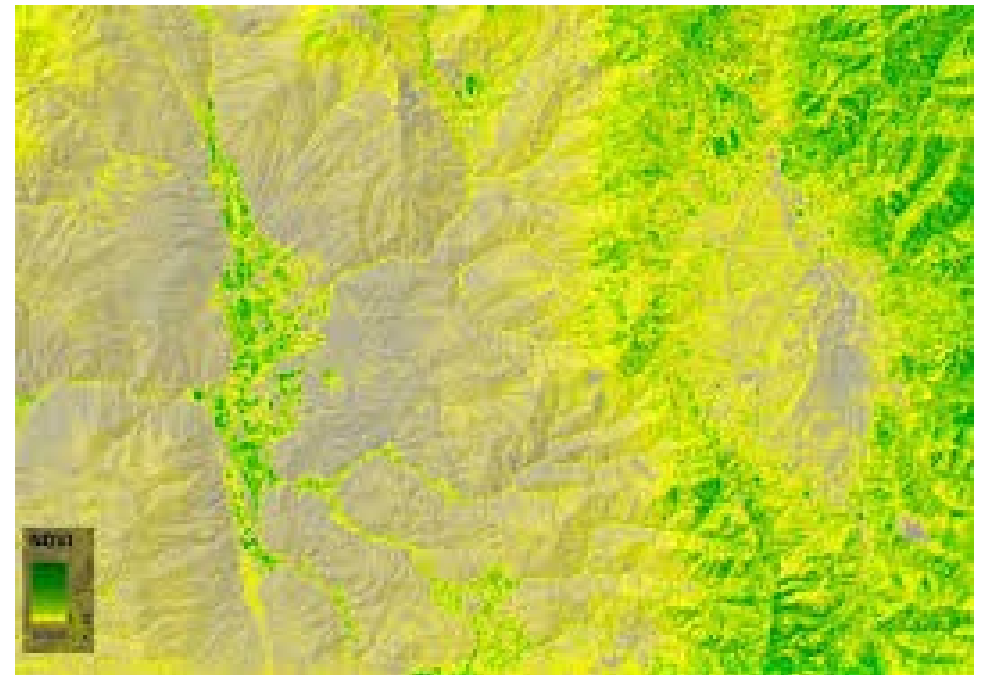
# Índices de Vegetación

- Los Índices de Vegetación, son imágenes calculadas a partir de operaciones algebraicas entre distintas bandas espectrales.
- El resultado permite obtener una nueva imagen donde se destacan gráficamente determinados píxeles relacionados con parámetros de las coberturas vegetales: densidad, índice de área foliar y actividad clorofílica.

# Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

- El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, también conocido como NDVI por sus siglas en inglés, es un índice de vegetación que se utiliza para estimar la **cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación** con base a la medición de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja.
- Se calcula mediante la diferencia entre la reflectancia de las bandas 4 (infrarrojo cercano) y 3 (visible – rojo) dividido por la suma de estas dos bandas de reflectancia.

