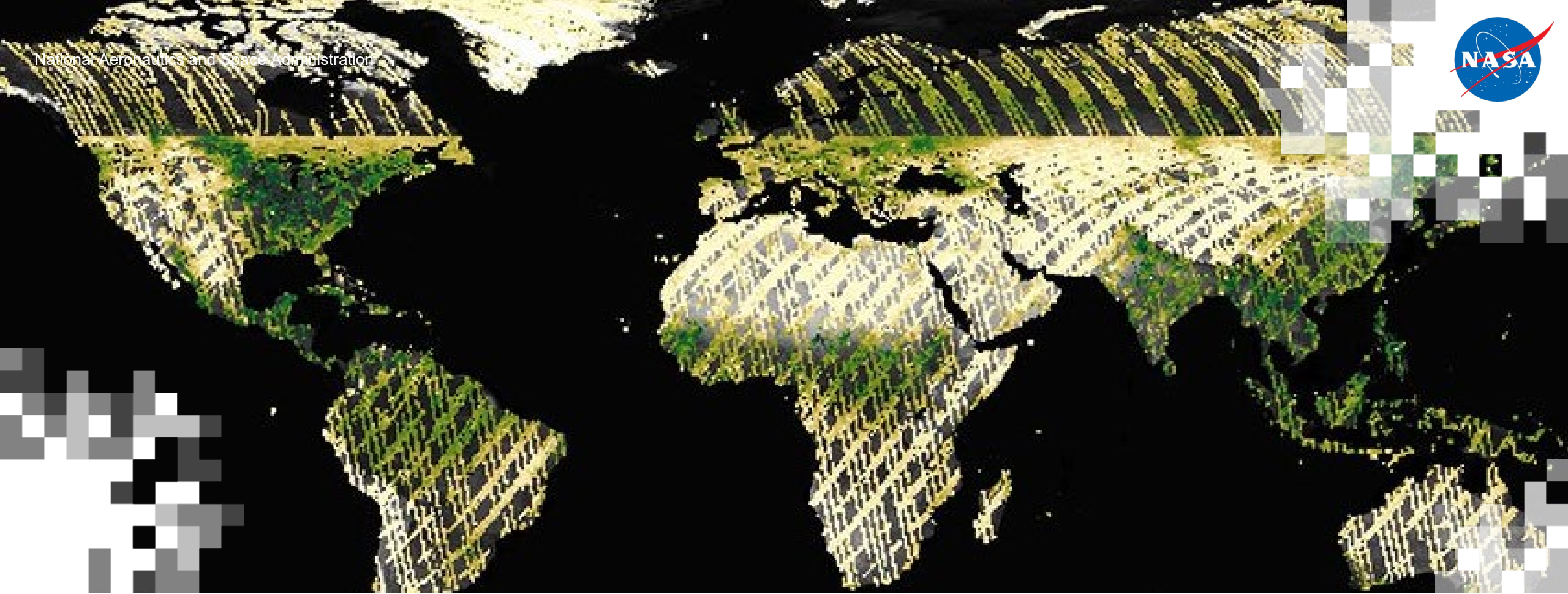




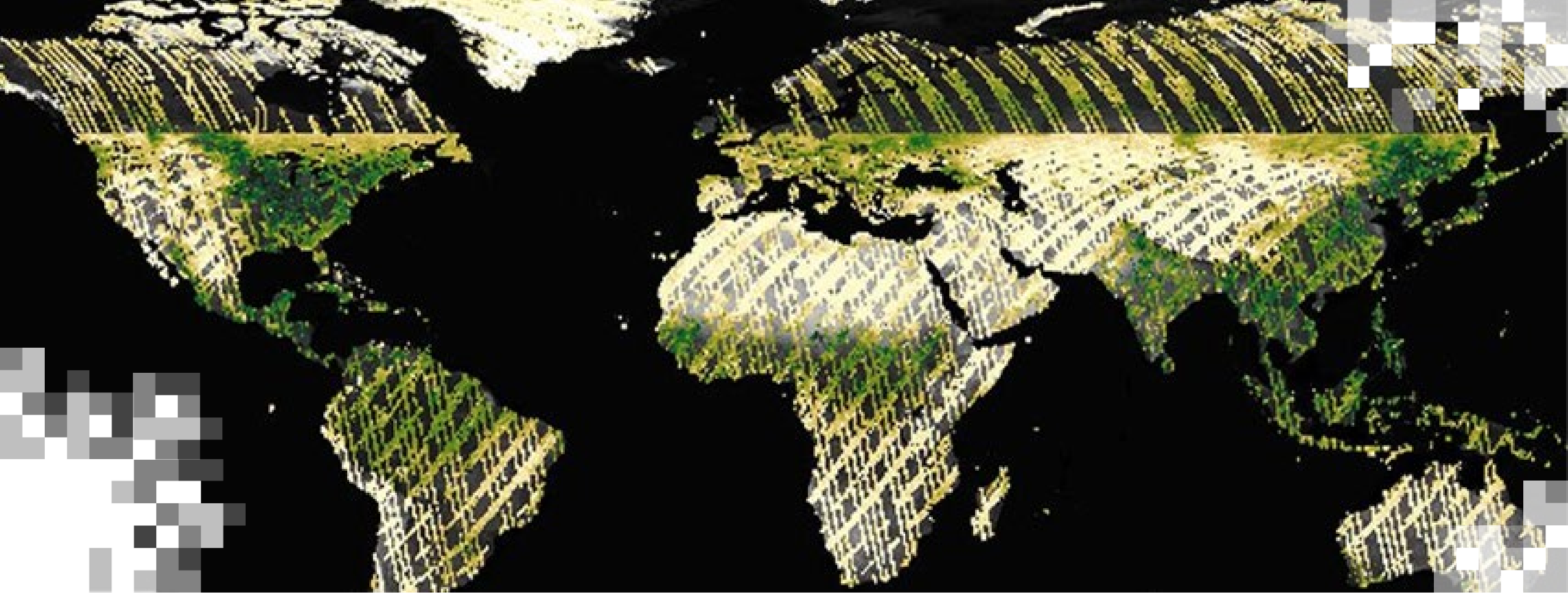
Observaciones de Fluorescencia Inducida por el Sol (SIF) para Evaluar Cambios en la Vegetación Relacionados con Inundaciones, Sequías e Impactos de Incendios

Sesión 1: Mediciones de la Fluorescencia Inducida por el Sol (SIF) Desde el Espacio

Erika Podest, Ph.D. (NASA Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology), Jackie Ryan (NASA Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology) & Dr. Nick Parazoo (NASA Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology)

15 de octubre de 2025





El Programa ARSET

Acerca de ARSET*

- **ARSET ofrece capacitaciones sin costo sobre satélites, sensores, métodos y herramientas de teledetección.**
- Las capacitaciones se enfocan en el uso de datos satelitales para apoyar una variedad de aplicaciones y están personalizadas para participantes con diferentes niveles de experiencia.



