National Aeronautics and Space Administration

# Datos Hiperespectrales para Sistemas Terrestres y Costeros

Amber Jean McCullum, Juan L. Torres-Pérez y Zach Bengtsson

19 de enero de 2021

# NASA Applied Remote SEnsing Training Program (ARSET)

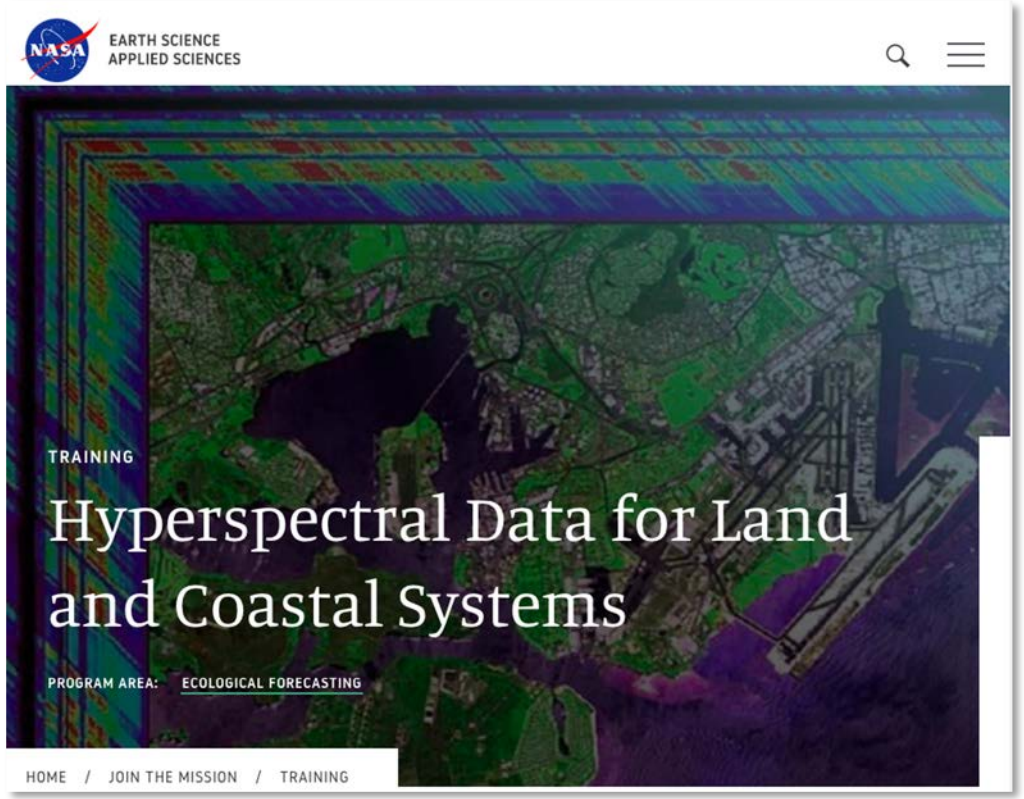
**(Programa de Capacitación de Teledetección Aplicada de la NASA)**

http://arset.gsfc.nasa.gov/

- Parte del Programa de Fomento de Capacidades Científicas Aplicadas de la NASA
- Empoderando a la comunidad global a través de la capacitación de teledetección
- ARSET anhela fomentar el uso de las ciencias terrestres en la toma de decisiones a través de capacitaciones para:
  - Formuladores de políticas
  - Gestores ambientales
  - Otros profesionales en los sectores público y privado

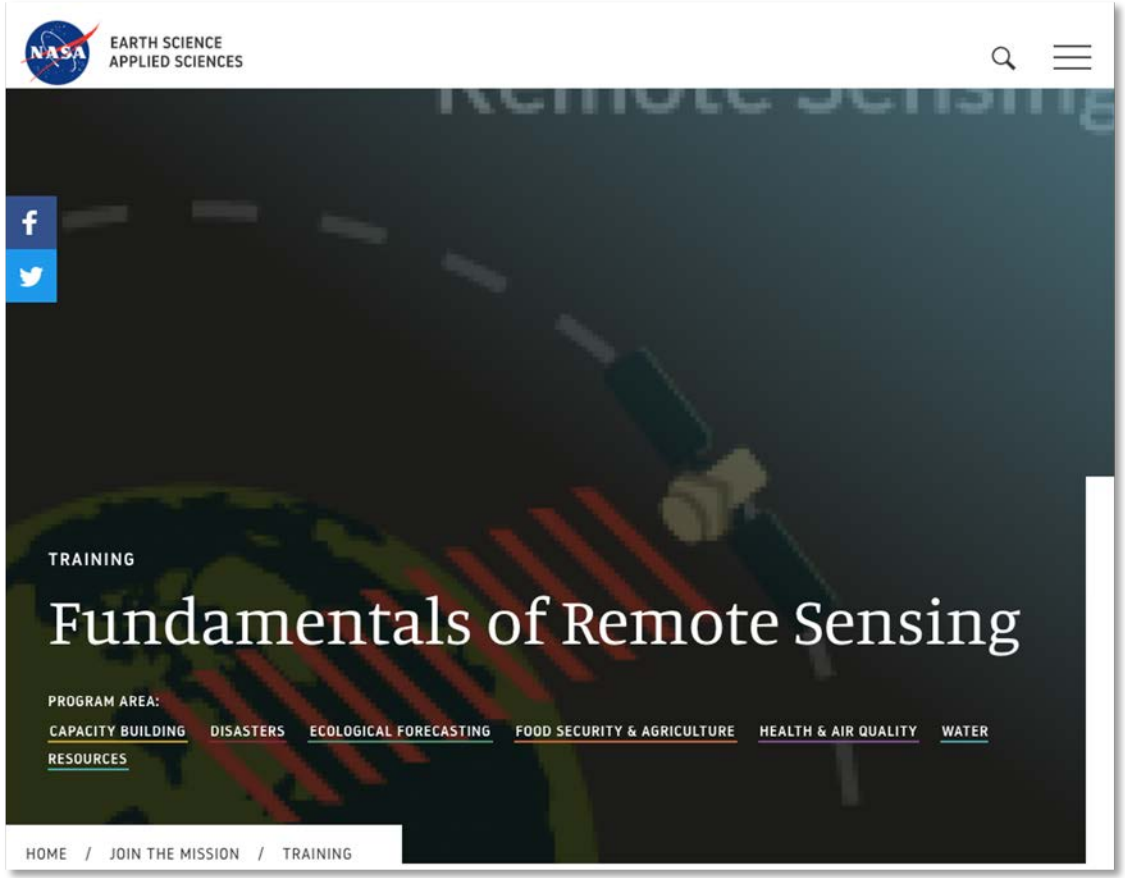
# Estructura y Material del Curso

- Tres sesiones de una hora y media los días 19 y 26 de enero y el 2 de febrero
- Se presentará el mismo contenido en dos diferentes horarios cada día:
  - Sesión A: 11h-12h30 Hora Este de EE.UU. (UTC-5)
  - Sesión B: 16h-17h30 Hora Este de EE.UU. (UTC-5)
  - **Por favor inscríbase y asista a solo una sesión por día.**
- Las grabaciones de las presentaciones, los archivos PowerPoint y la tarea asignada se podrán encontrar después de cada sesión en la siguiente página:
  - https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/english/hyperspectral-data-land-and-coastal-systems
- Preguntas y respuestas después de cada presentación y/o por correo electrónico:
  - juan.l.torresperez@nasa.gov
  - amberjean.mccullum@nasa.gov o
  - bengtsson@baeri.org



# Prerrequisitos

- Prerrequisitos:
  - Por favor complete Fundamentos de la Percepción Remota (Teledetección) o tenga experiencia equivalente.
- Material del Curso:
  - https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/english/fundamentals-remote-sensing

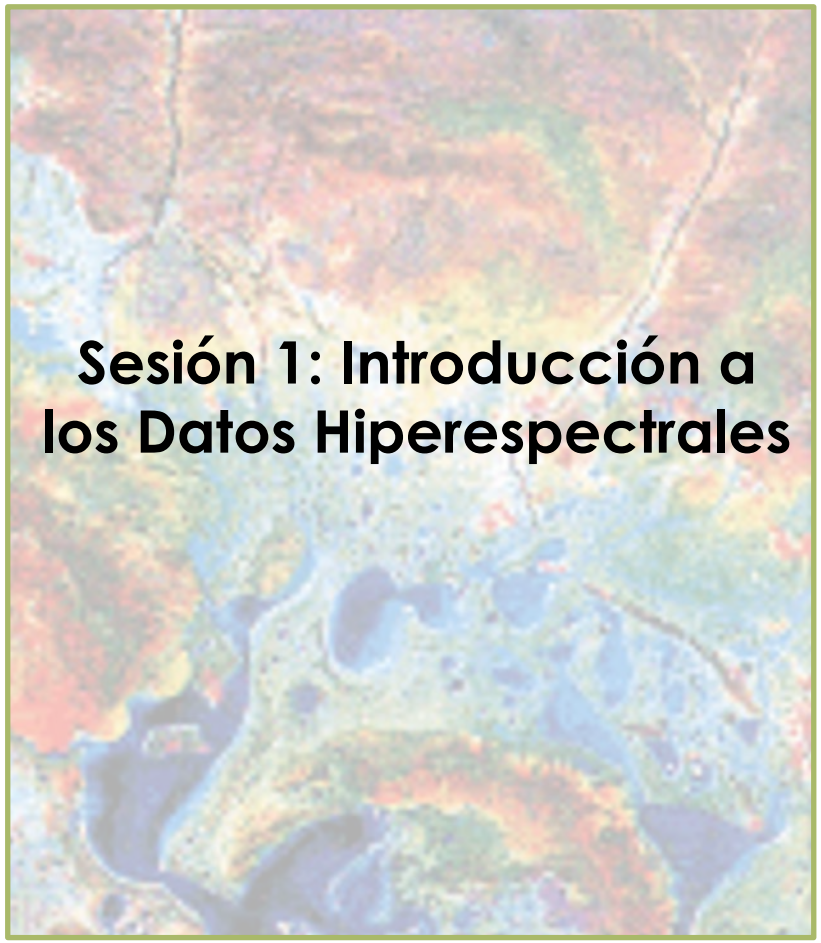


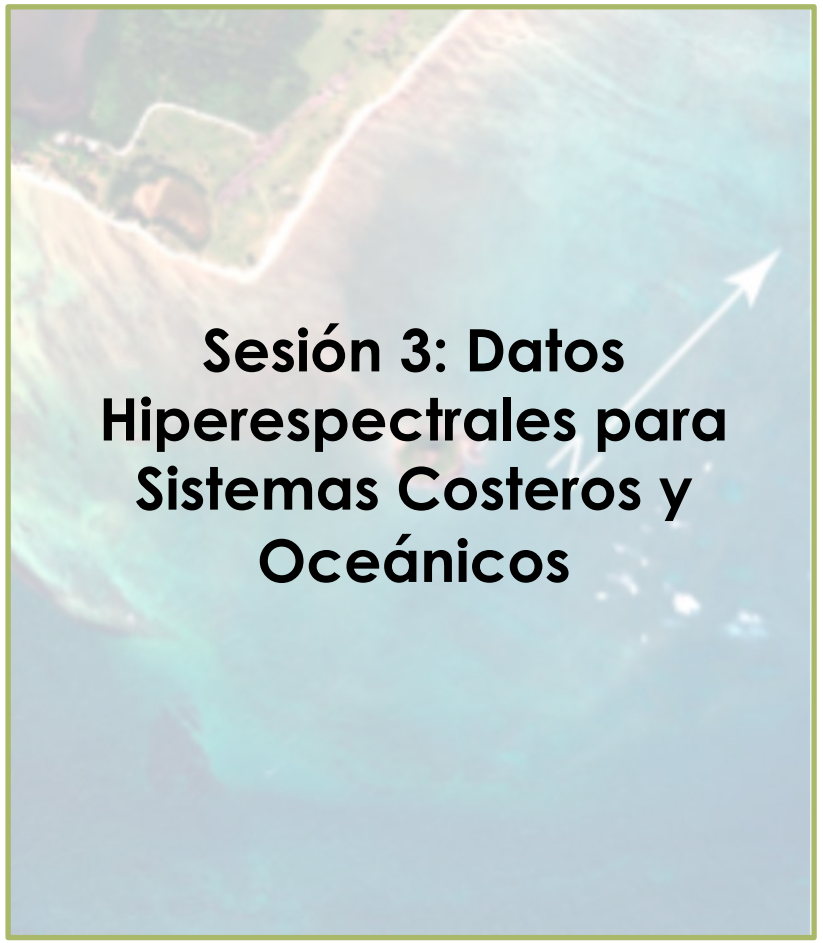
# Tarea y Certificados

- **Tarea:**
  - Se asignará una tarea
  - Debe enviar sus respuestas vía Google Forms
  - **Plazo para la tarea: Martes 16 de febrero**

- **Certificado de Finalización de Curso:**
  - Asista a todas las sesiones en vivo
  - Complete la tarea asignada en el plazo estipulado (acceso desde la página web de ARSET)
  - Recibirán sus certificados aproximadamente dos meses después de la conclusión del curso de: marines.martins@ssaihq.com