$$NDVI = \frac{(NIR - VIS)}{(NIR + VIS)}$$

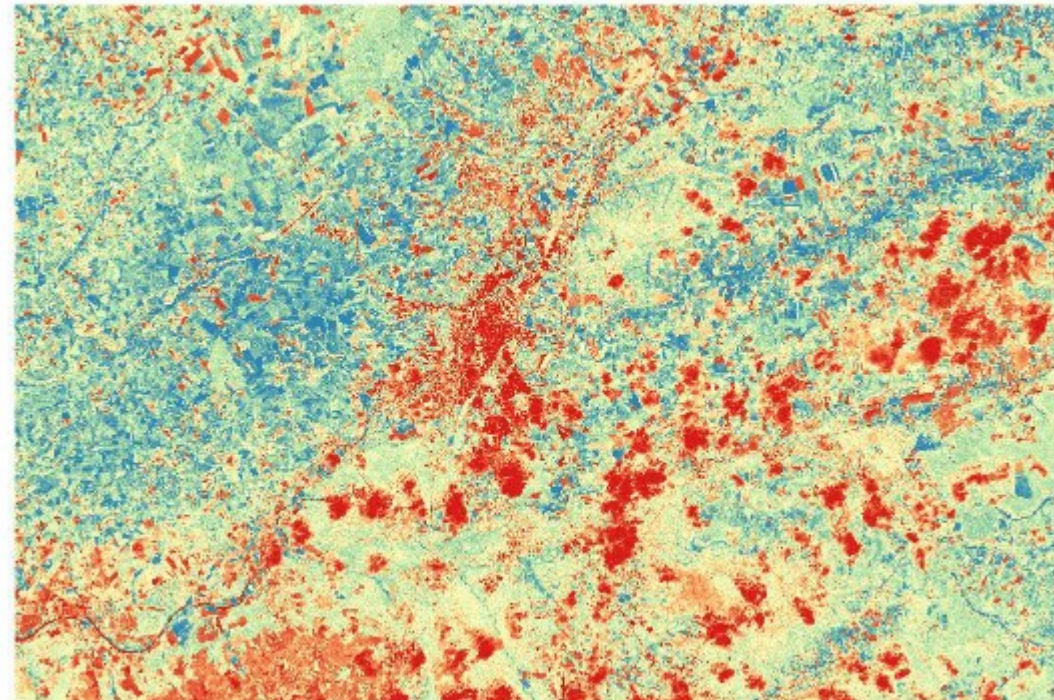




# Índice de Vegetación Mejorado (EVI)

- El Enhanced vegetation index (EVI) o Índice de Vegetación Mejorado intenta expresar los efectos atmosféricos calculando la diferencia de radiancia entre las bandas del Azul y Rojo y nos permite monitorizar el estado de la vegetación en caso de altas densidades de biomasa.
- El proceso resulta ser similar al cálculo del NDVI salvo que, en esta ocasión requerimos, además, la banda correspondiente al Azul del espectro visible.
- Este Índice de Vegetación es útil para analizar **áreas de la Tierra con grandes cantidades de clorofila (como los bosques tropicales)**, y preferiblemente con efectos topográficos mínimos (regiones no montañosas).

$$EVI = G \times \frac{(NIR - RED)}{(NIR + C1 \times RED - C2 \times Blue + L)}$$