AGRICULTURA



CLIMA Y RESILIENCIA



DESASTRES



CONSERVACIÓN ECOLÓGICA



SALUD Y CALIDAD DEL AIRE

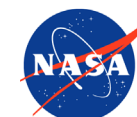


RECURSOS HÍDRICOS



INCENDIOS FORESTALES

*Siglas de **A**ppplied **R**emote **S**ensing **T**raining Program
(Programa de Capacitación de Teledetección Aplicada en inglés)



EARTH SCIENCE
APPLIED SCIENCES



CAPACITY BUILDING



Acerca de las Capacitaciones de ARSET

- En línea o presenciales
- En vivo y dirigidas por un instructor, o asincrónicas y a ritmo autodidacta
- Sin ningún costo
- Opciones bilingües y multilingües
- Solo usan software y datos de fuente abierta
- Diseñadas para diferentes niveles de experiencia
- Visite la [página de ARSET](#) para aprender más.

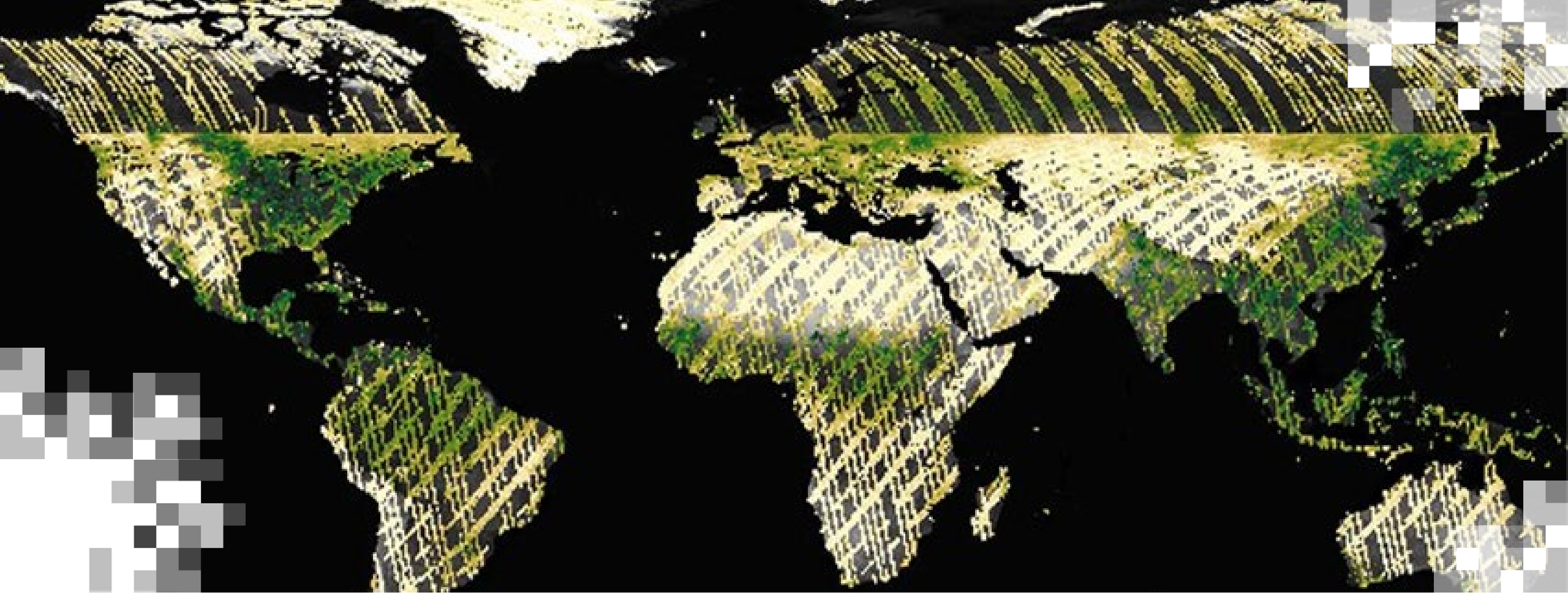


EARTH SCIENCE
APPLIED SCIENCES



CAPACITY BUILDING





**Observaciones de Fluorescencia Inducida por el Sol (SIF) para
Evaluar Cambios en la Vegetación Relacionados con
Inundaciones, Sequías e Impactos de Incendios
Resumen**

Esquema de la Capacitación

Sesión 1

**Mediciones de la
Fluorescencia
Inducida por el Sol
(SIF) desde el
Espacio**

**15 de octubre de 2025
3:00 pm - 05:00 pm EST
(1900-2100 UTC)**

Sesión 2

Resumen de los
Modos de
Observación de
OCO-2 y OCO-3 y
las Observaciones
de SIF

22 de octubre de 2025
3:00 pm - 05:00 pm EST
(1900-2100 UTC)

Sesión 3

Datos de SIF
Completos (Gap-
Filled)

29 de octubre de 2025
3:00 pm - 05:00 pm EST
(1900-2100 UTC)

Tarea

Abre el 29 de octubre – Fecha de entrega: 12 de noviembre –
El enlace para la tarea se publicará en la pagina web de la capacitación

Se otorgará un certificado de finalización de curso a quienes asistan a las tres sesiones en vivo y completen la tarea a la fecha estipulada.