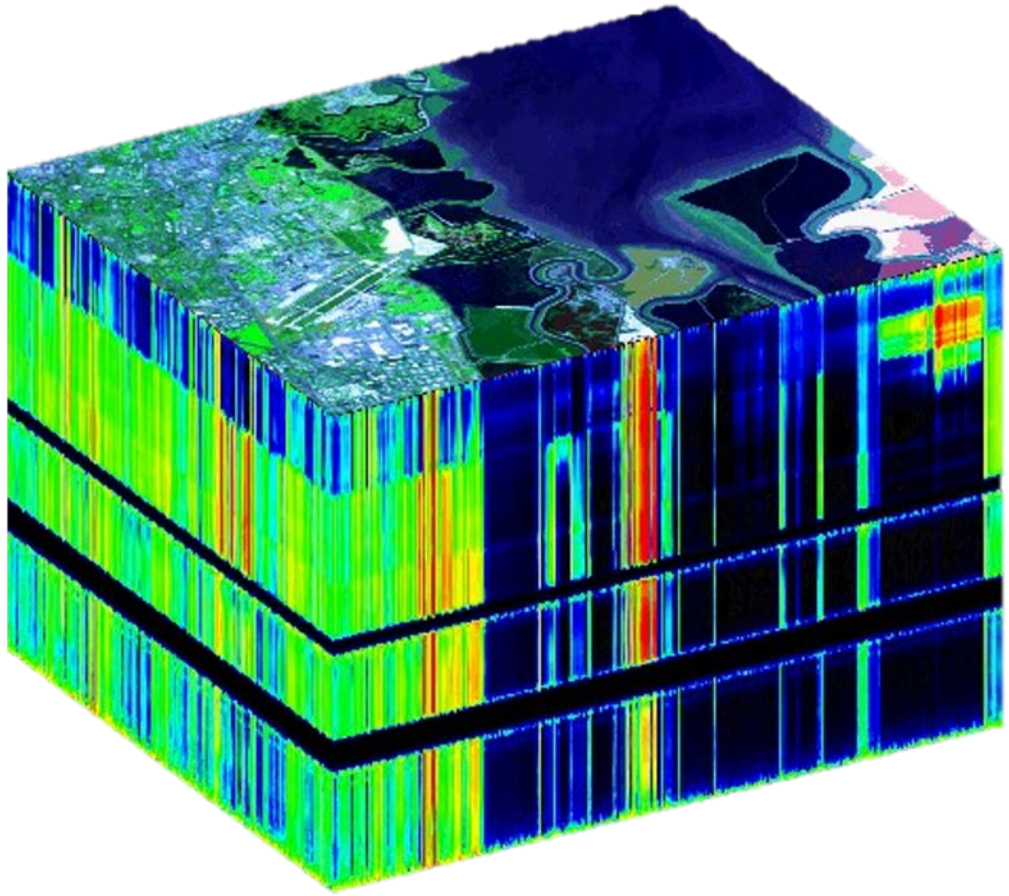
# Esquema del Curso





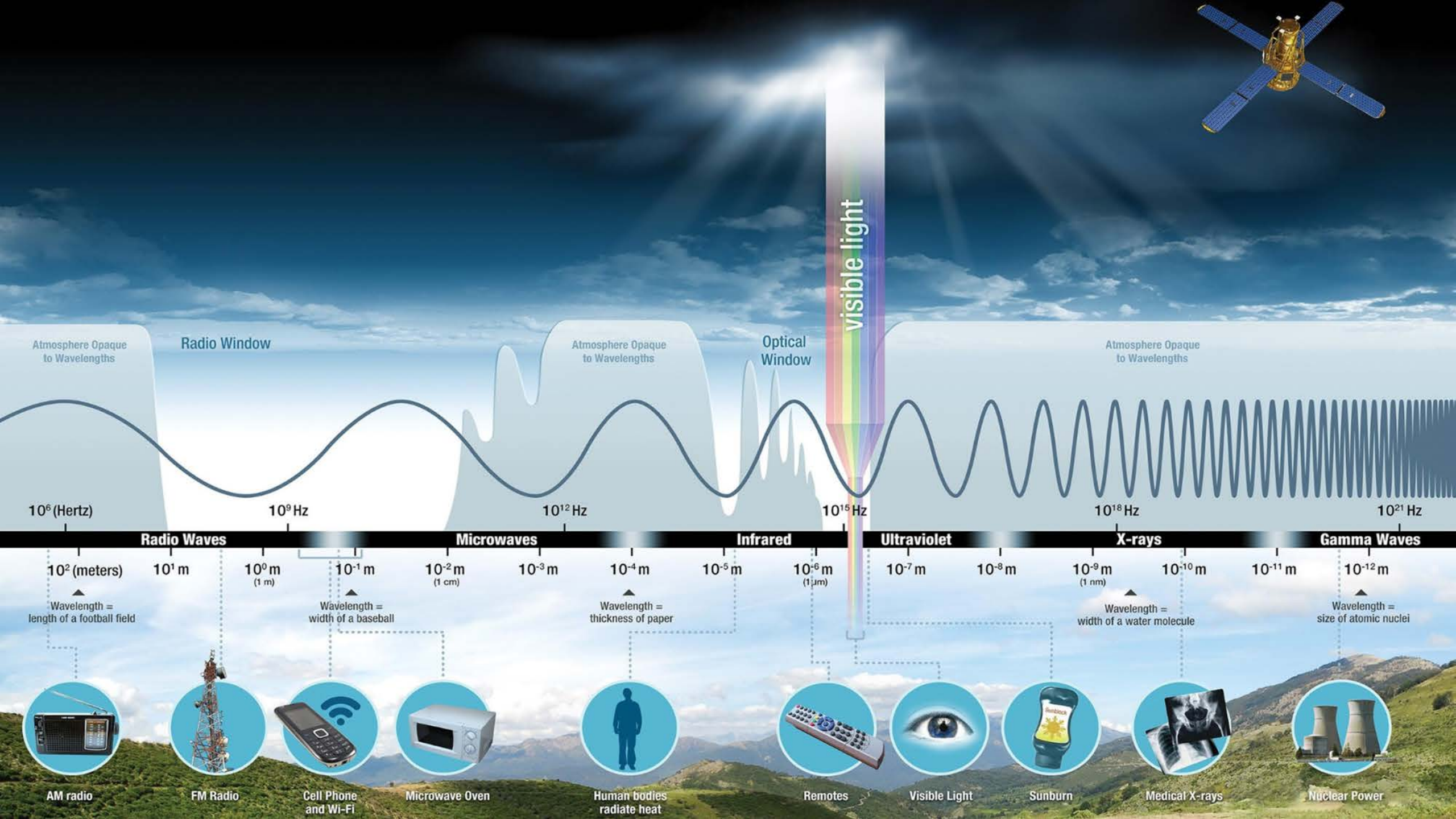
# Objetivos de Aprendizaje

- Al final de esta sesión, usted podrá…
  - Reconocer datos hiperespectrales y cómo difieren de los datos multiespectrales
  - Identificar sensores hiperespectrales actuales y misiones satelitales hiperespectrales futuras de su interés
  - Ubicar datos hiperespectrales disponibles e identificar plataformas de procesamiento



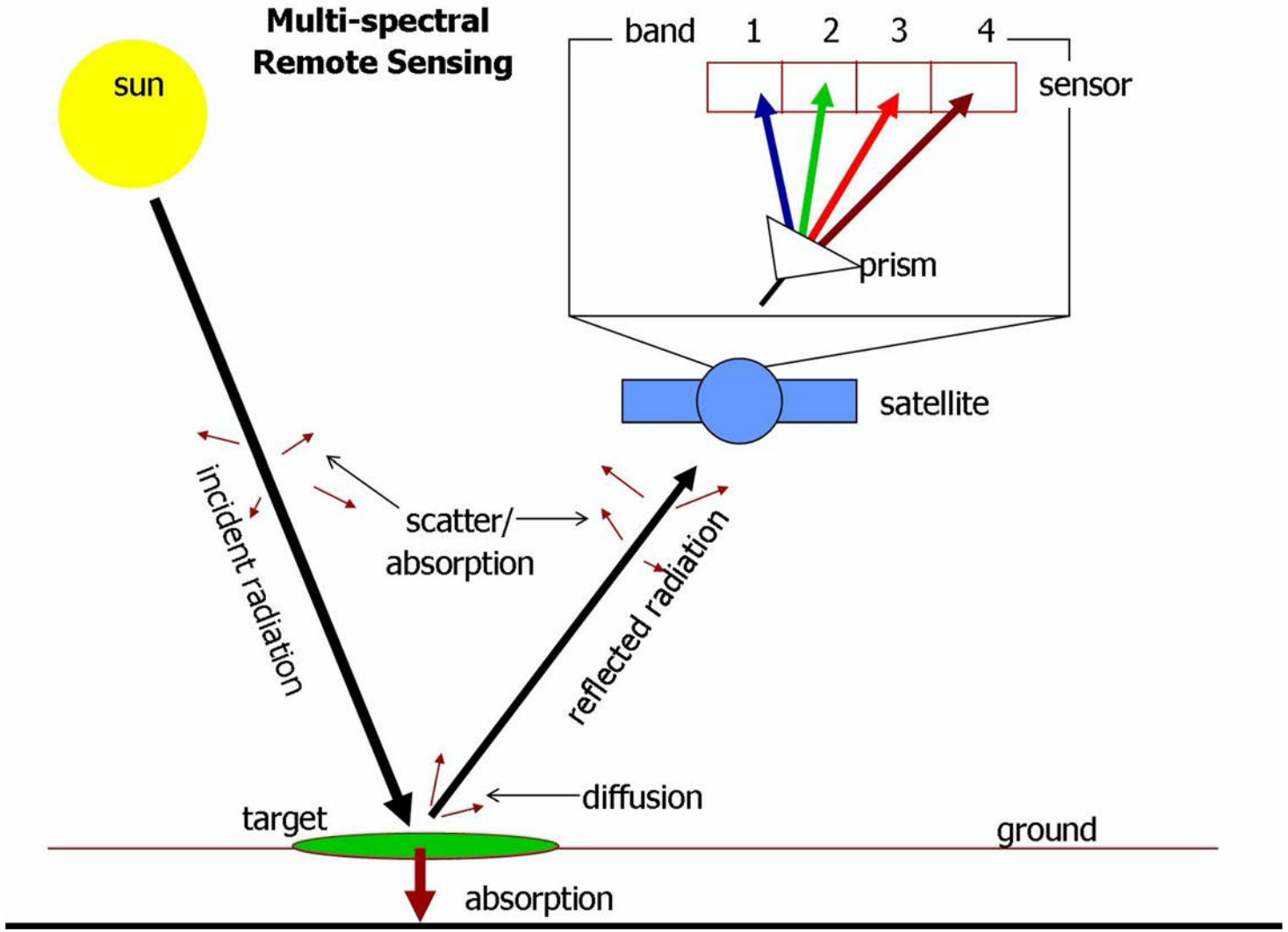
Fuente de la Imagen: NASA JPL

# Introducción a los Datos Hiperespectrales


Atmosphere Opaque to Wavelengths
Radio Window
Atmosphere Opaque to Wavelengths
Optical Window
visible light
Atmosphere Opaque to Wavelengths
10^6 (Hertz)
10^9 Hz
10^12 Hz
10^15 Hz
10^18 Hz
10^21 Hz
Radio Waves
Microwaves
Infrared
Ultraviolet
X-rays
Gamma Waves
10^2 (meters)
10^1 m
10^0 m (1 m)
10^-1 m
10^-2 m (1 cm)
10^-3 m
10^-4 m
10^-5 m
10^-6 m (1 μm)
10^-7 m
10^-8 m
10^-9 m (1 nm)
10^-10 m
10^-11 m
10^-12 m
Wavelength = length of a football field
Wavelength = width of a baseball
Wavelength = thickness of paper
Wavelength = width of a water molecule
Wavelength = size of atomic nuclei
AM radio
FM Radio
Cell Phone and Wi-Fi
Microwave Oven
Human bodies radiate heat
Remotes
Visible Light
Sunburn
Medical X-rays
Nuclear Power

# Resolución Espectral

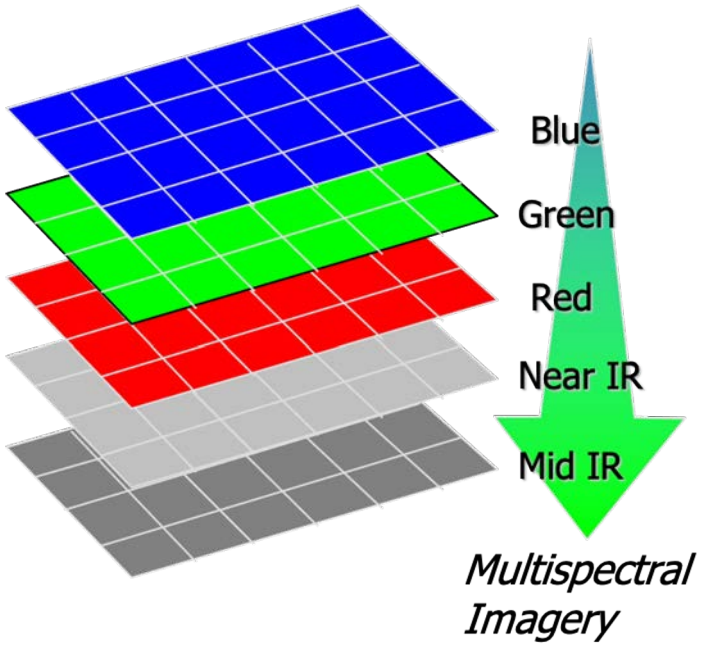
- La capacidad de un sensor de definir intervalos de longitud de onda.
- Cada "banda" representa una parte diferente del espectro electromagnético.
- Mientras más fina la resolución espectral, más estrecha la gama de longitudes de onda para un canal o banda particular.

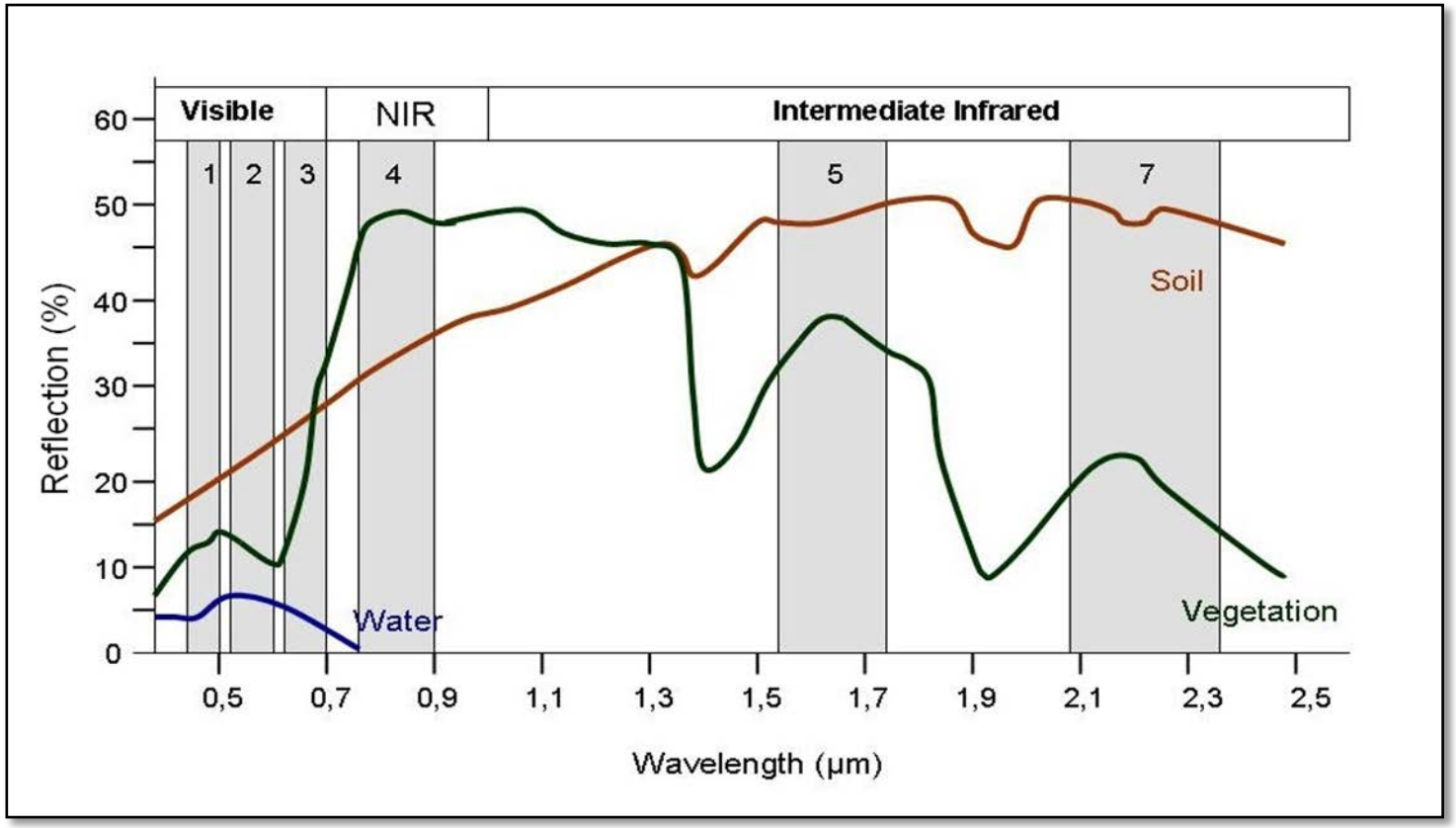



Fuente de la Imagen: Cristina Milesi

# Resolución Espectral

- Cada banda es una capa diferente en una imagen.