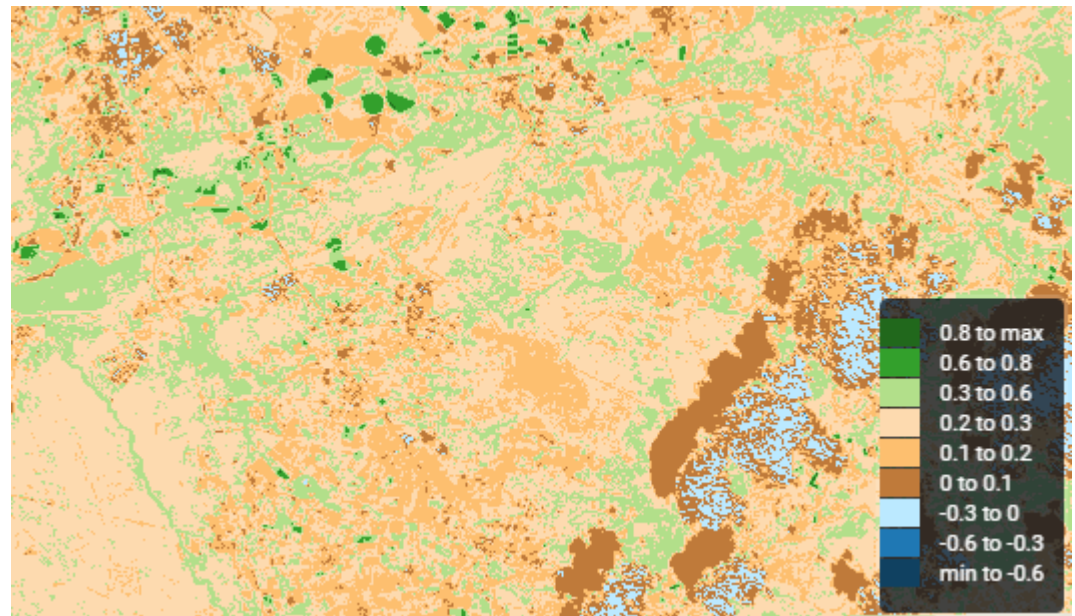




# Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)

- El SAVI o Índice de Vegetación Ajustado al Suelo fue diseñado para **minimizar las influencias del brillo del suelo**. Su creador, agregó un factor de ajuste del suelo L a la ecuación de NDVI para corregir los efectos del ruido del suelo (color del suelo, humedad del suelo, variabilidad del suelo a través de la región, etc.), que tienden a afectar a los resultados.
- Este Índice de Vegetación se utiliza para el análisis de cultivos jóvenes, para **regiones áridas con vegetación escasa** (menos del 15% del área total) y superficies expuestas del suelo.

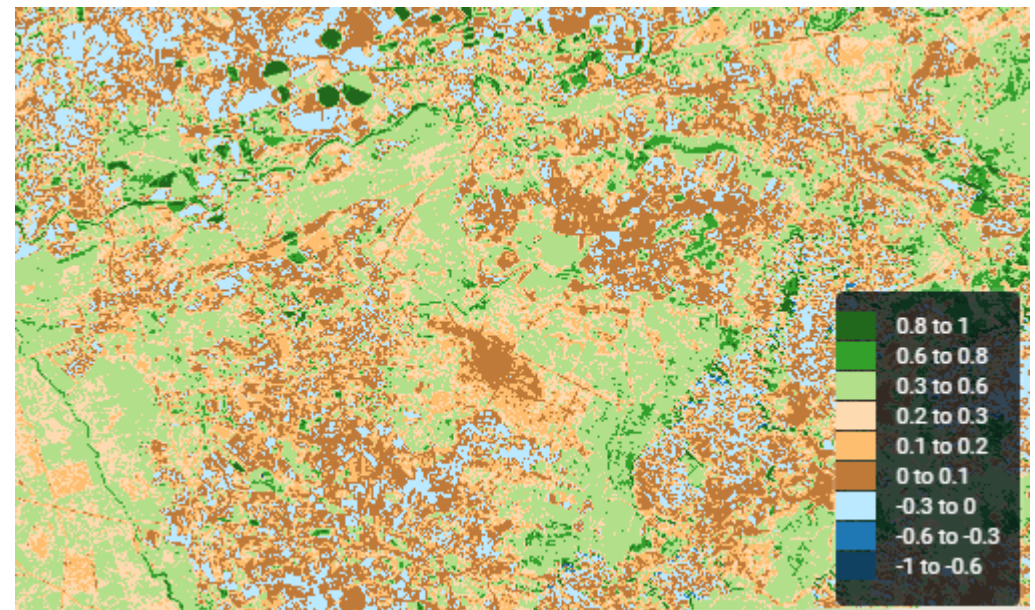
$$SAVI = [(IRC - R) / (IRC + R + L)] (1 + L)$$



# Índice de Vegetación Resistente a la Atmósfera (ARVI)

- Como su propio nombre indica, el ARVI o Índice de Vegetación Resistente a la Atmósfera es el primer índice de vegetación que es relativamente propenso a los factores atmosféricos (como el aerosol).
- La fórmula del ARVI está corregida sobre el NDVI para los efectos de dispersión atmosférica en la reflectancia de la banda Roja mediante el uso de mediciones en longitudes de onda de la banda Azul.
- Su uso suele enfocarse sobre **regiones con alto contenido de aerosol atmosférico** (por ejemplo, lluvia, niebla, polvo, humo, contaminación del aire).