Prerrequisitos

- [Fundamentos de la Percepción Remota \(Teledetección\)](#)
- [El Uso de la Fluorescencia Inducida por el Sol y LIDAR para Evaluar los Cambios y la Vulnerabilidad de la Vegetación](#)

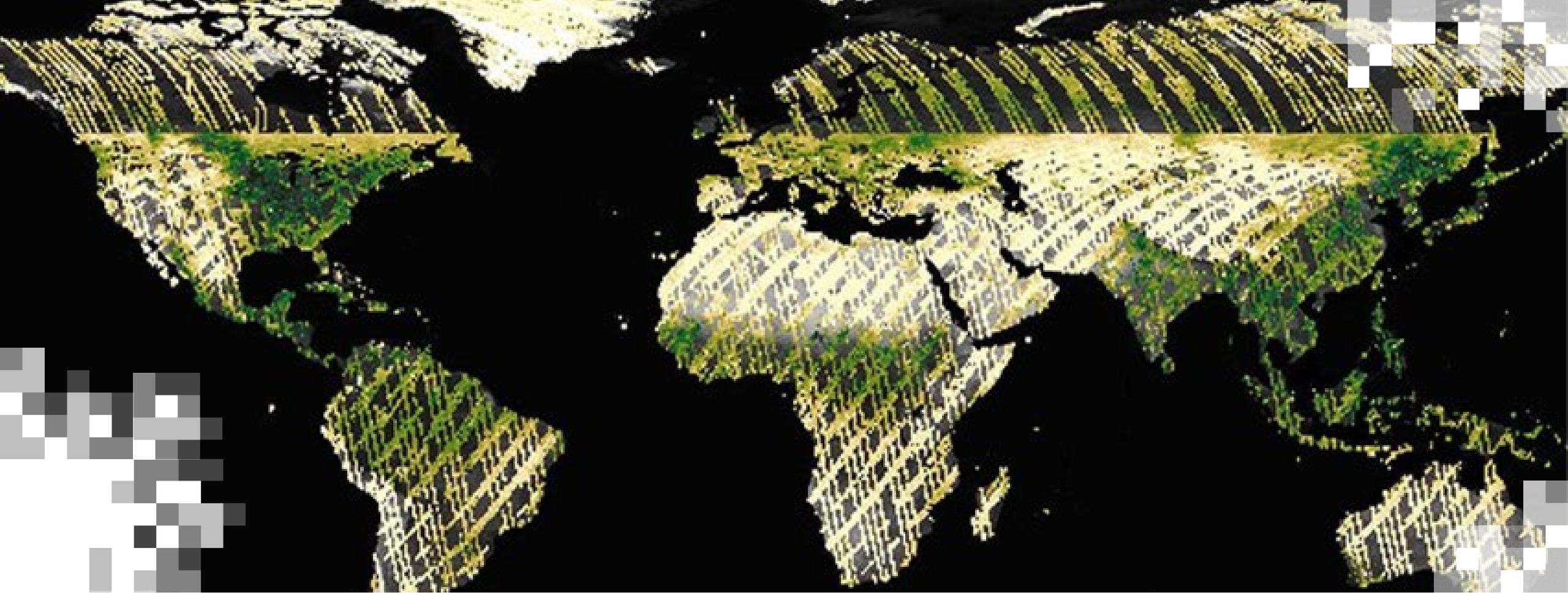


Objetivos de Aprendizaje

Al final de esta capacitación, los participantes podrán:

- Entender cómo se mide la Fluorescencia Inducida por el Sol (SIF) y cómo se utiliza como una medida complementaria a los índices comúnmente usados (como el NDVI) en aplicaciones relacionadas con la tierra y la vegetación.
- Identificar las ventajas y limitaciones del uso de mediciones de SIF desde el espacio para monitorear y evaluar la salud y el estado de la vegetación.
- Ejecutar un cuaderno de Jupyter para generar un gráfico de Mapa de Área Instantánea (SAM) a partir de datos de OCO-3 para regiones de interés seleccionadas, con el fin de analizar y evaluar cambios en la vegetación y en el uso del suelo debido a impactos por incendios.
- Ejecutar un cuaderno de Jupyter utilizando datos de GoSIF para regiones de interés y producir visualizaciones que permitan analizar e interpretar cambios episódicos en la vegetación causados por sequías e inundaciones.
- Comparar cómo se utilizan datos de SIF agregados en espacio y tiempo mediante herramientas de código abierto para estudiar los cambios en la vegetación en diferentes regiones, en una variedad de casos de uso científicos y aplicados.





**Observaciones de Fluorescencia Inducida por el Sol (SIF) para
Evaluar Cambios en la Vegetación Relacionados con
Inundaciones, Sequías e Impactos de Incendios**

Sesión 1: Mediciones de la Fluorescencia Inducida por el Sol (SIF)
Desde el Espacio

Sesión 1 – Instructores

Erika Podest

Científica e Instructora de ARSET
NASA Jet Propulsion Laboratory,
California Institute of Technology



Dr. Nick Parazoo

Manager del Programa del
Ciclo de Carbono y Ecosistemas
NASA Jet Propulsion Laboratory,
California Institute of Technology



Jackie Ryan

Desarrolladora de Visualización
de Datos
NASA Jet Propulsion Laboratory,
California Institute of Technology



Sesión 1: Objetivos

Al final de la sesión de hoy, los participantes podrán:

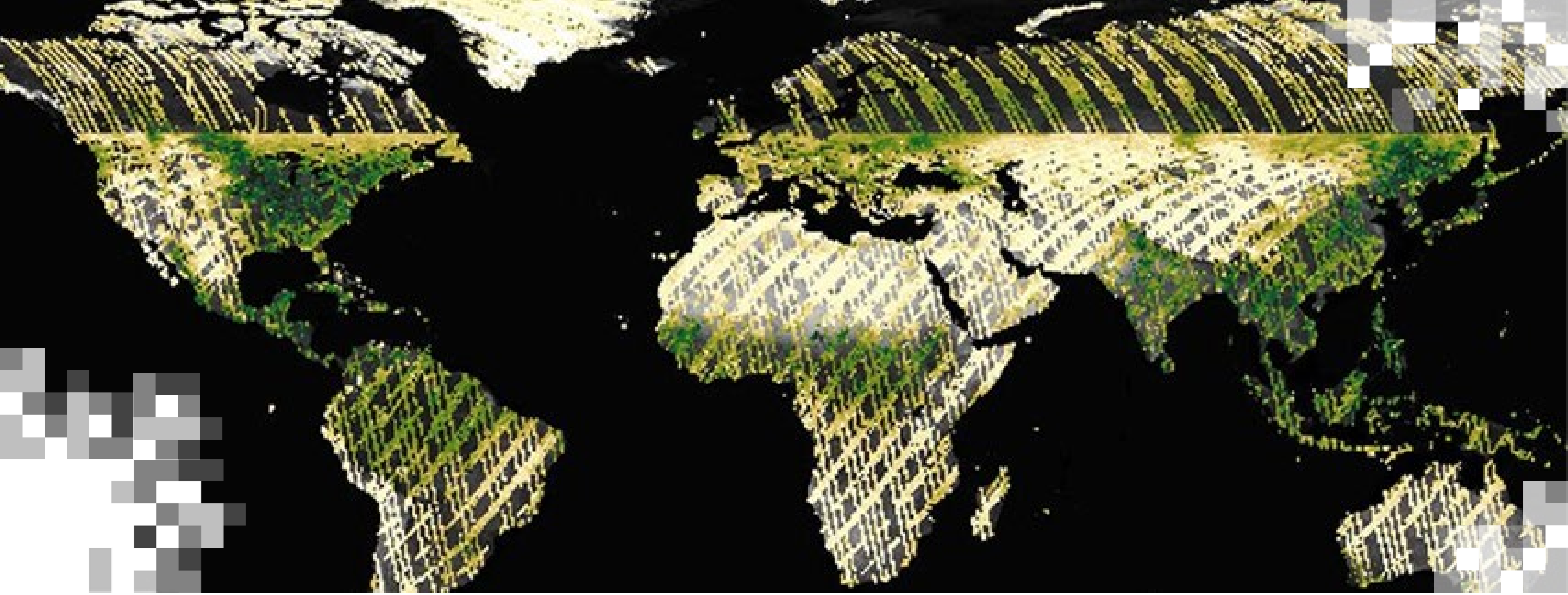
- Definir qué es SIF (fluorescencia inducida por el sol), cómo se mide y describir dónde funciona bien y dónde presenta limitaciones.
- Identificar cómo se utilizan las mediciones de SIF en la investigación científica y en aplicaciones relacionadas con el uso del suelo.
- Configurar un entorno de Jupyter Notebook y extraer datos de SIF desde el sistema Earthdata de la NASA.
- Identificar cómo superar una limitación clave de los datos de SIF de Nivel 2 mediante la agregación de múltiples días para crear productos ráster en cuadrícula con mayor cobertura espacial.
- Ejecutar Notebooks de Jupyter para explorar la información auxiliar incluida en los datos de SIF y cómo estos pueden utilizarse para refinar un análisis.