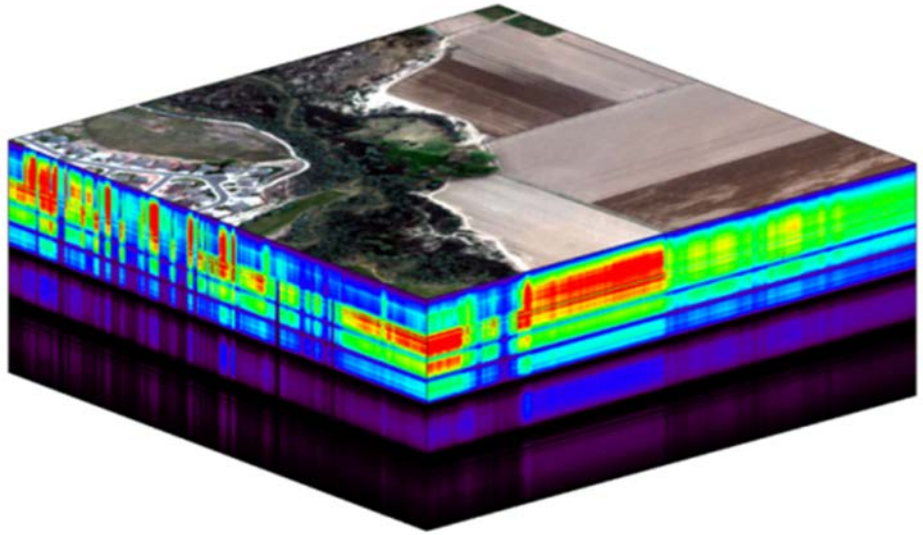



Fuente de la Imagen: USGS

# ¿Qué es la Teledetección Hiperespectral?

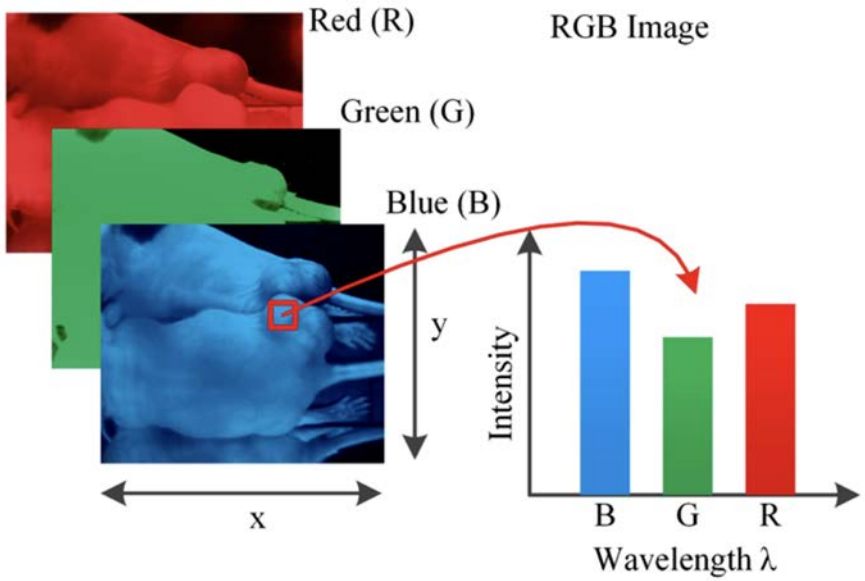
- La adquisición de imágenes en **centenas de bandas espectrales contiguas** con el fin de derivar un espectro radiante para cada píxel.
  - Mide reflectancia a intervalos cortos en el espectro electromagnético
  - Las bandas normalmente están separadas por 10 nm o menos entre sí



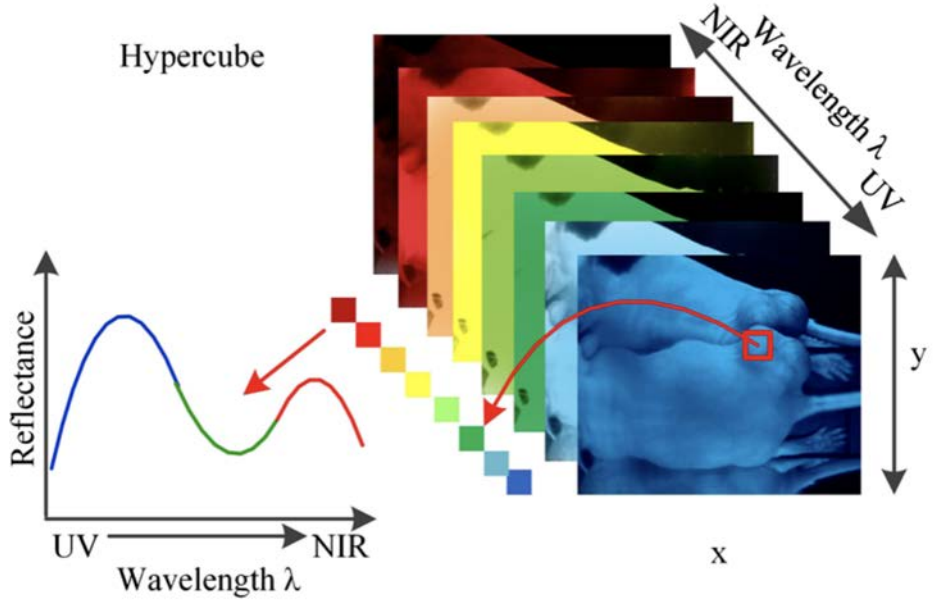
Fuente de la Imagen: NSF NEON

# Datos Multiespectrales vs. Hiperespectrales

## Multiespectrales

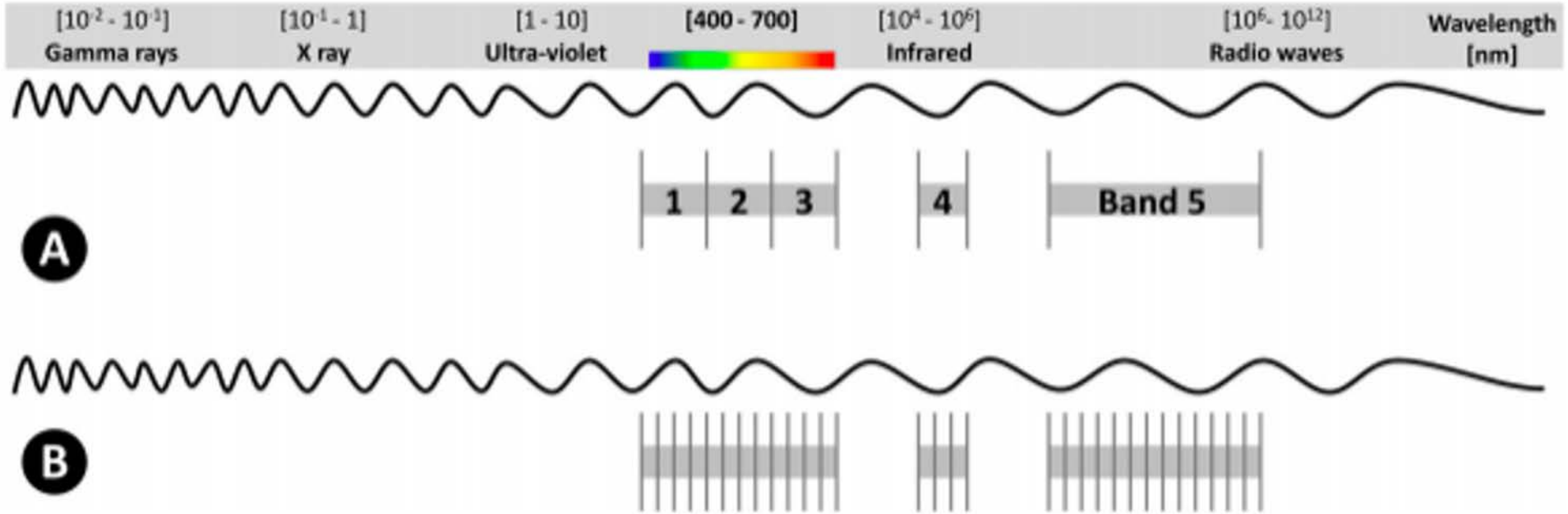



## Hiperespectrales




Fuente de la Imagen: CIRES, Universidad de Colorado

# Datos Multiespectrales vs. Hiperespectrales




Representación del espectro incluyendo: (A) Ejemplo multiespectral, con 5 bandas anchas; y (B) ejemplo hiperespectral comprendiendo varias bandas estrechas. Algunos sensores hiperespectrales tienen centenares de bandas. Fuente de la Imagen: Adao, et al., 2017

# Datos Multiespectrales vs. Hiperespectrales

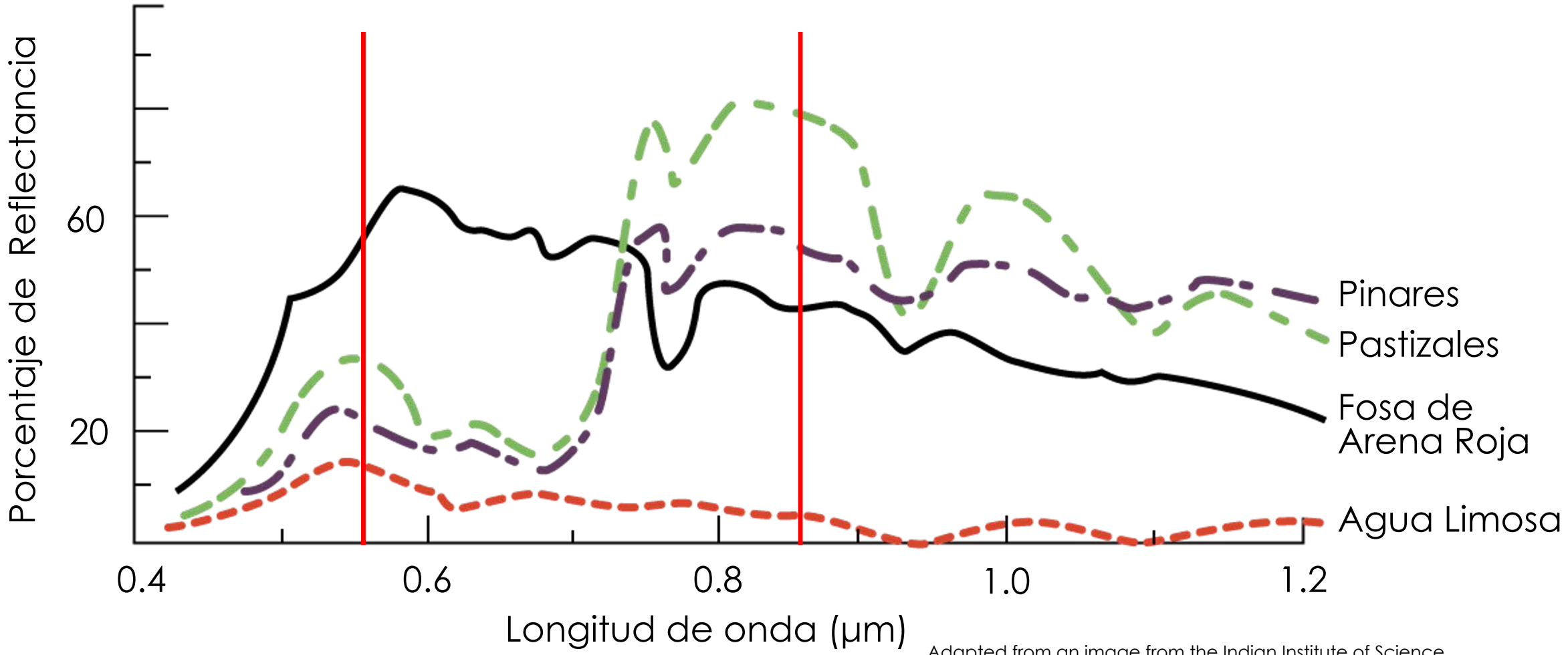
**Multiespectrales:**

- Sensores populares como Landsat y MODIS
- Un número limitado de bandas espectrales
- Resolución temporal relativamente alta
- Extensión espacial global

**Hiperespectrales:**

- Son limitados en cuanto al número de sensores satelitales
- Hay algunos sensores para misiones específicas a bordo de la Estación Espacial Internacional
- Sensores aéreos en campañas de vuelo
- Bandas estrechas que miden más características de la reflectancia superficial
- Resolución temporal baja
- Menor cobertura espacial

# ¿Por Qué es Importante la Resolución Espectral?

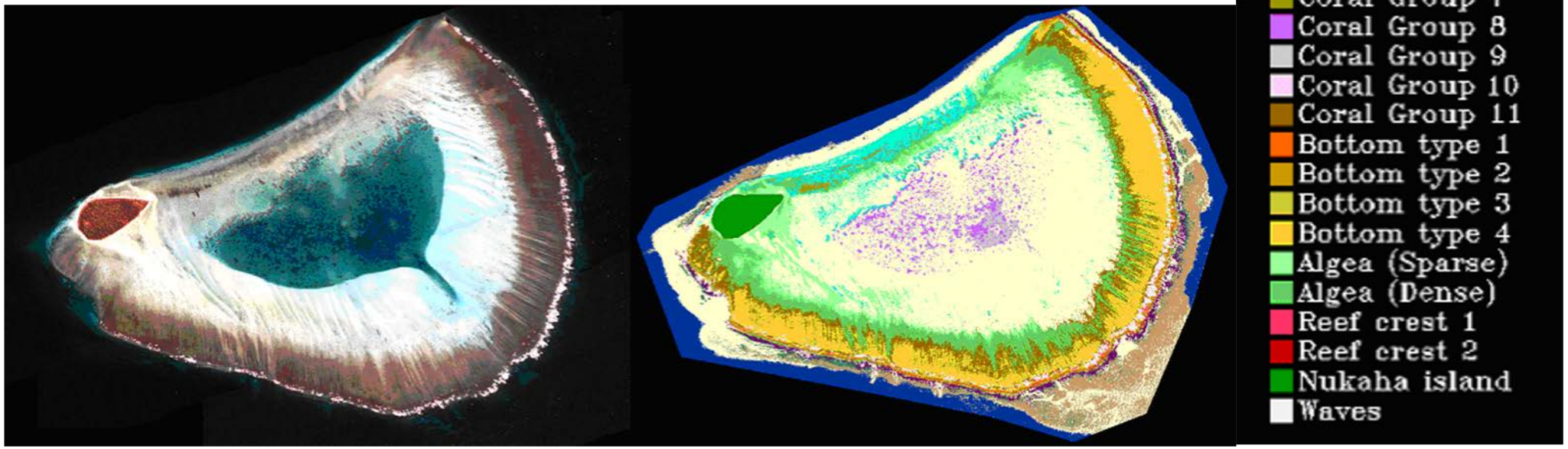



Adapted from an image from the Indian Institute of Science.