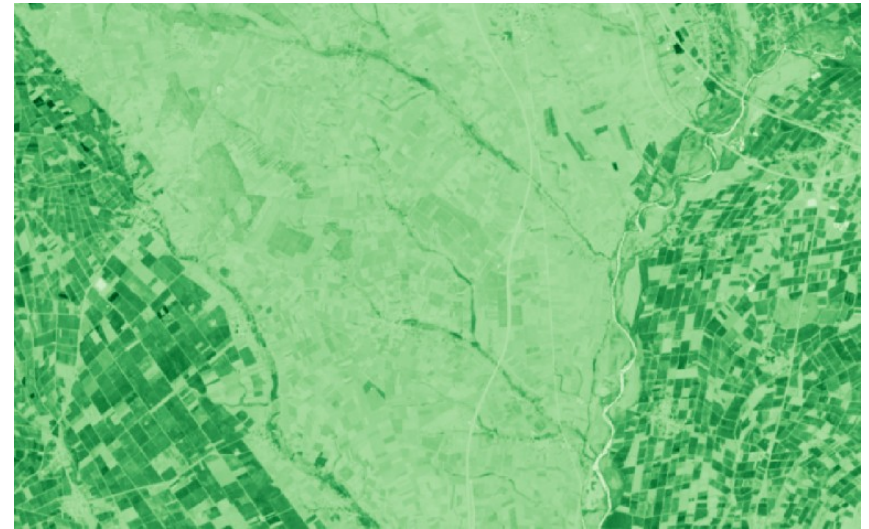
$$\text{ARVI} = (\text{NIR} - (2 * \text{Red}) + \text{Blue}) / (\text{NIR} + (2 * \text{Red}) + \text{Blue})$$



# Índice de Clorofila Verde (GCI)

- El Índice de Clorofila Verde se usa para estimar el contenido de clorofila de las hojas en varias especies de plantas. El contenido de clorofila refleja el estado fisiológico de la vegetación; disminuye en plantas estresadas y, por lo tanto, puede usarse como un evaluador de la vigorosidad de las plantas.
- Este Índice de Vegetación es útil para monitorear el impacto de la estacionalidad, el estrés ambiental o, también, la aplicación de los pesticidas en su efecto sobre la salud de las plantas.

$$\text{GCI} = (\text{NIR}/\text{Green}) - 1$$





# Índice de Pigmentación Insensible a la Estructura (SIPI)

- El SIPI o Índice de Pigmentación Insensible a la Estructura es bueno para el análisis de la vegetación con la estructura variable del dosel. Estima la relación de carotenoides a clorofila: las señales de mayor valor de la vegetación estresada.
- Podemos utilizarlo para monitorear la **salud de las plantas** en regiones con alta variabilidad en la estructura del dosel o el índice de área foliar, para la detección temprana de enfermedades de las plantas u otras causas de estrés.