Cómo Hacer Preguntas

- Por favor escriba sus preguntas en la casilla denominada “Questions” y las responderemos al final de esta sesión.
- Puede escribir sus preguntas durante la sesión. Intentaremos responder todas las preguntas durante la sesión de preguntas y respuestas.
- Las preguntas que no podamos responderlas en el documento de preguntas y respuestas, el cual será publicado en la página de esta capacitación en un par de días.





¿Qué es SIF?

EARTH'S MYSTERIOUS RED GLOW



(El Brillo Rojo Misterioso de la Tierra, en inglés)

Preguntas Frecuentes: ¿Qué Significa SIF?

SIF =Siglas de “Solar-Induced Fluorescence”, Fluorescencia Inducida por el Sol, en inglés
Una pequeña señal de luz roja emitida por moléculas de clorofila excitadas

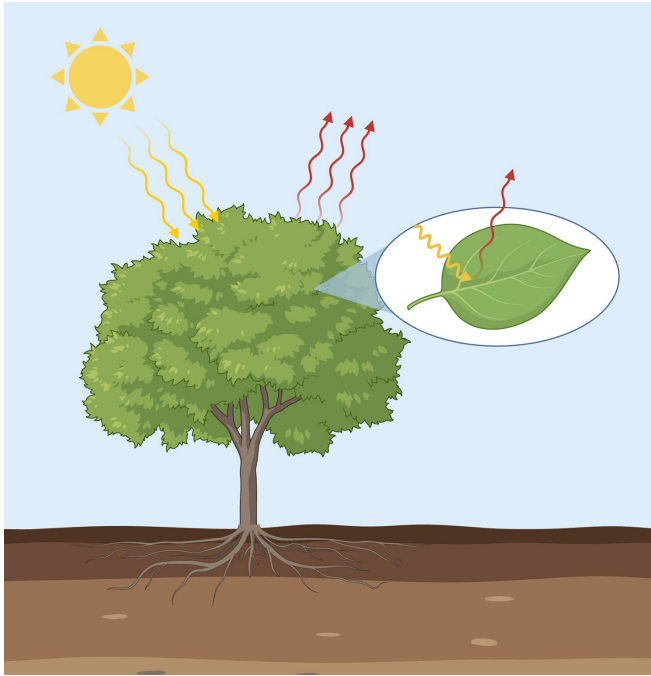
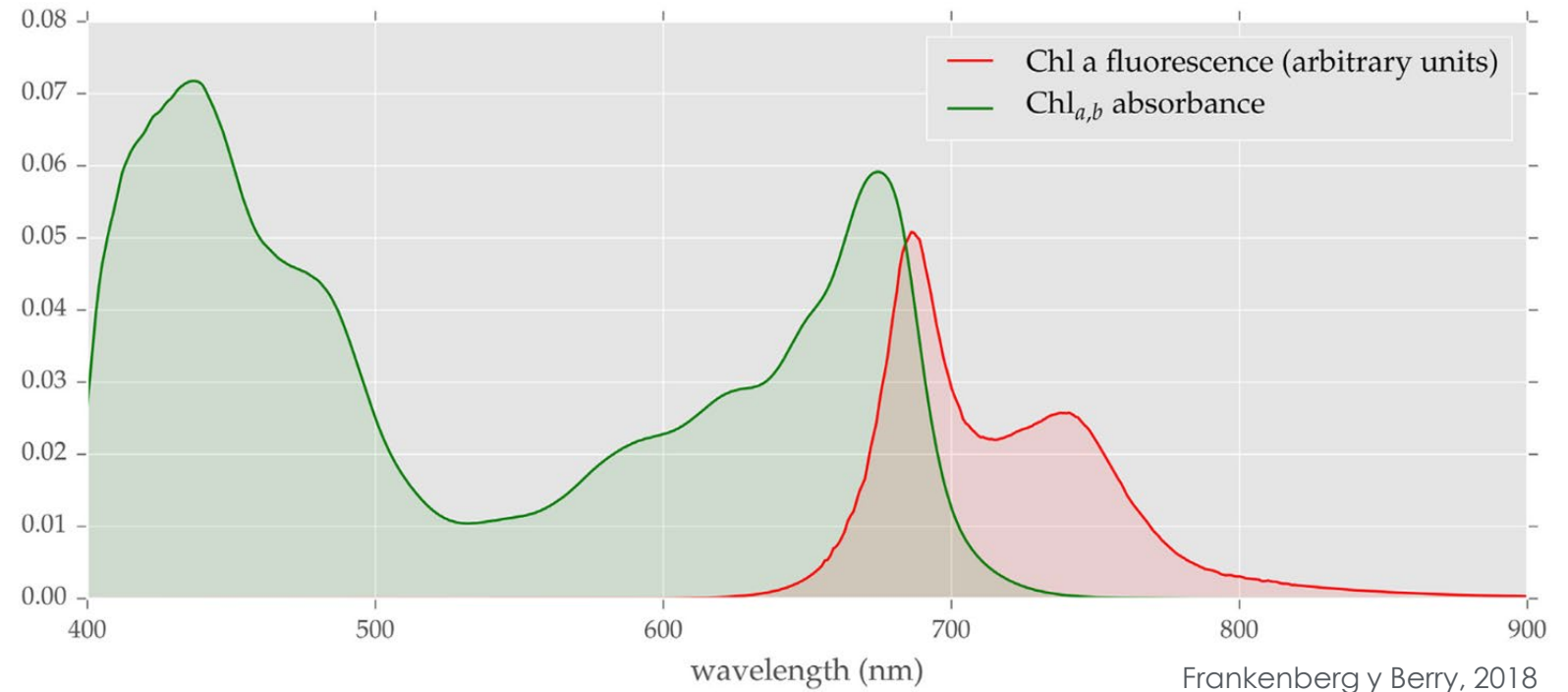