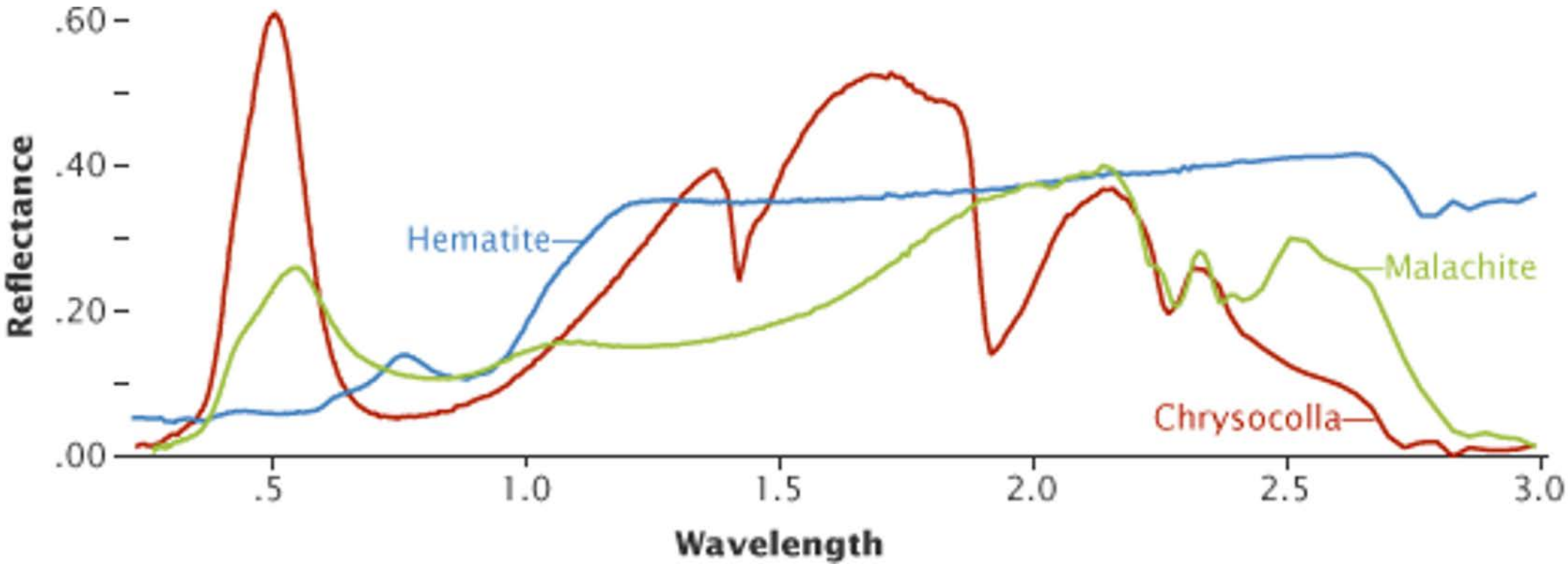
# Aplicaciones de Imágenes Hiperespectrales

- Geología
- Especies Invasoras
- Monitoreo Costero/Oceánico
- Monitoreo de carbono
- Vida microbiana en el ártico
- Actividad Volcánica

**Izq.:** La isla de Fordate en Tanimbar (Indonesia) de datos hiperespectrales CASI (resolución 2,5 m). **Der.:** El mapa de tipo de fondo hecho a partir de los datos hiperespectrales. Fuente de la Imagen: SEOS



# Aplicaciones de Imágenes Hiperespectrales




Este gráfico compara la reflectancia de la hematita (un mineral de hierro) con la malaquita y la crisocola (minerales ricos en cobre) de 200 a 3,000 nanómetros. Fuente de la Imagen: NASA/USGS por Robert Simmon.

# Imágenes Hiperespectrales Satelitales y Aéreas

# Captadores de Imágenes Hiperespectrales de la NASA

**Satelitales/Espaciales**

- EO-1 Hyperion
- Misiones de prueba a bordo de la Estación Espacial Internacional (ISS):
  - Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean (HICO)
  - ECOsystem Spaceborne Thermal Radiometer Experiment on Space Station (ECOSTRESS)
    - Prototipo de imágenes térmicas para misiones hiperespectrales en el futuro

**Aéreos**

- Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS)
  - Campañas aéreas alrededor del mundo
  - Prueba conceptual para sensores hiperespectrales satelitales en el futuro
- Portable Remote Imagining Spectrometer (PRISM)
  - COral Reef Airborne Laboratory (CORAL)
  - Misión realizada entre 2016 y 2019 para analizar ecosistemas costeros y condiciones en arrecifes de coral

# EO-1 Hyperion

- Fechas: 2000 a 2017
- 220 bandas espectrales
- 357 a 2567 nm
- Ancho de banda-10 nm
- Resolución espacial-30 m
- Franja de 7.75 km
- 12-bit

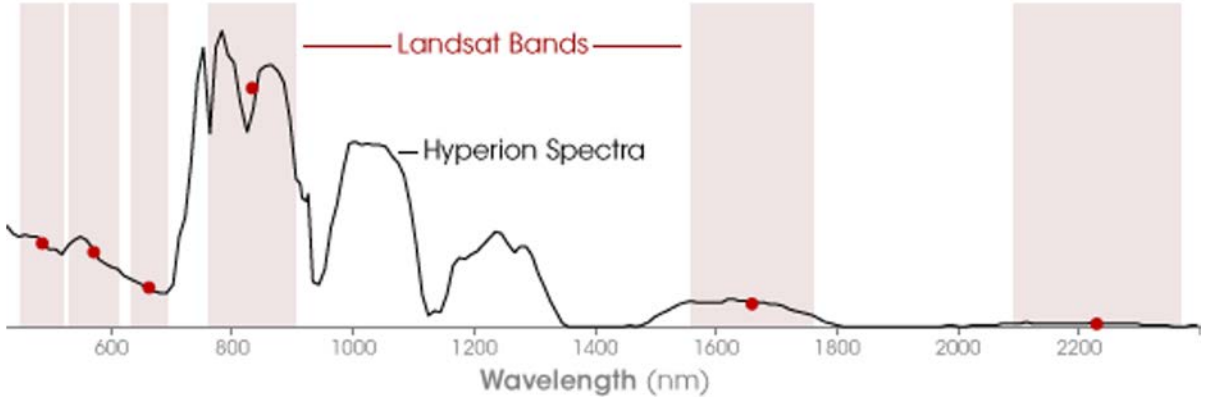



Imagen Hyperion del monte Fuji, 2000 (izq.), el sensor Hyperion (sup.) y una comparación de las bandas de Landsat y los espectros de Hyperion. Fuente de la Imagen: USGS

# EO-1 Hyperion

Imágenes Hyperion de afloramientos cerca de una de las operaciones mineras más grandes de Jordania (Khirbat en-Nahas)

Con una imagen de color natural (sup.) los minerales se ven uniformemente oscuros, pero se puede identificar diferentes tipos de roca con la varias bandas espectrales en Hyperion (inf.).

Fuente de la Imagen: Robert Simmon y la NASA

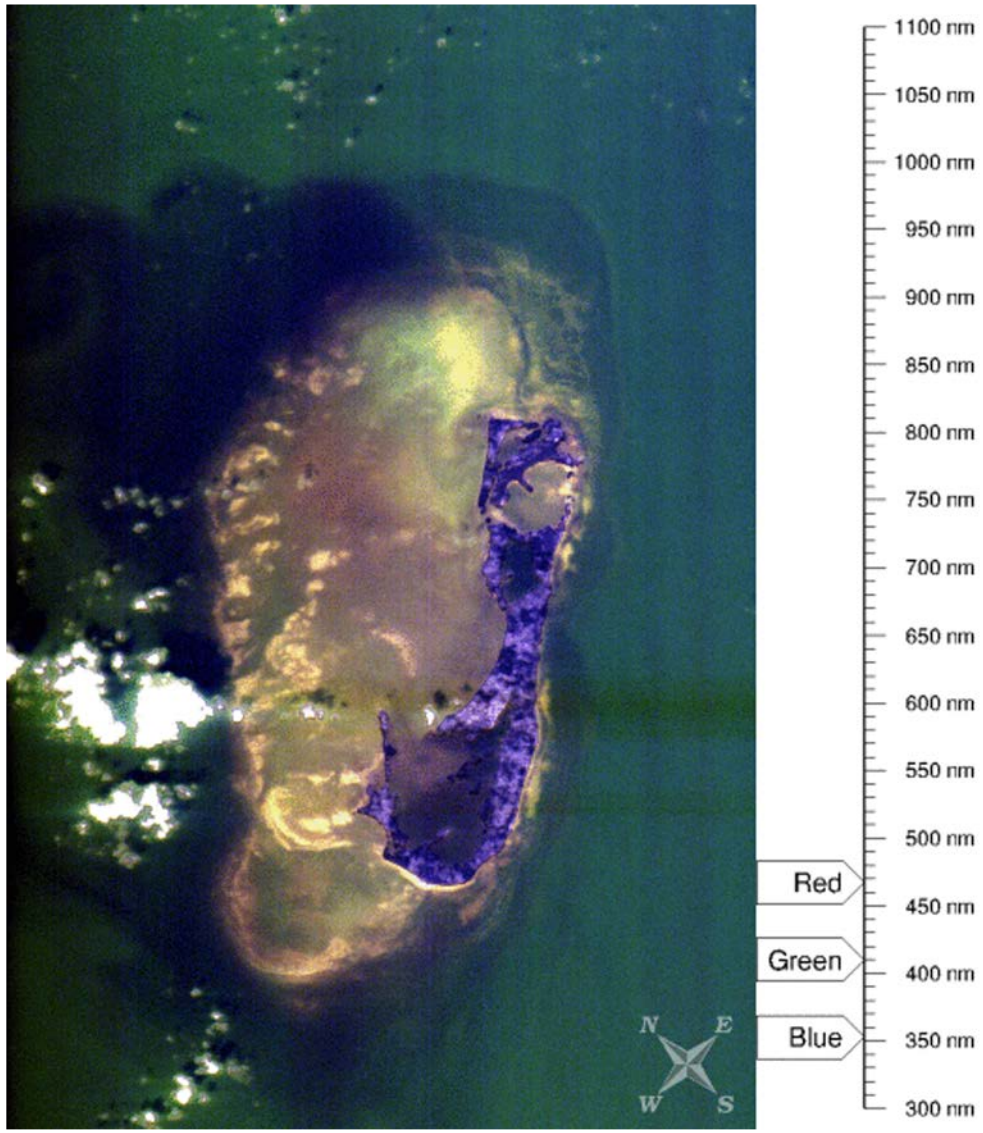
# Hyperspectral Imager for Coastal Ocean (HICO)

- El primer espectrómetro espacial para la captura de imágenes diseñado para el muestreo del océano costero
  - A bordo de la Estación Espacial Internacional (ISS)
- Rango de Fechas: 2009-2014
- Resolución Espacial: 90 m
- Resolución Espectral: 128 bandas (400-900nm cada 5.7nm)
- Resolución Temporal: ~3 días

Imagen HICO de una floración masiva de Microcystis en el oeste del lago Erie, 3 de septiembre de 2011. Fuente de la Imagen: NASA