$$\text{SIPI} = (\text{NIR} - \text{Blue}) / (\text{NIR} - \text{Red})$$

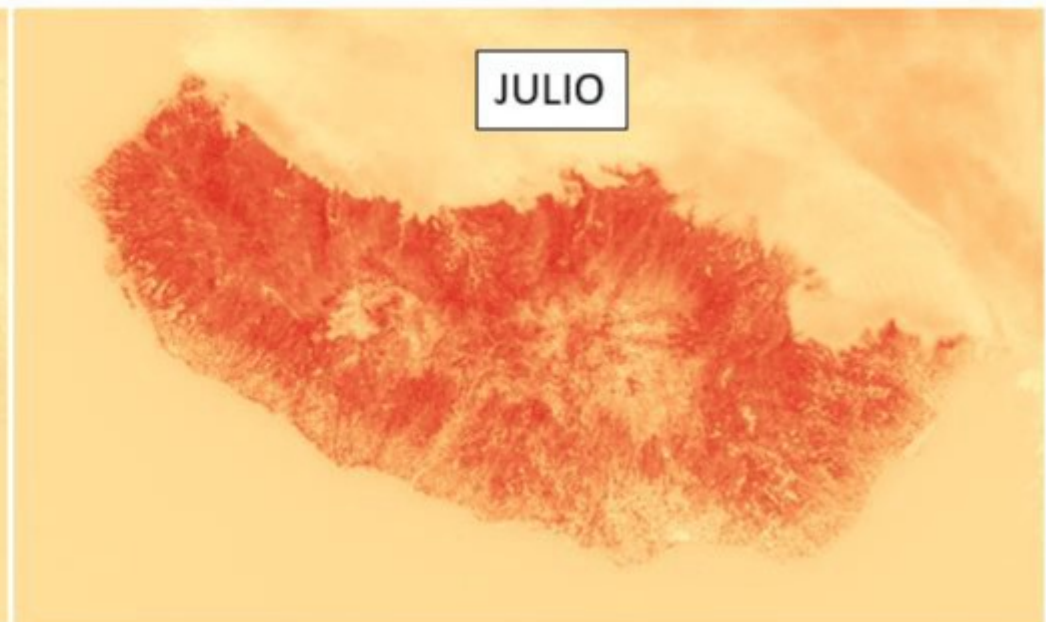
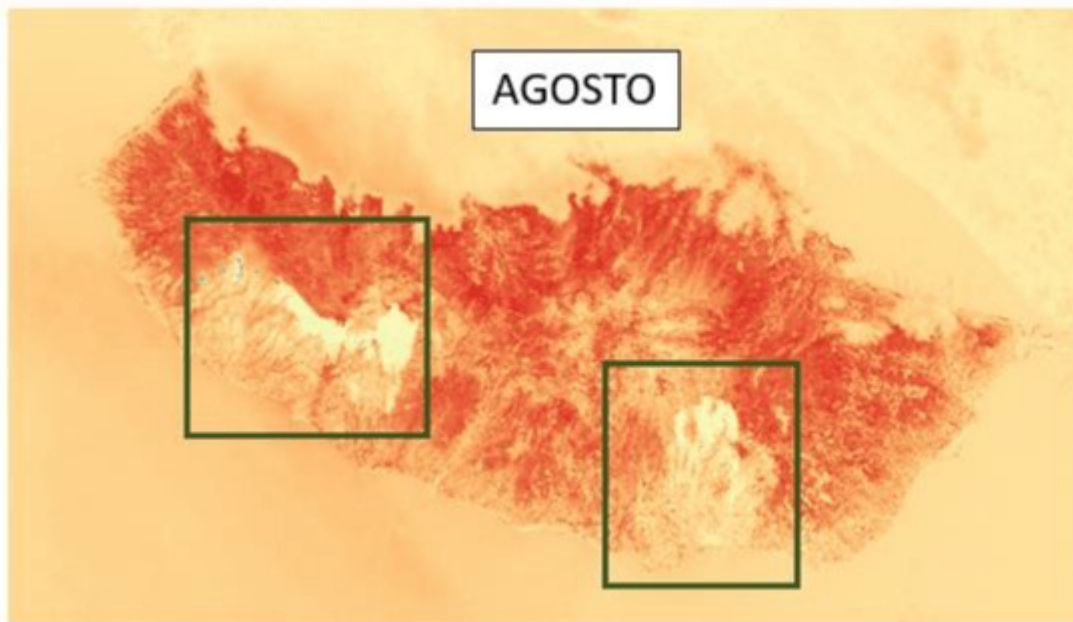