Imagen Creada con BioRender



Frankenberg y Berry, 2018

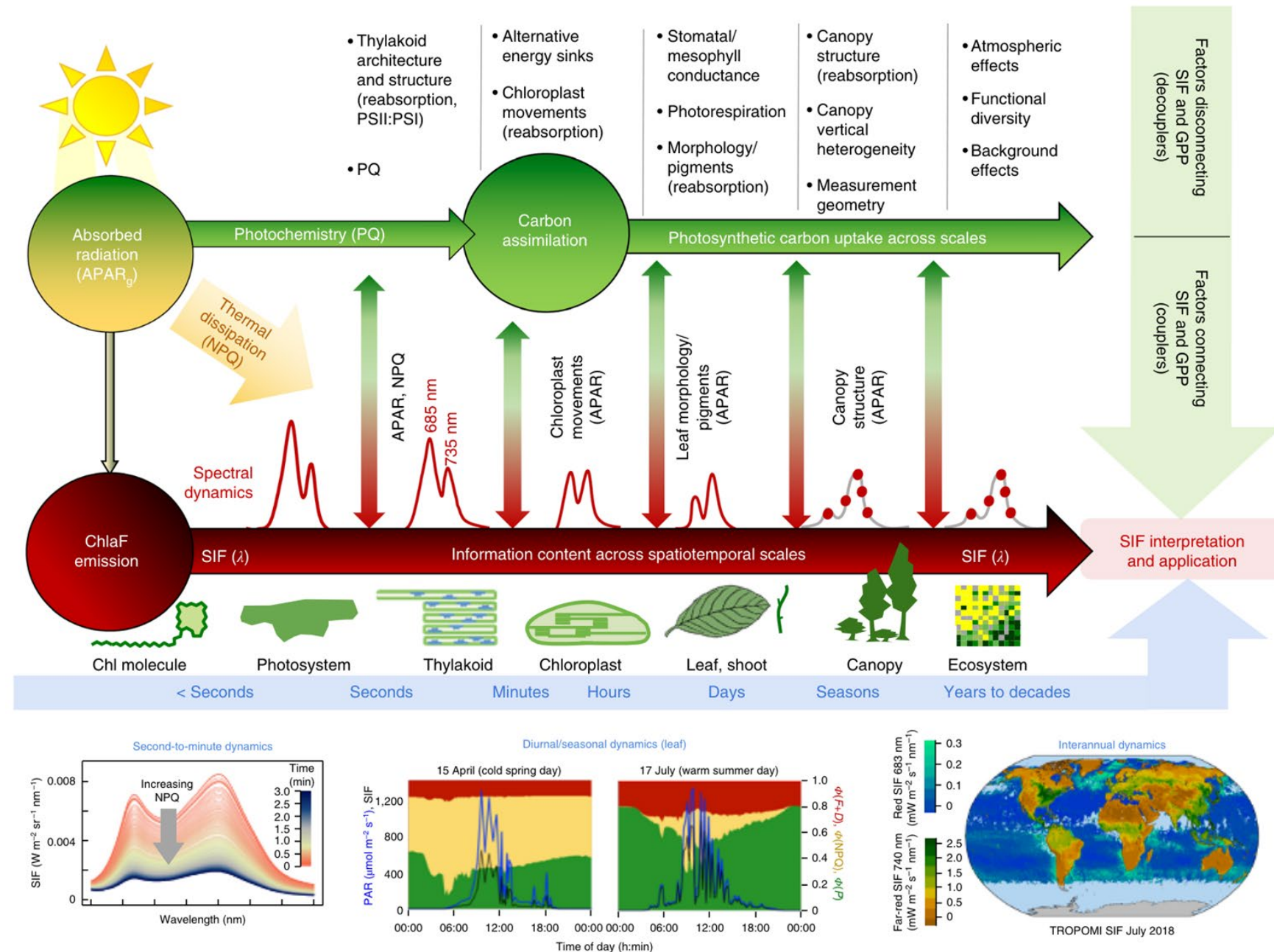
Video Anterior: [Earth's Mysterious Red Glow, Explained - Zoe Pierrat \(TedEd\)](#)

NASA ARSET – Solar Induced Fluorescence (SIF) Observations for Assessing Vegetation Changes Related to Floods, Drought, and Fire Impacts



Preguntas Frecuentes: La Relación Entre SIF y la Fotosíntesis de las Plantas: Larga Historia

Larga Historia: Es complicado.