# HICO

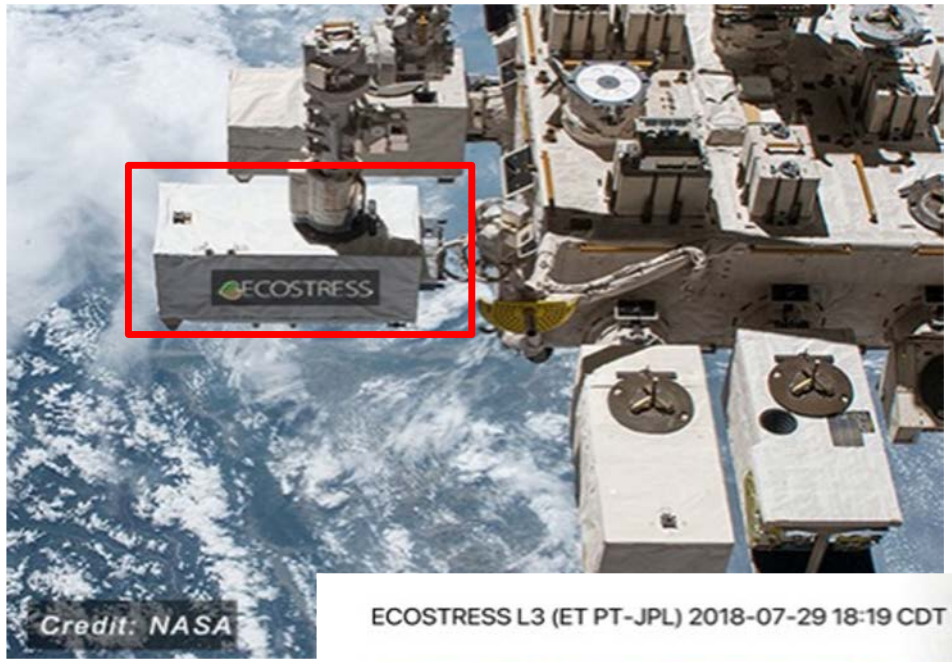
Fuente de la Imagen: NASA

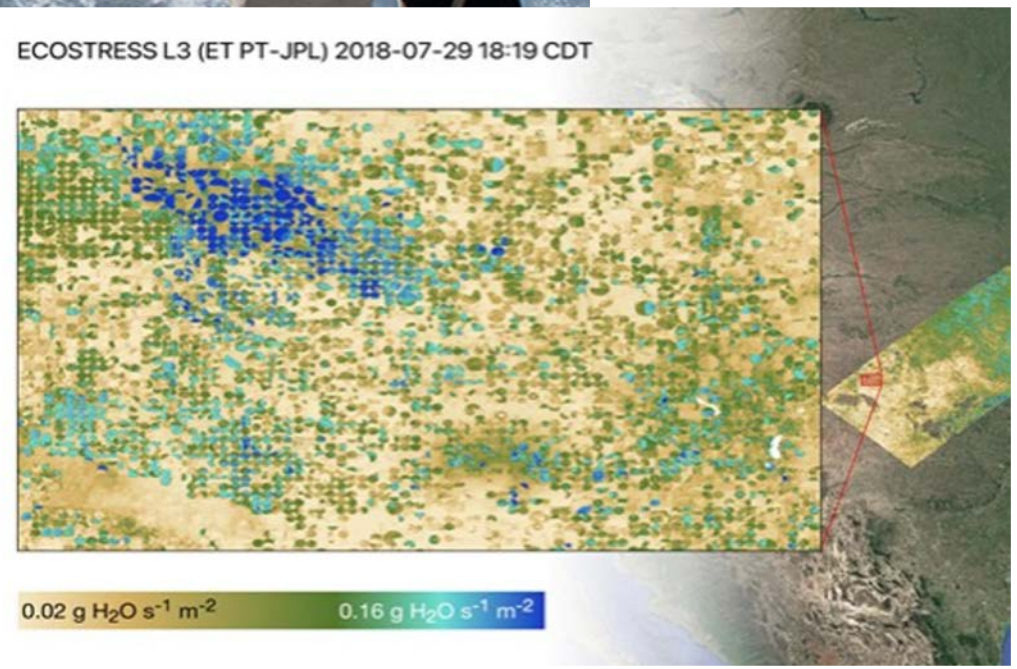



- Las Bermudas, agosto de 2013
- Esta animación muestra las 128 bandas de HICO, 3 a la vez, para producir colores.
- Las características de las islas, los componentes de las aguas poco profundas y firmas de corales se pueden examinar.

# ECOSTRESS

- A bordo de la ISS
- Rango de Fechas: ago. 2018-hoy
- Resolución Espacial: 70 m
- Resolución Espectral: 6 bandas (160-1200 nm)
- Rango: 53.6° N latitud a 53.6° S latitud
- Datos disponibles en: Data Pool, NASA Earthdata Search, AppEEARS y USGS EarthExplorer



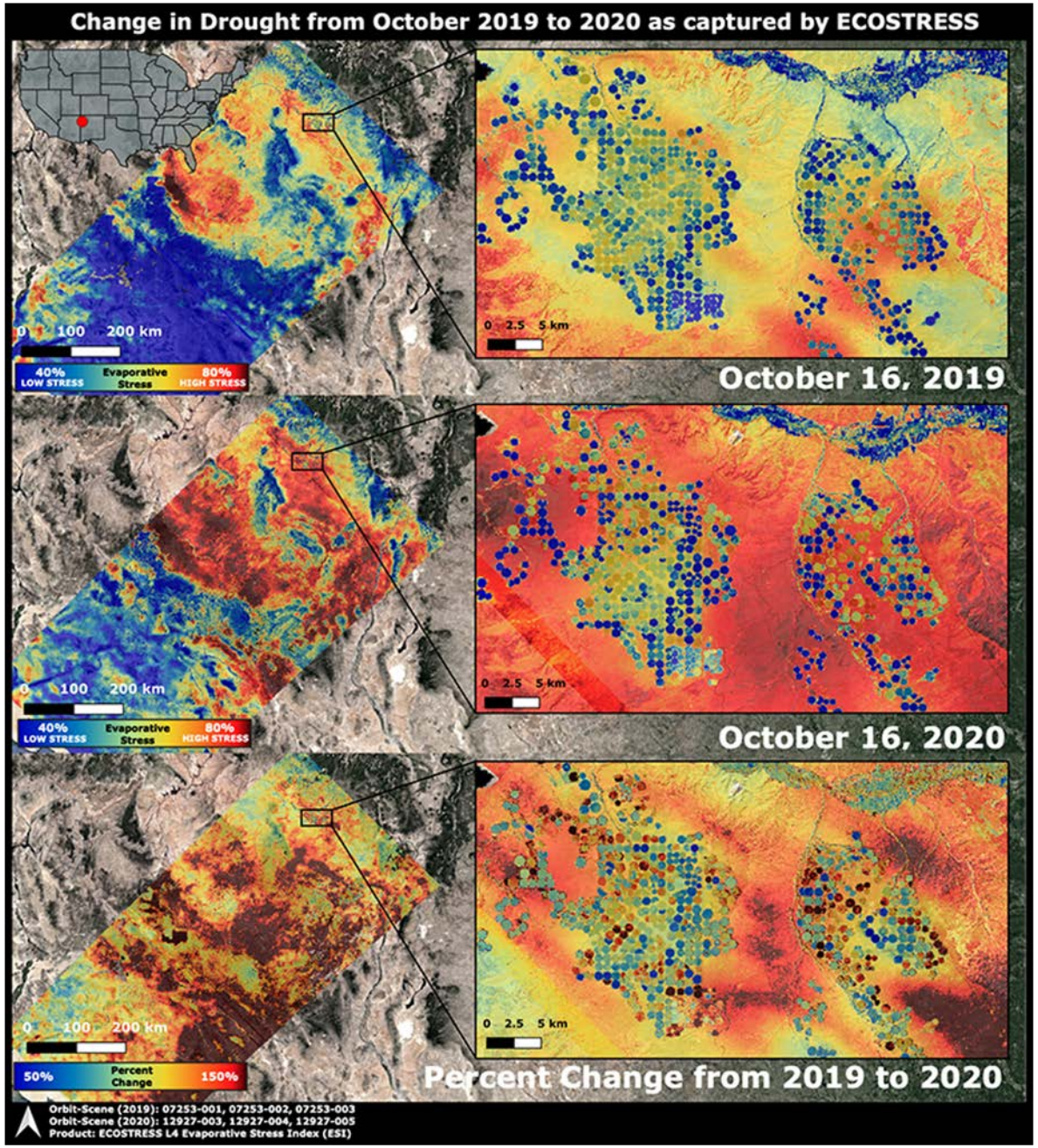




Fuente de la Imagen: NASA

# ECOSTRESS

Datos de ECOSTRESS mostrando estrés evaporativo en 2019 (sup.), 2020 (medio) y el cambio porcentual en el estrés evaporativo de 2019 a 2020 (inf.) cerca de Farmington, Nuevo México en la región de cultivos NAPI.

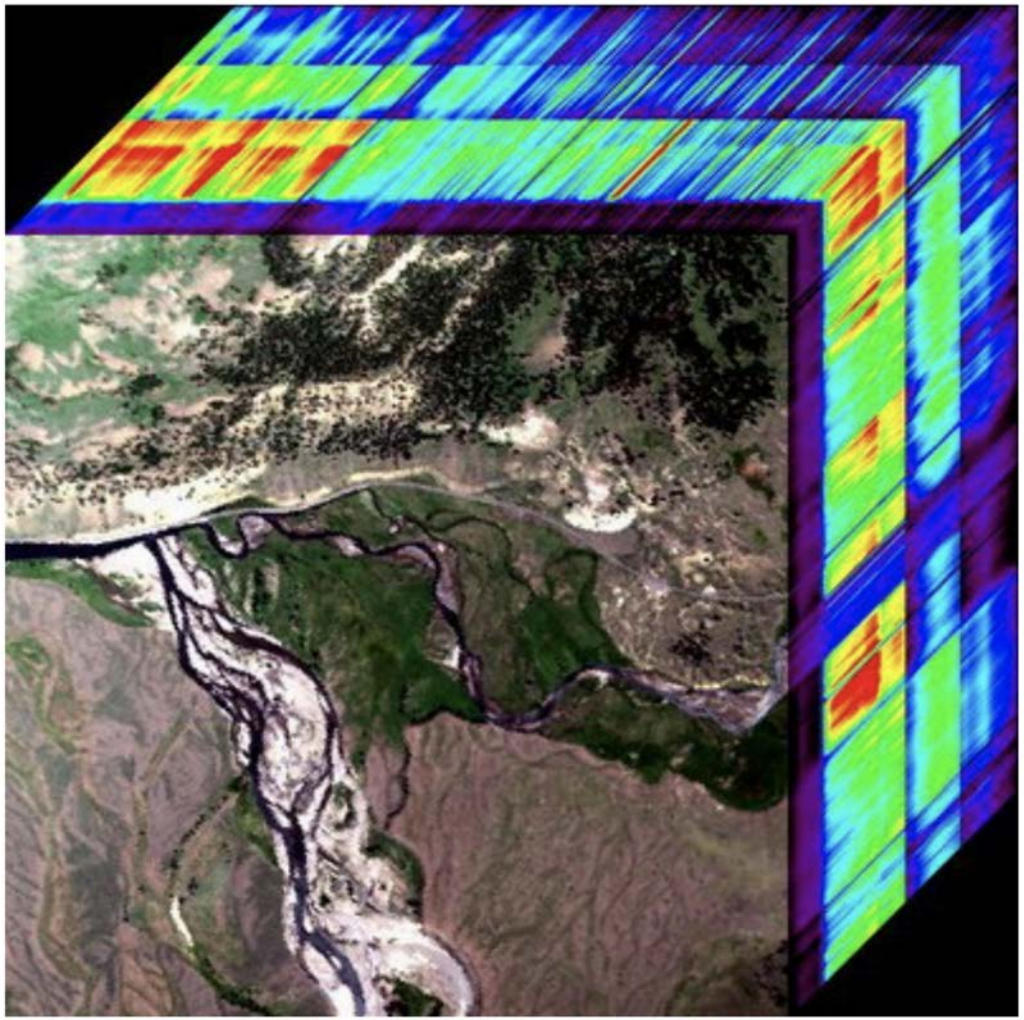
Los tonos de azul representan zonas de estrés bajo mientras que los tonos de rojo representan áreas de estrés alto y poco consumo de agua.




Fuente de la Imagen: NASA

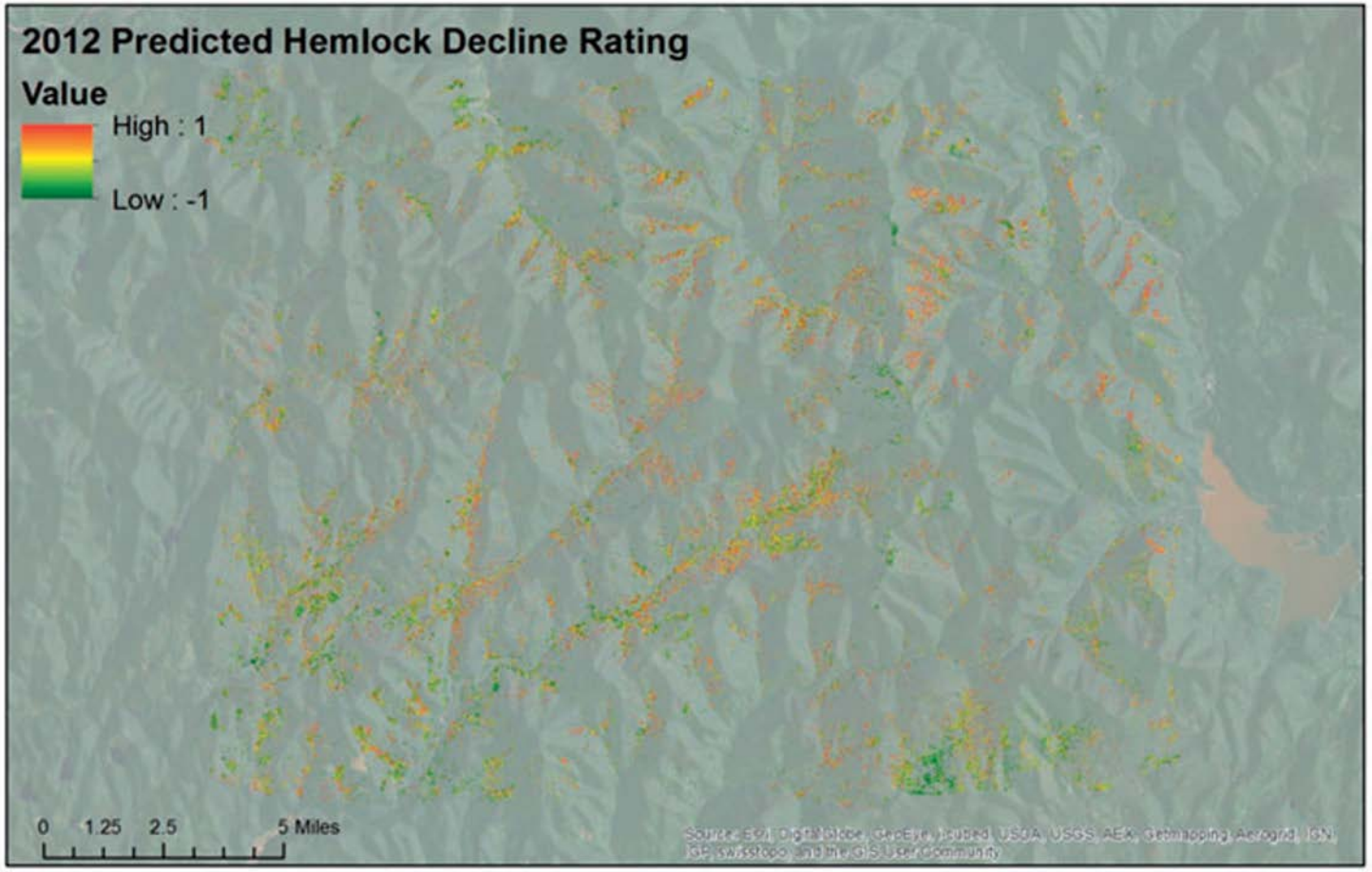
# Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS)

- Llevado a bordo de cuatro plataformas aéreas: El Jet NASA ER-2, Twin Otter International Turboprop, Scaled Composites Proteus y NASA WB-57
- Misiones en Norteamérica, Europa, porciones de Sudamérica y Argentina
- 224 bandas espectrales continuas
- 400 a 2500 nm
- Ancho de banda: < 10 nm
- Objetivo: Identificar, medir y monitorear componentes de la superficie de la Tierra y la atmósfera en base a las firmas de absorción molecular y dispersión de partículas



Fuente de la Imagen: Lu et al., 2020

# Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS)