# Índice de Calcinación Normalizado (NBR)

- El NBR o Índice de Calcinación Normalizado se utiliza para calcular o identificar cuantitativamente las áreas calcinadas. Este índice se focaliza en mediciones en las longitudes de onda NIR y SWIR. La vegetación saludable muestra una alta reflectancia en el NIR, mientras que las áreas de vegetación recientemente quemadas se reflejan altamente en el SWIR. Este índice se ha vuelto especialmente instrumental en los últimos años a medida que las condiciones climáticas extremas (como la sequía de El Niño) causan un aumento significativo en los incendios forestales que destruyen la biomasa forestal.
- El uso típico del NBR en el campo de la agricultura y la silvicultura es la detección de incendios activos, el análisis de la severidad del área calcinada y el monitoreo de la supervivencia de la vegetación tras el incendio.

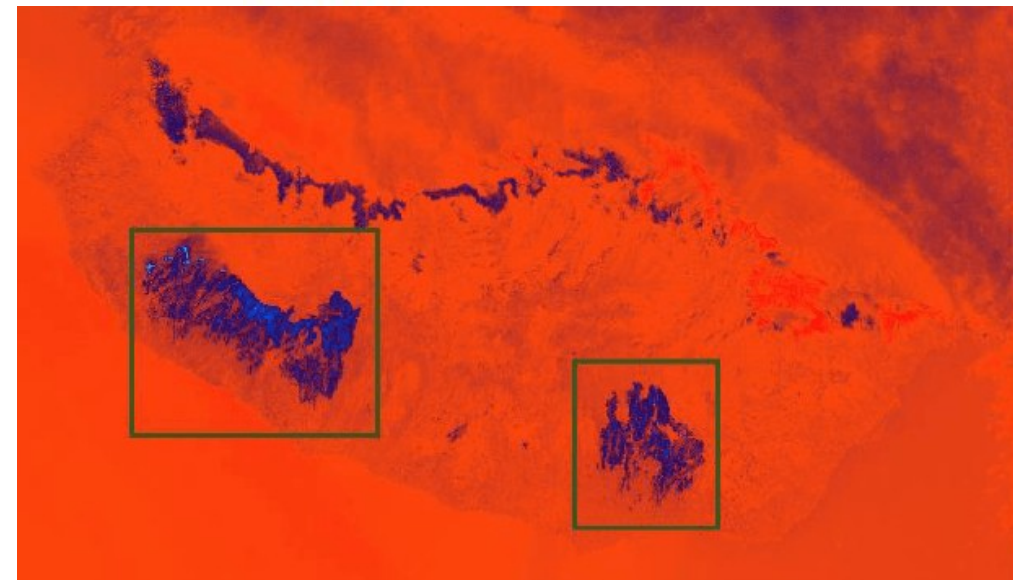
$$\text{NBR} = (\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR})$$



# Diferencia Índice de Calcinación Normalizado (DNBR)

- El dNBR nos permite calcular la diferencia entre dos imágenes, antes y después del incendio, lo que nos da idea de la gravedad de la calcinación
- Para una evaluación precisa de la gravedad del incendio deberíamos comparar estos valores de dNBR con la medición in situ. Podríamos monitorear la recuperación de la vegetación repitiendo el cálculo de NBR y dNBR de las imágenes adquiridas varios meses después del incendio.

$$DNBR = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$$



# Spectral bands

Band	Sentinel-2A MSI			Landsat 8 OLI		
	Spectral region	Wavelength range (nm)	Resolution (m)	Spectral region	Wavelength range (nm)	Resolution (m)
B1				Blue	435–451	30
B2	Blue	458–523	10	Blue	452–512	30
B3	Green peak	543–578	10	Green	533–590	30
B4	Red	650–680	10	Red	636–673	30
B5	Red edge	698–713	20	NIR	851–879	30
B6	Red edge	733–748	20	SWIR1	1566–1651	30
B7	Red edge	773–793	20	SWIR2	2107–2294	30
B8	NIR	785–899	10			
B8A	NIR narrow	855–875	20			
B11	SWIR	1565–1655	20			
B12	SWIR	2100–2280	20			