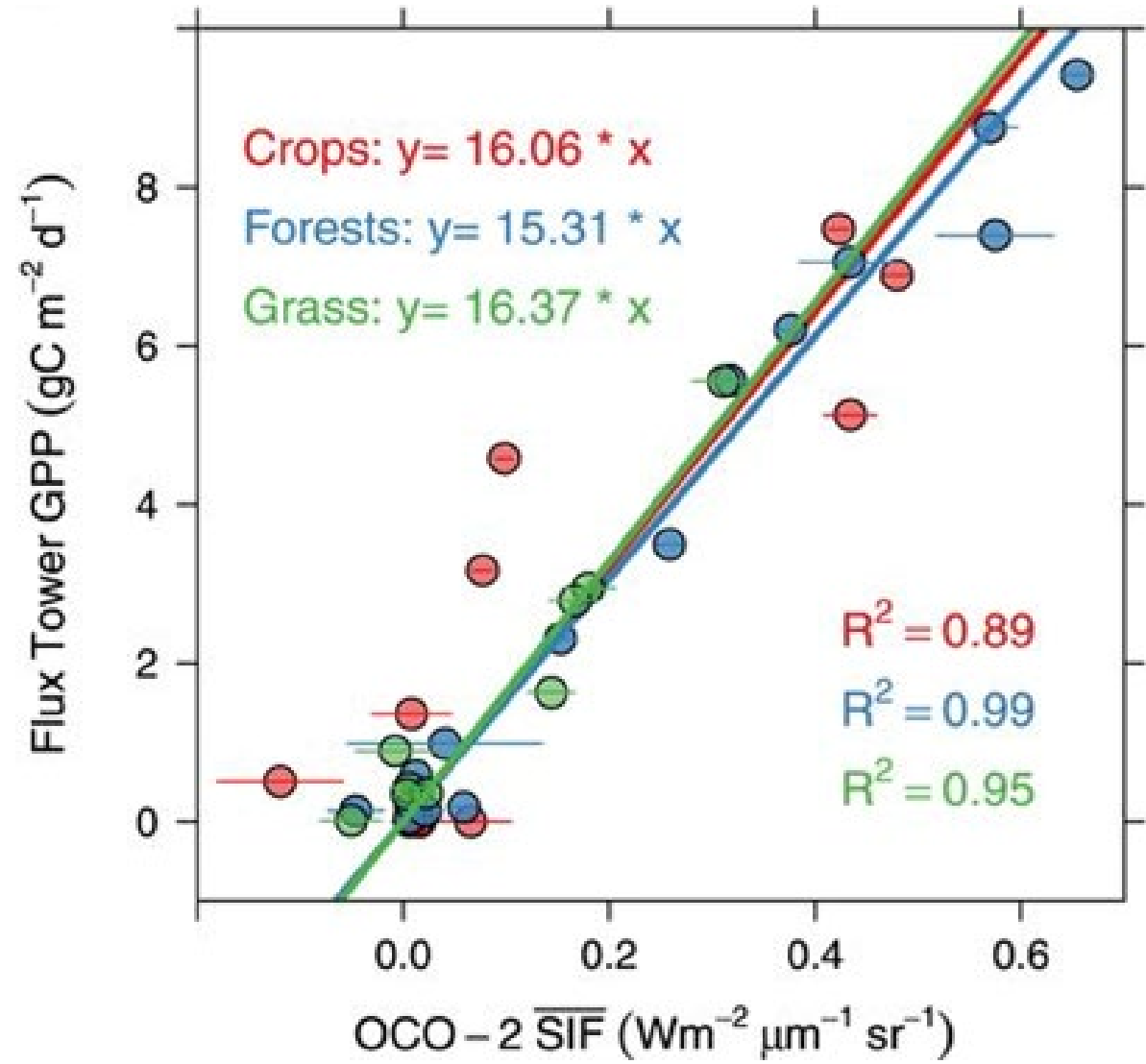
Porcar-Castell et al., 2021

NASA ARSET – Solar Induced Fluorescence (SIF) Observations for Assessing Vegetation Changes Related to Floods, Drought, and Fire Impacts



Preguntas Frecuentes: La Relación Entre SIF y la Fotosíntesis de las Plantas: Historia Breve

Historia Breve: SIF = Fotosíntesis



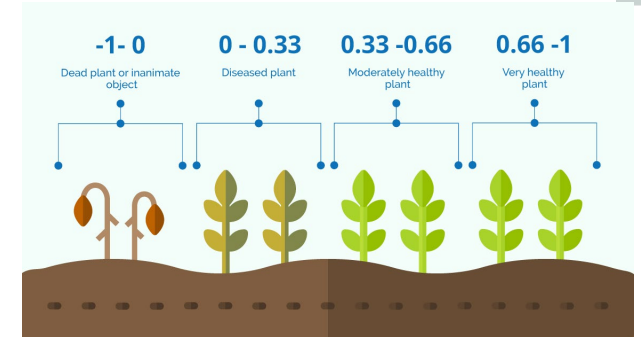
Sun et al., 2017

NASA ARSET – Solar Induced Fluorescence (SIF) Observations for Assessing Vegetation Changes Related to Floods, Drought, and Fire Impacts



Preguntas Frecuentes: ¿Por qué SIF es Óptima para Detectar la Actividad de las Plantas?

- Las métricas de reflectancia (por ejemplo, el NDVI) nos indican el color.
- SIF es una emisión directa con vínculos mecánicos con la fotosíntesis.