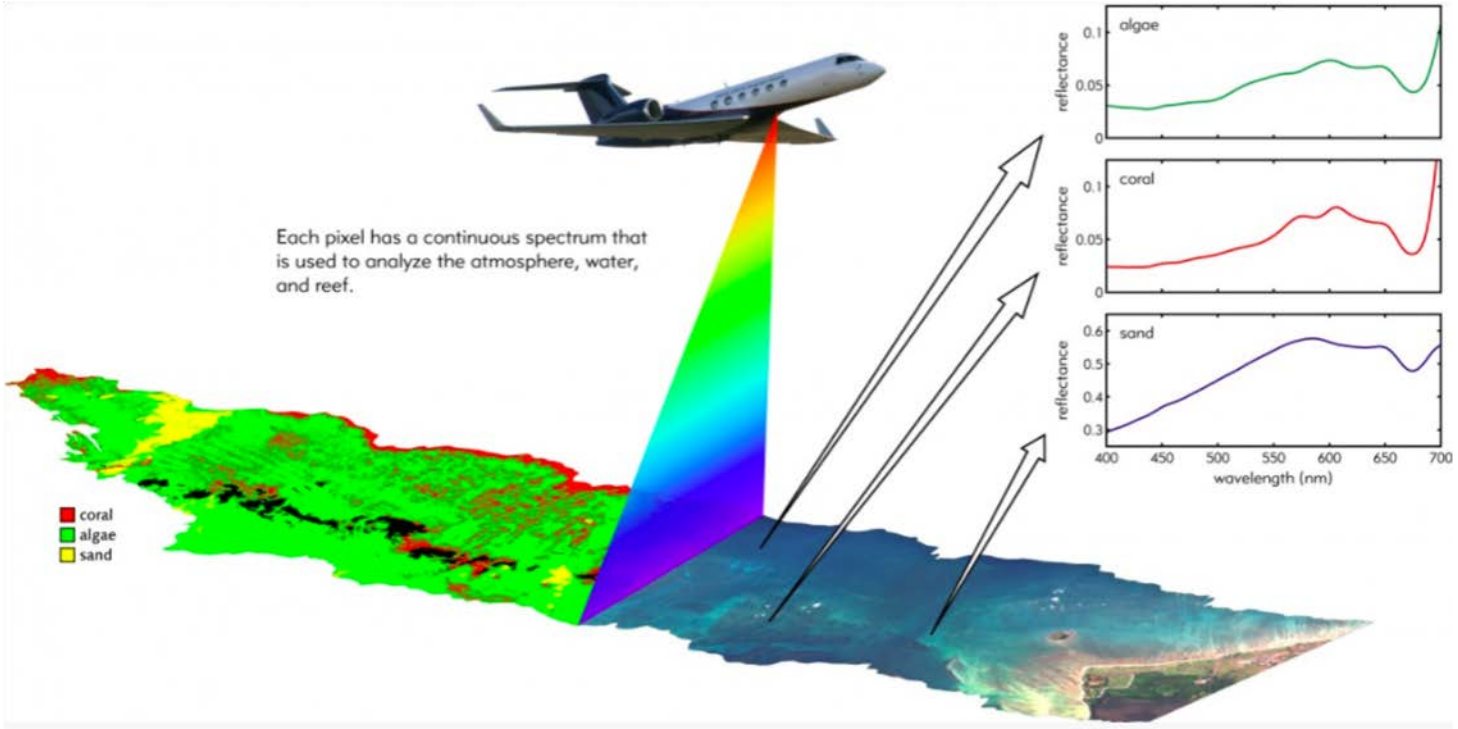

Fuente de la Imagen: Hanavan et al, 2015

Monitoreo de cicutas en el Parque Estatal Catskill utilizando imágenes de AVRIS de julio de 2001

Las cicutas en esta región están susceptibles a "escamas elongadas", *Fiorinia externa* Ferris, lo que puede causar la muerte de ramas e incluso árboles.

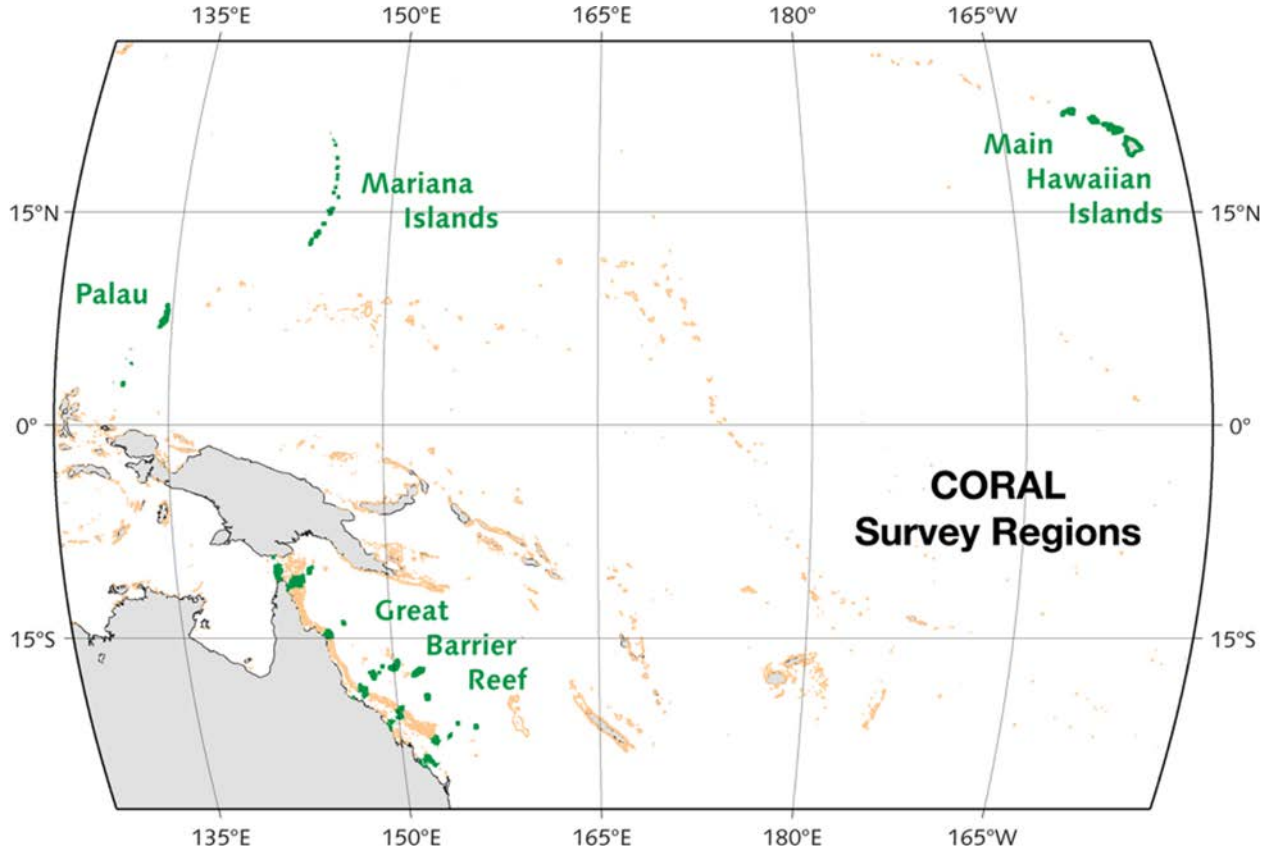
# COral Reef Airborne Laboratory (CORAL)

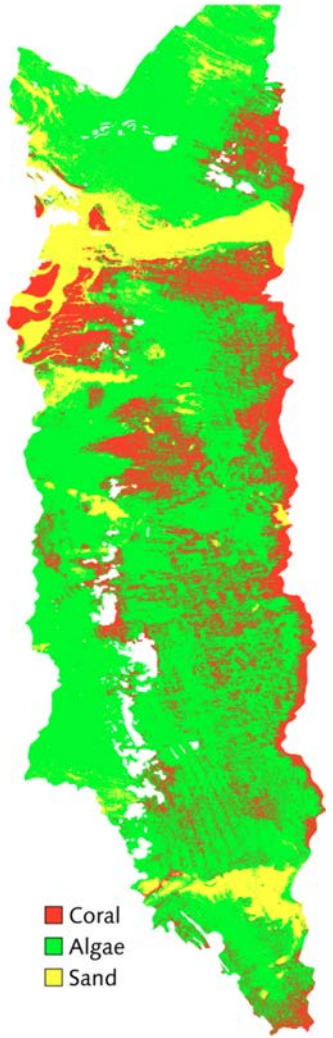
- Misión aérea usando el "Portable Remote Imaging Spectrometer" (PRISM) para evaluar la salud y condiciones en los ecosistemas de arrecifes de coral
- Intervalo de Fechas: 2016-2019
- Resolución Espectral: 349.9-1053.5 nm (Muestreo a 3.5 nm)




Fuente de la Imagen: NASA

# COral Reef Airborne Laboratory (CORAL)






Seis sub-campañas cerca de las Islas Marianas, Palau, porciones de la Gran Barrera de Coral y las islas hawaianas (sup.). Imagen CORAL y clasificación (der.) del atolón French Frigate Shoals en el noroeste de Hawái. Fuente de la Imagen: NASA

# Otras Misiones Hiperespectrales

| Instrumento | TianGong-1 | PRISMA | HISUI | EnMAP | SHALOM | HypXIM |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Organización | Academia China de la Ciencia y la Física | Agencia Espacial Italiana (ASI) | Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón | Agencia Alemania GFZ-DLR | Agencias Espaciales Italia-Israel (ASI-ISA) | Agencia Espacial Francesa (CNES) |
| Fechas | 2011-2013 | 2020-Actualidad | 2021 | 2021 | 2022 | 2021/2022 |
| Gama Espectral | 400-2500 nm | 400-2500 nm | 400-2500 nm | 420-2450 nm | 400-2500 nm | 400-2500 nm |
| Bandas Espectrales | 128 | 249 | 185 | 244 | 275 | 210 |
| Resolución Espacial | 10-20 m | 30 m | 30 m | 30 m | 10 m | 10 m |
| Objetivo | Imágenes del Suelo en China | Recursos naturales y atmósfera | Monitoreo de la vegetación, energía | Observación de la Tierra | Observación del suelo y el océano | Aplicaciones para el suelo, urbanas y costeras |

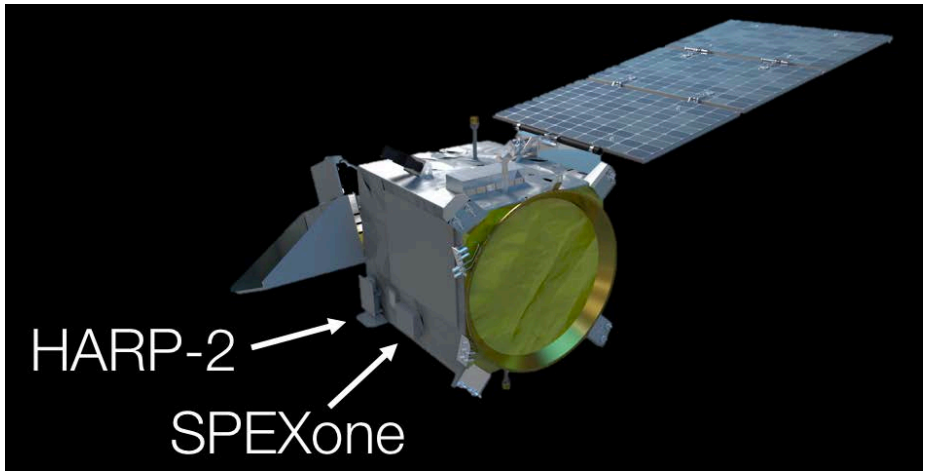
# Futuras Iniciativas Hiperespectrales Satelitales de la NASA

- **Plankton, Aerosol, Cloud, and Ocean Ecosystem (PACE)**
  - Observaciones oceánicas, atmosféricas y de ecosistemas terrestres a nivel mundial
  - De la región ultravioleta a través de la parte visible hasta la región infrarroja onda corta del espectro electromagnético, específicamente de 340 a 890 nm muestreado cada 2.5 nm con resolución de 5 nm
- **Surface Biology and Geology (SBG)**
  - Aplicaciones para una variedad de áreas de enfoque
  - Precursor al SBG: Hyperspectral Infrared Imager (HyspIRI), actividad conceptual para la misión (2007-2018)
    - Espectrómetro captador de imágenes desde la parte visible hasta la infrarroja onda corta (VSWIR: 380 nm - 2500 nm) en bandas contiguas de 10 nm
- **Geosynchronous Littoral Imaging and Monitoring Radiometer (GLIMR)**
  - Observaciones de la biología, química y ecología oceánicas en el Golfo de México, porciones de la costa sudeste de EE.UU. y la pluma del río Amazonas
  - Radiómetro de color oceánico hiperespectral

# Plankton, Aerosol, Cloud, and Ocean Ecosystem (PACE)

https://pace.gsfc.nasa.gov/

- PACE es la próxima gran inversión de la NASA en imágenes de la Tierra hiperespectrales y polarimetría multi-ángulo.
  - Fecha de lanzamiento: 2023
  - Diseñado para durar 3 años; propulsor para 10 años
- Captador de Imágenes Hiperespectrales: **Ocean Color Instrument (OCI)**
  - Resolución Espectral: UV a IR onda corta (340-890 nm cada 2.5 nm, con 940, 1038, 1250, 1378, 1615, 2130 y 2250 nm)
  - Resolución Temporal: 2 días
  - Resolución Espacial: 1-km$^2$ en el nadir
- Dos Polarímetros Multi-Ángulo
  - **HARP-2**: Franja ancha, hiperangular, 4 bandas entre las partes visible e infrarroja cercana
  - **SPEXone**: Franja angosta, hiperespectral (UV-IR cercana), 5 ángulos de visualización



# Programa de Aplicaciones de PACE

***Calidad del Aire***

***Recursos Hídricos***

***Desastres***

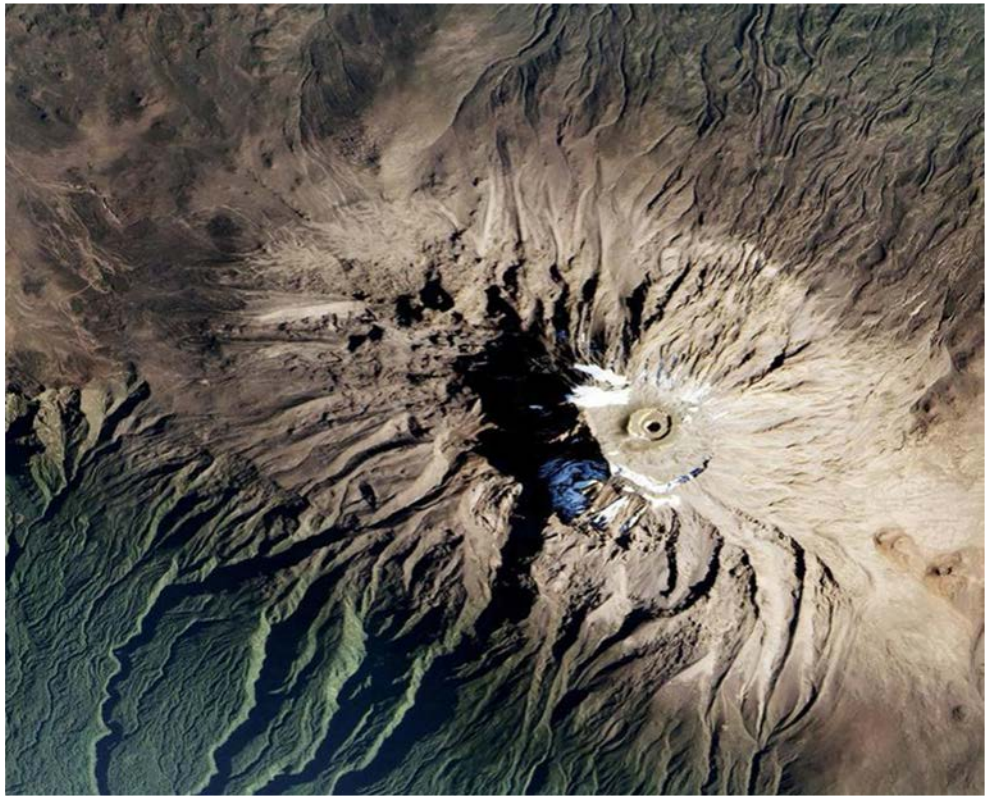
***Pronósticos Ecológicos***

***Clima***

# La Misión “Surface Biology and Geology” (SBG)

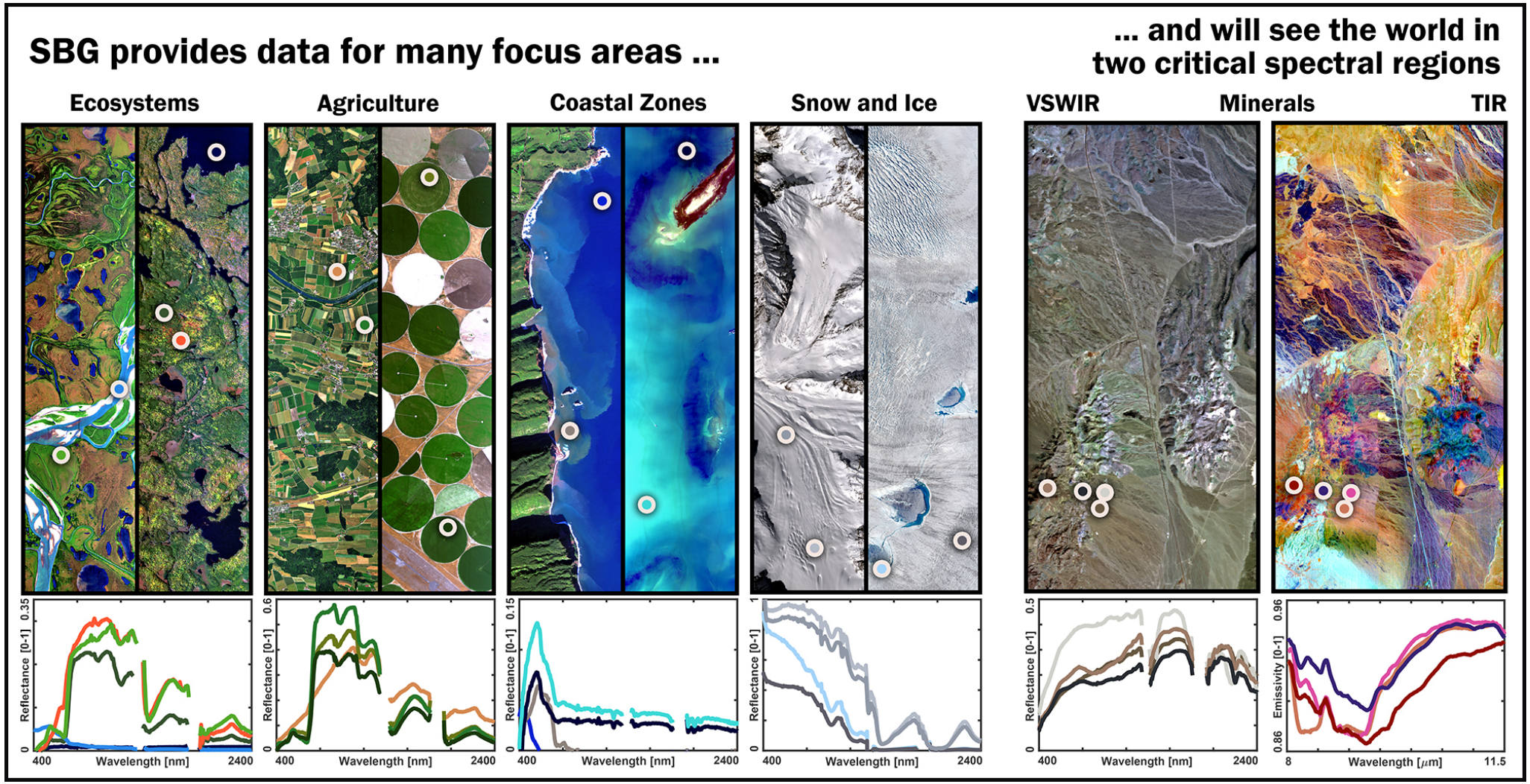
https://sbg.jpl.nasa.gov/

- En desarrollo con orientación de la encuesta decadal de 2018
- Posibles Parámetros:
  - Bandas Visible a Infrarroja Onda Corta:
    - Gama Espectral: 0.35 o 0.4 a 2.5 micrómetros
    - Resolución Espectral: 10 nm o mejor
    - Mundial con tiempo de revisita de 2 a 16 días
  - Bandas Térmicas:
    - Gama Espectral: 8 a 12 o 3 a 5 micrómetros
    - Resolución Espectral: Más de 5 bandas
    - Mundial con tiempo de revisita de 1 a 70 días