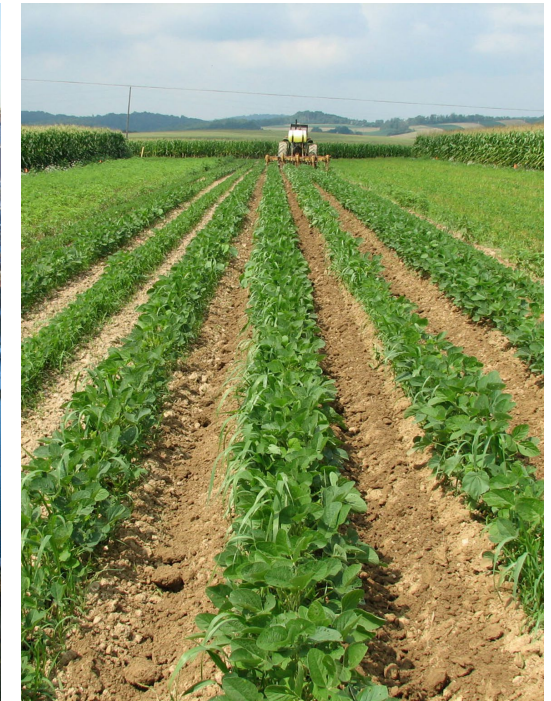
Independiente del Color



Baja Sensibilidad a las Nubes

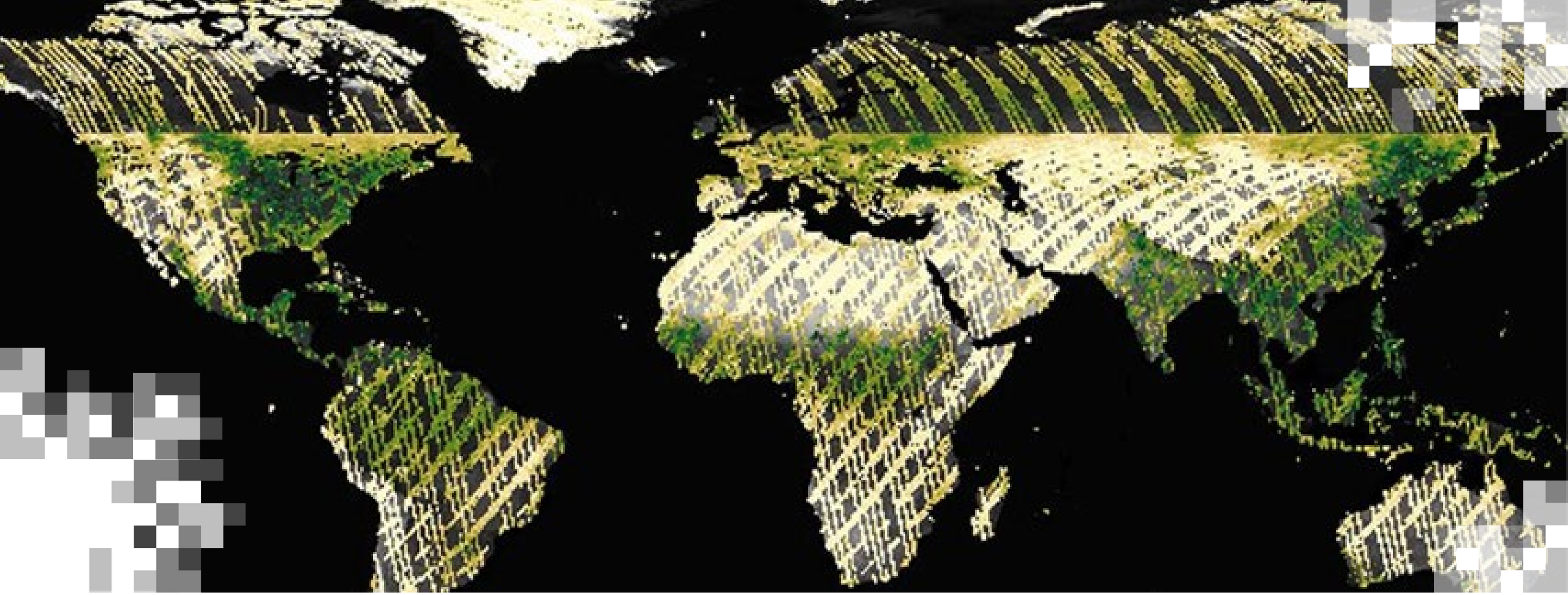


Baja Sensibilidad a Superficies Pavimentadas y Mojadas



Baja Sensibilidad a los Suelos

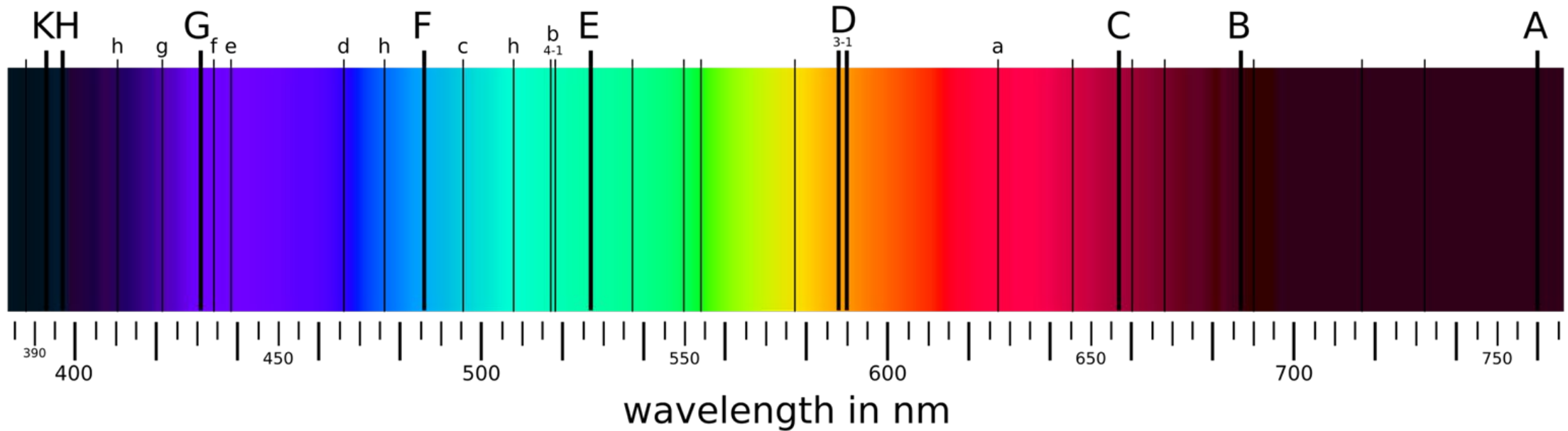




¿Cómo se Mide SIF?