Kilimanjaro, Fuente de la Imagen: JPL SBG

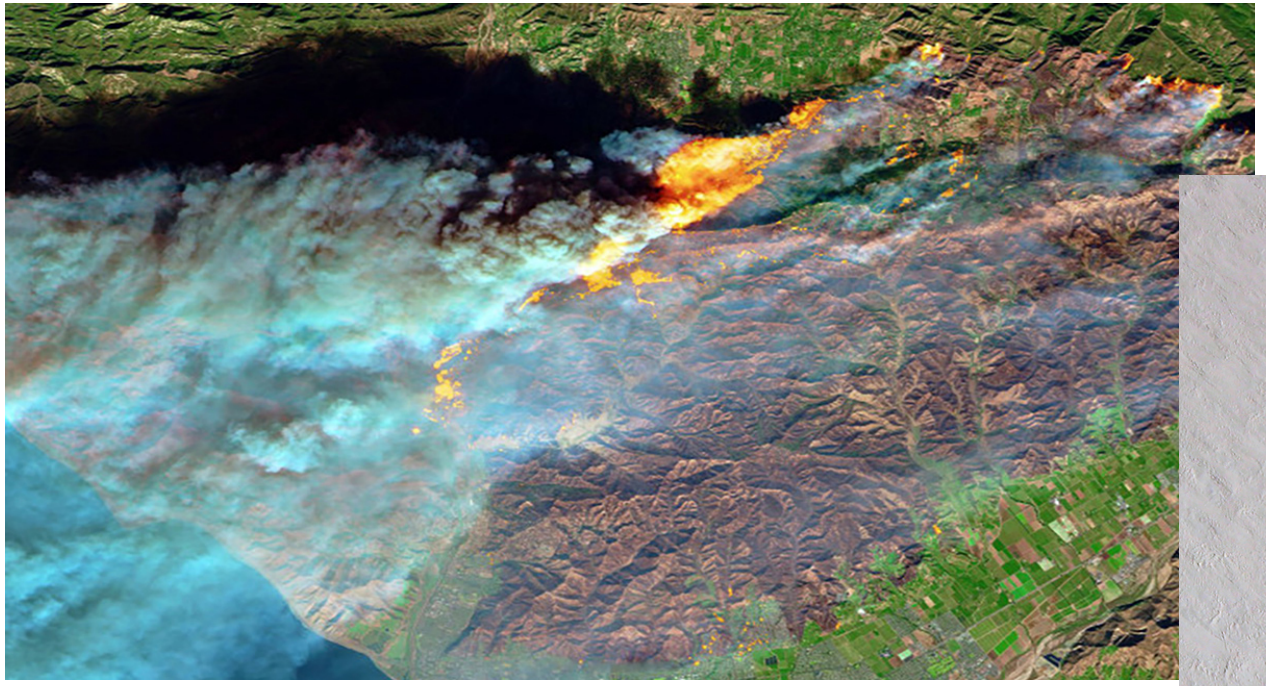
# La Misión SBG



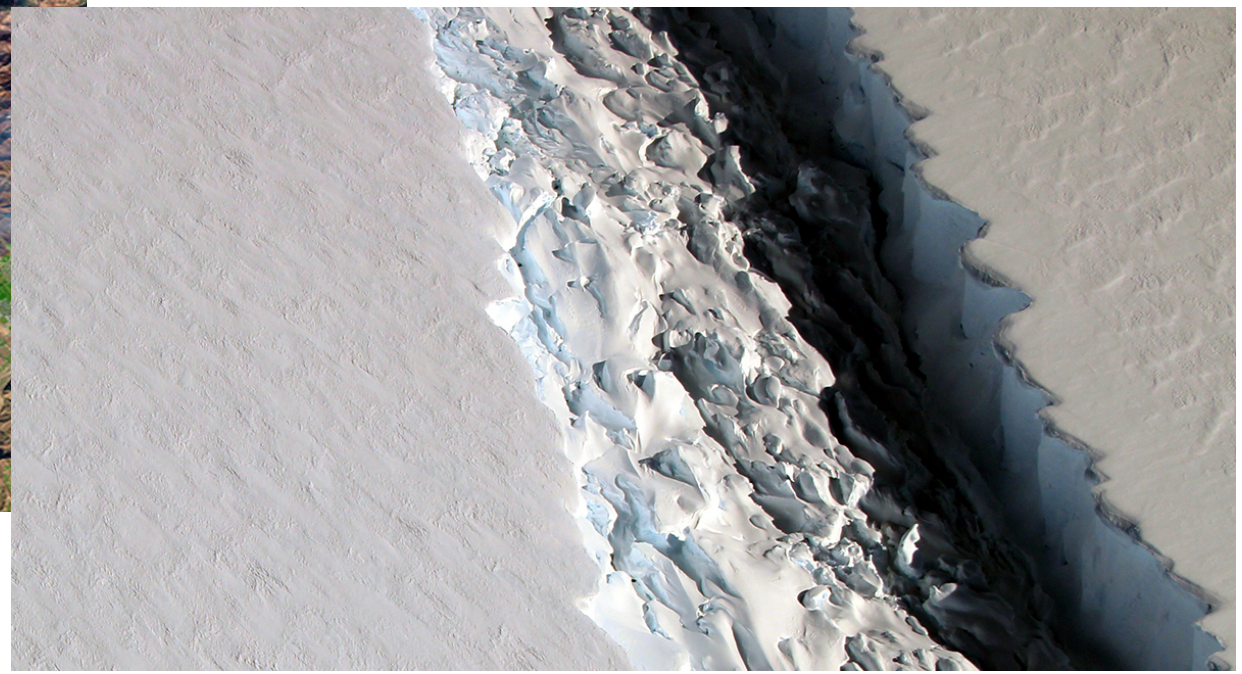

Posibles Aplicaciones de SBG; Fuente de la Imagen: JPL SBG

# La Misión SBG

- ¡Involúcrese con SBG! https://sbg.jpl.nasa.gov/news-events



El incendio Thomas; Fuente de la Imagen: JPL SBG

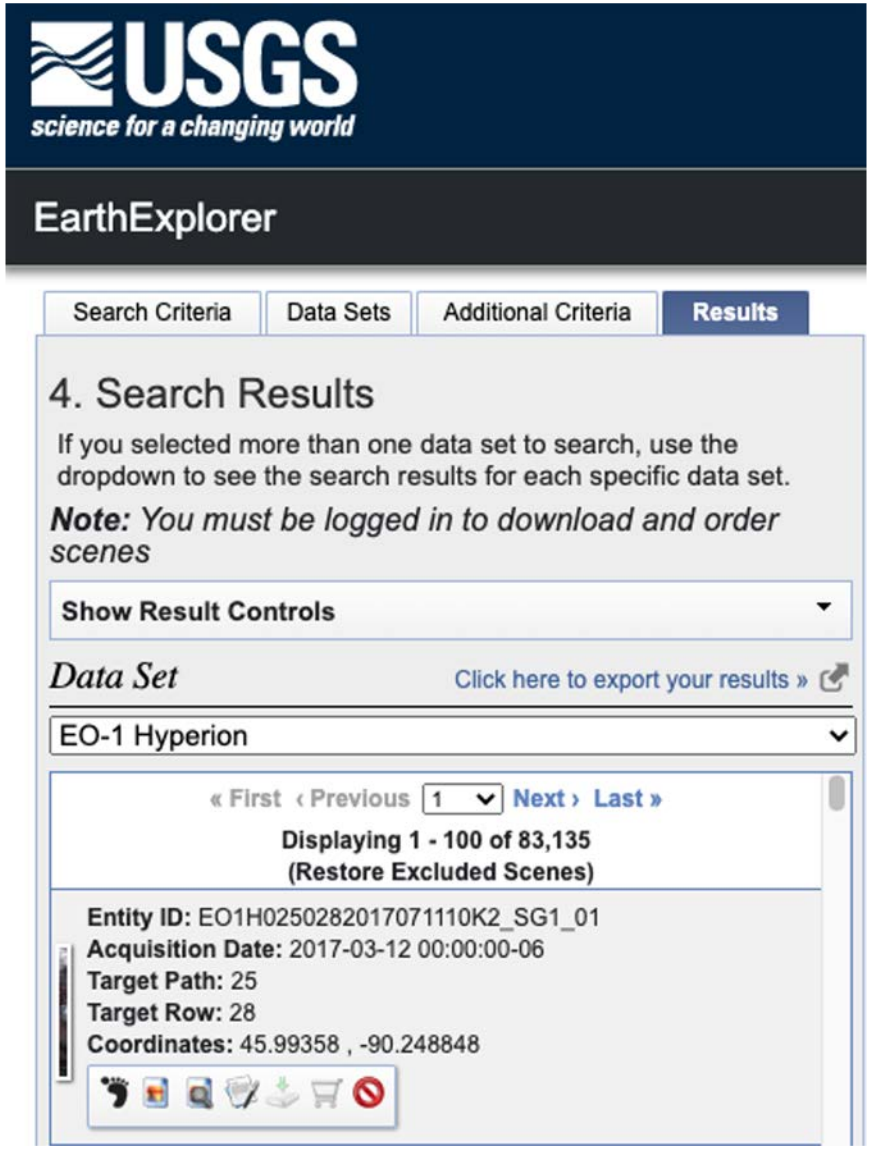


Plataforma de hielo Larsen-C; Fuente de la Imagen: JPL SBG

# Evaluación y Procesamiento de Datos Hiperespectrales

# Acceso a Datos Hiperespectrales

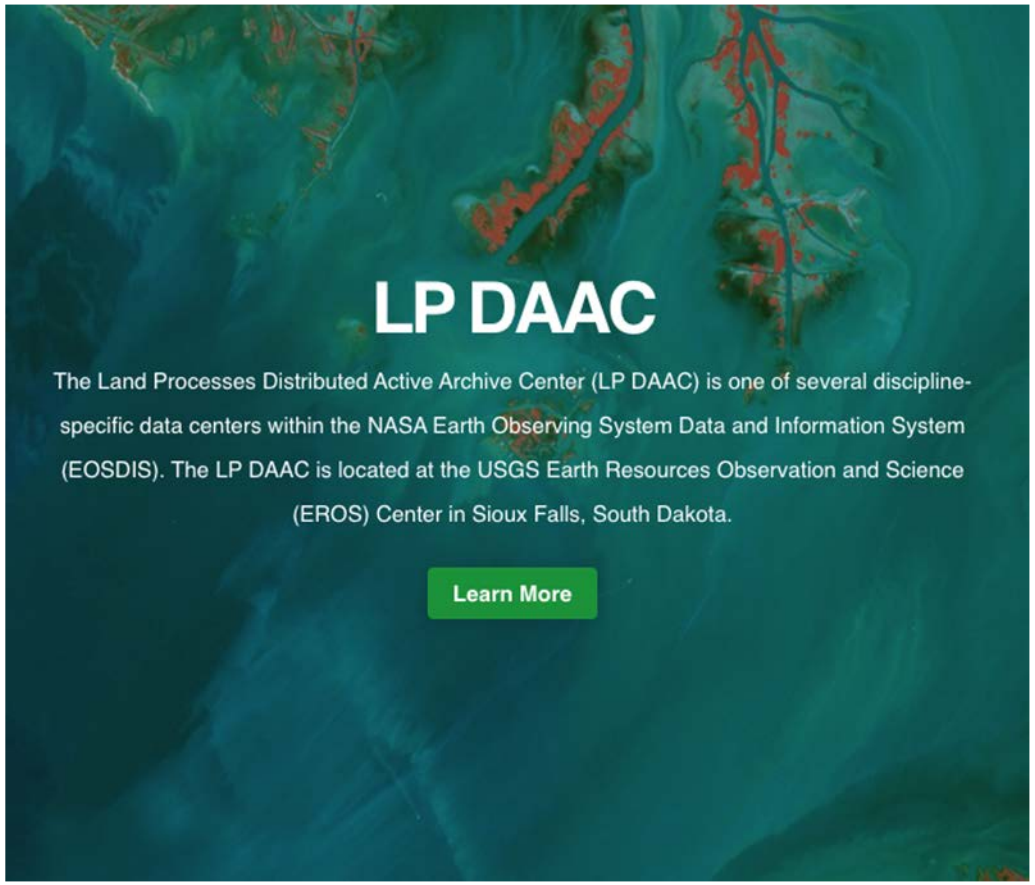
- Puede que ya conozca algunas páginas donde hay datos hiperespectrales disponibles.
  - USGS EarthExplorer
  - USGS GloVis
  - NASA EarthData
  - Google Earth Engine




Interfaz del Usuario en EarthExplorer; Fuente de la Imagen: USGS

# Acceso a Datos Hiperespectrales

- También hay datos disponibles a través de los NASA Distributed Active Archive Centers (DAACs).
  - Los datos están separados según el área de aplicación como Procesos Terrestres y Biología Oceánica.
  - Puede encontrar conjuntos hiperespectrales de AVIRIS, HICO, CORAL y otros mediante los recursos en línea de los DAACs.




Fuente de la Imagen: USGS

# Consideraciones sobre la Disponibilidad de Datos

**Datos de Prueba de Misiones Satelitales**

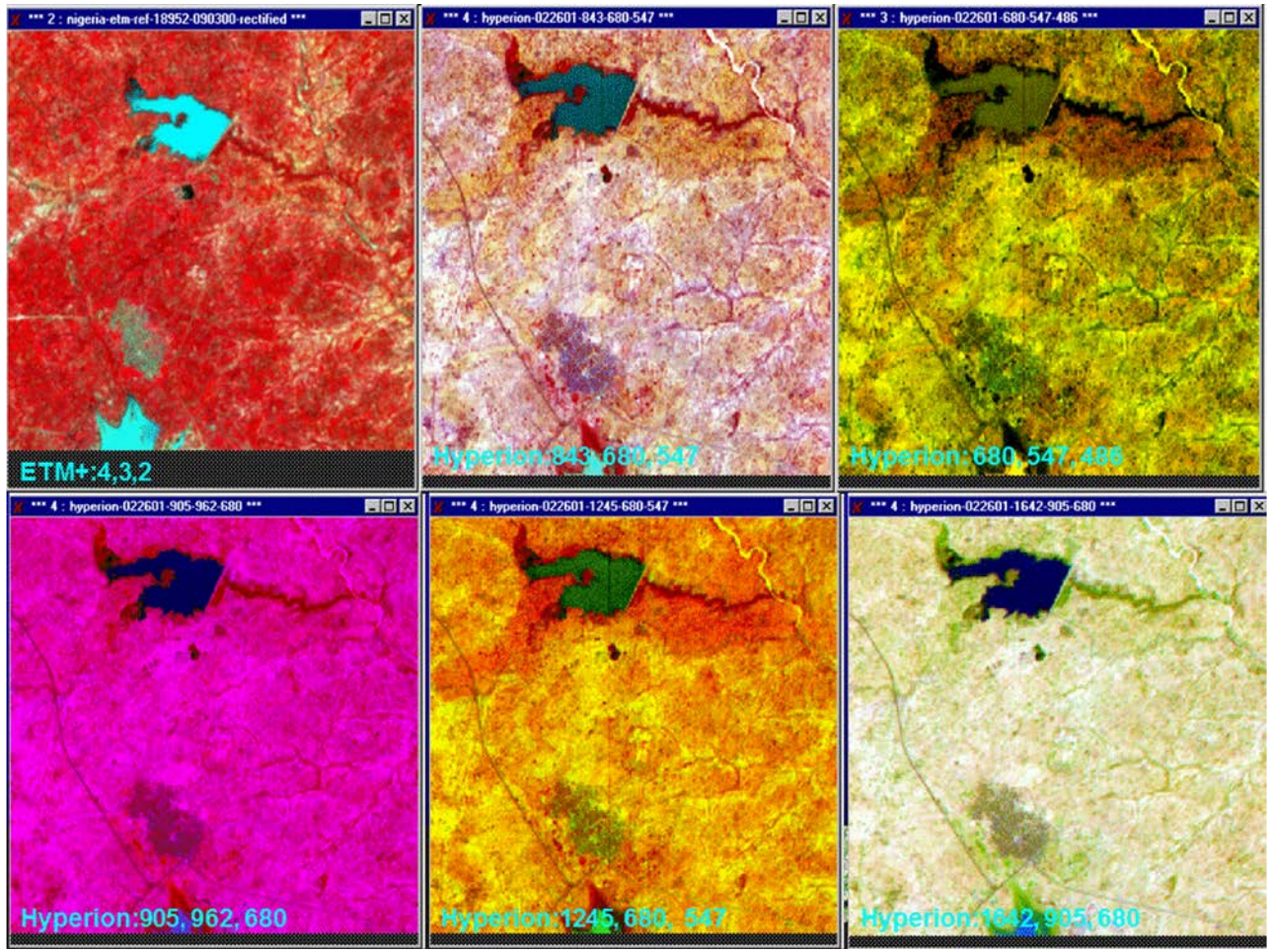
- El acceso a datos podría estar restringido a una región geográfica específica.
- Los datos crudos podrían necesitar ser procesados por algún científico de la NASA.
- Puede que sea necesario comunicarse con los científicos de la misión o del programa para tener acceso a datos adecuadamente preprocesados para la región de interés de uno.

**Datos Aéreos**

- Están limitados a las rutas de vuelo dictadas por los objetivos de la misión.
- La resolución temporal a menudo es estacional o anual.
- Las campañas podrían estar limitadas a unos cuantos años o una sola misión de prueba.
- Muchos vuelos de investigación se cancelaron en 2020 debido al COVID.

# Procesamiento de Datos Hiperespectrales

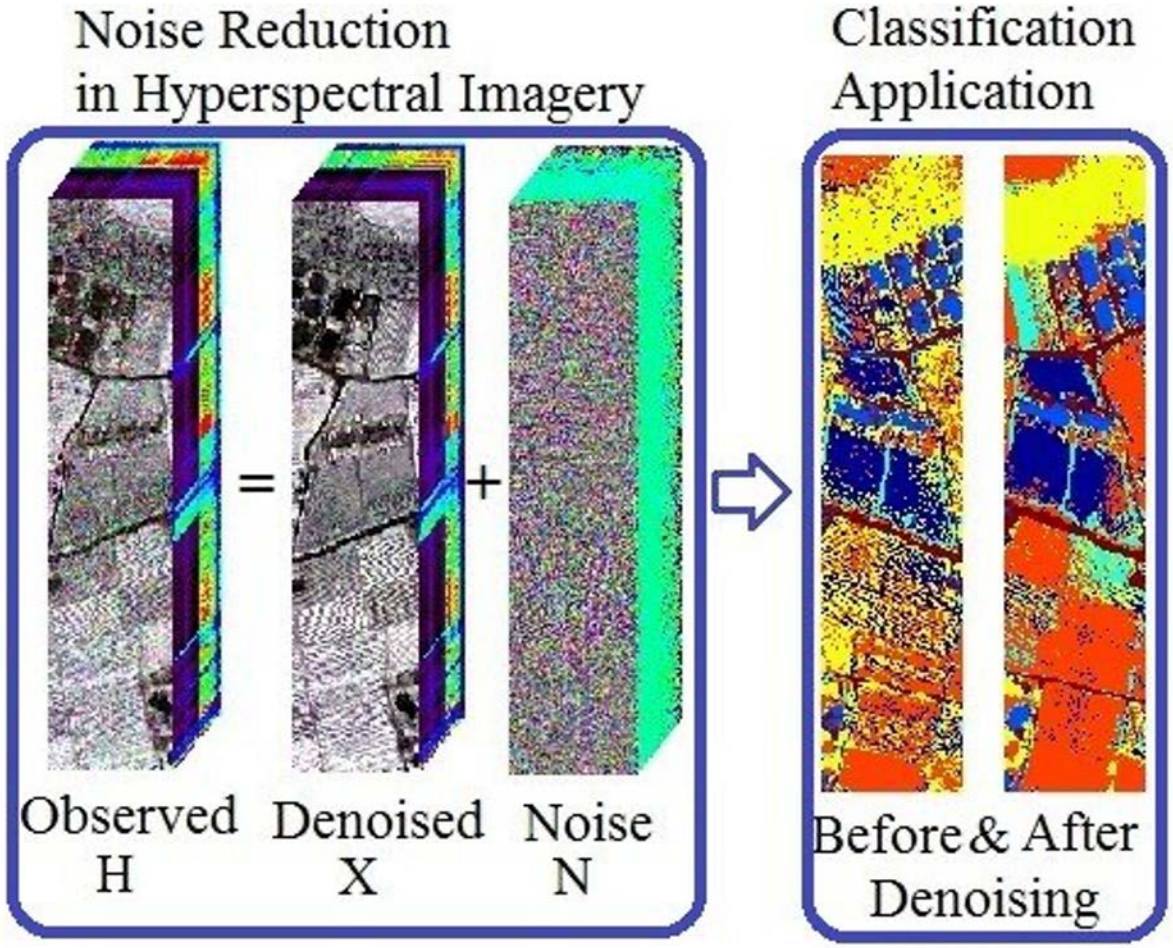
- Los datos están disponibles en diferentes niveles de procesamiento según el sensor.
  - Nivel 1: Radiancia
  - Nivel 2: Reflectancia Superficial
- Hay que aplicar una corrección atmosférica.
- Técnicas de Reducción de Dimensionalidad:
  - Principal Component Analysis (PCA)
  - Minimum Noise Fraction (MNF)
- Se puede realizar el procesamiento y análisis en:
  - ArcGIS
  - QGIS
  - ENVI
  - Erdas Imagine
  - Google Earth Engine
  - R
  - Python




Imágenes compuestas de color falso (false color composites o FCCs) de datos de Landsat y Hyperion. Los datos hiperespectrales brindan muchas posibilidades y combinaciones de FCCs como podemos ver aquí para varias combinaciones de las bandas de Hyperion. Fuente de la Imagen: USGS

# Consideraciones sobre el Procesamiento de Datos

- Los archivos de datos son pesados
  - 100 a 250 bandas
  - Requieren de una mayor capacidad de almacenamiento y procesamiento
- Las bandas podrían mostrar propiedades de reflectancia similares/ una correlación elevada entre bandas
  - Puede que sea difícil determinar cuáles son las bandas más apropiadas para la aplicación específica
- Puede haber una relación señal-ruido elevada




Reducción de ruidos en imágenes hiperespectrales. Fuente de la Imagen: Rasti et al., 2018

# Resumen

- Datos Hiperespectrales: Generalmente, centenas de bandas espectrales contiguas para poder derivar un espectro radiante para cada píxel.
  - Miden reflectancia en intervalos cortos en el espectro electromagnético
  - Las bandas normalmente están distanciadas por 10 nm o menos entre sí
- Hay una multitud de sensores satelitales y aéreos (Hyperion, AVIRIS, etc.)
- Consideraciones sobre Datos:
  - Beneficios: Poder diferenciar entre diferentes tipos de vegetación, minerales, indicadores de sequía etc.
  - Limitaciones: Conjuntos de datos pesados, la posibilidad de una relación señal-ruido elevada, regionales no globales
- Las Dos Sesiones Siguientes: Aplicaciones de Datos Hiperespectrales para Sistemas Terrestres y Costeros/Oceánicos

APPLIED REMOTE SENSING TRAINING PROGRAM
TRAIN - EMPOWER - ADVANCE

# ¡Gracias!