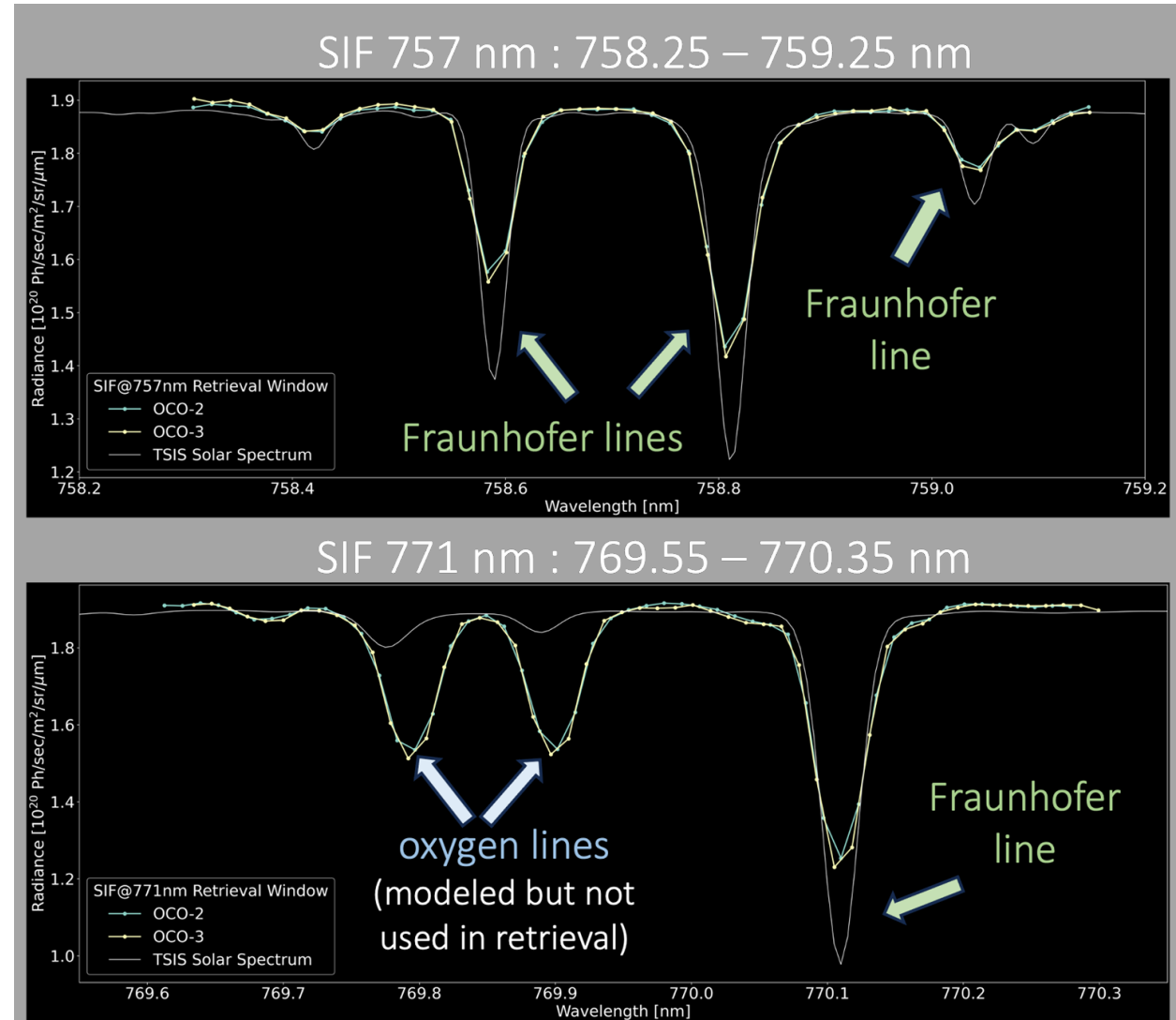
¿Cómo se Mide SIF?

Líneas de Fraunhofer

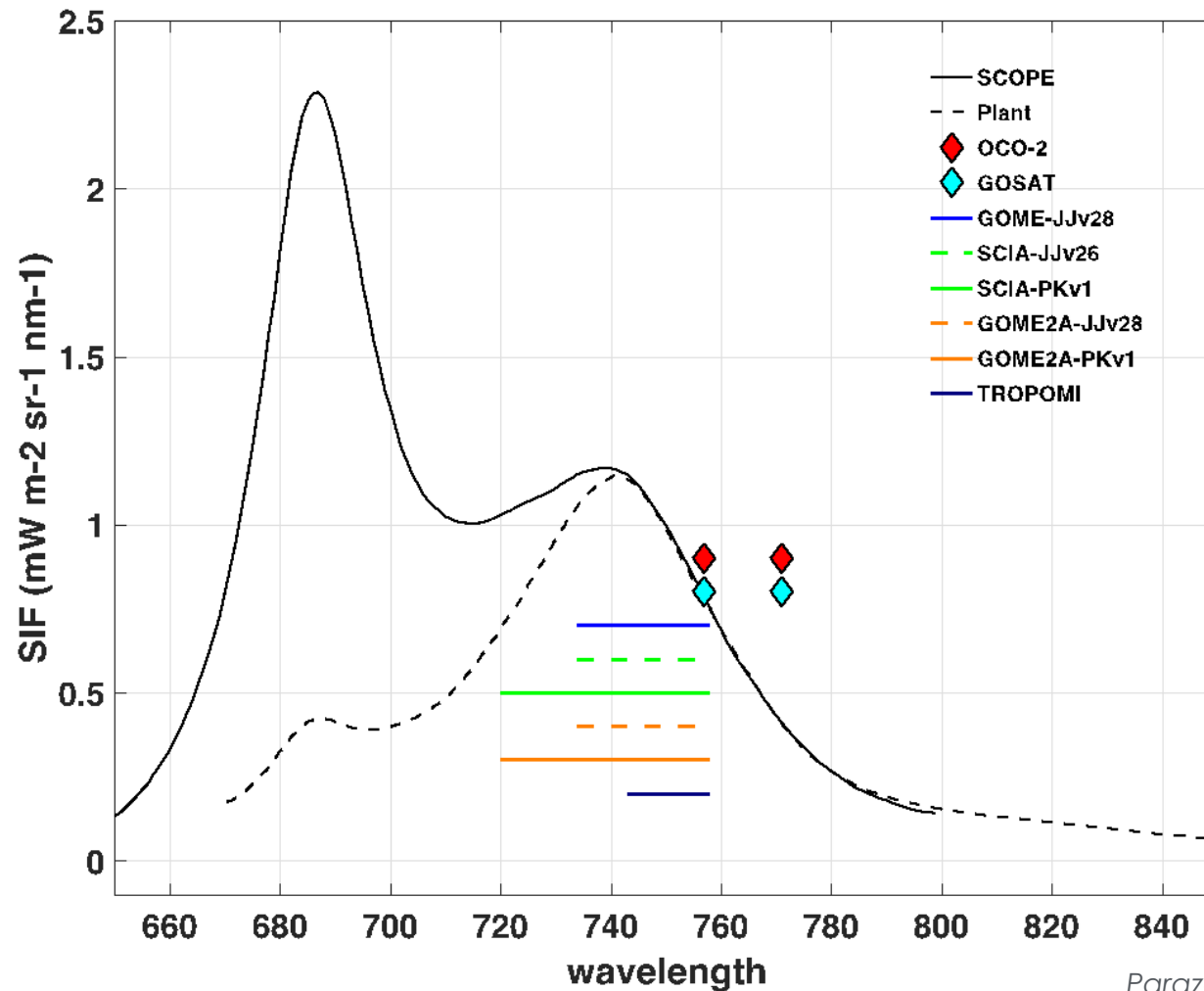


¿Cómo se Extrae SIF?

- Se aprovecha el cambio de profundidad en las líneas solares de Fraunhofer debido a la fluorescencia emitida por las plantas (en regiones espectrales diferentes a las absorbidas)
- Para instrumentos de alta resolución espectral como OCO, las extracciones de SIF se realizan en dos bandas espectrales estrechas alrededor de la banda A de O_2 (llamadas "757" y "771" por razones históricas)
- Otros sensores de SIF aprovechan las líneas de Fraunhofer en longitudes de onda más altas (por ejemplo, TROPOMI, GOME-2, SCIAMACHY)

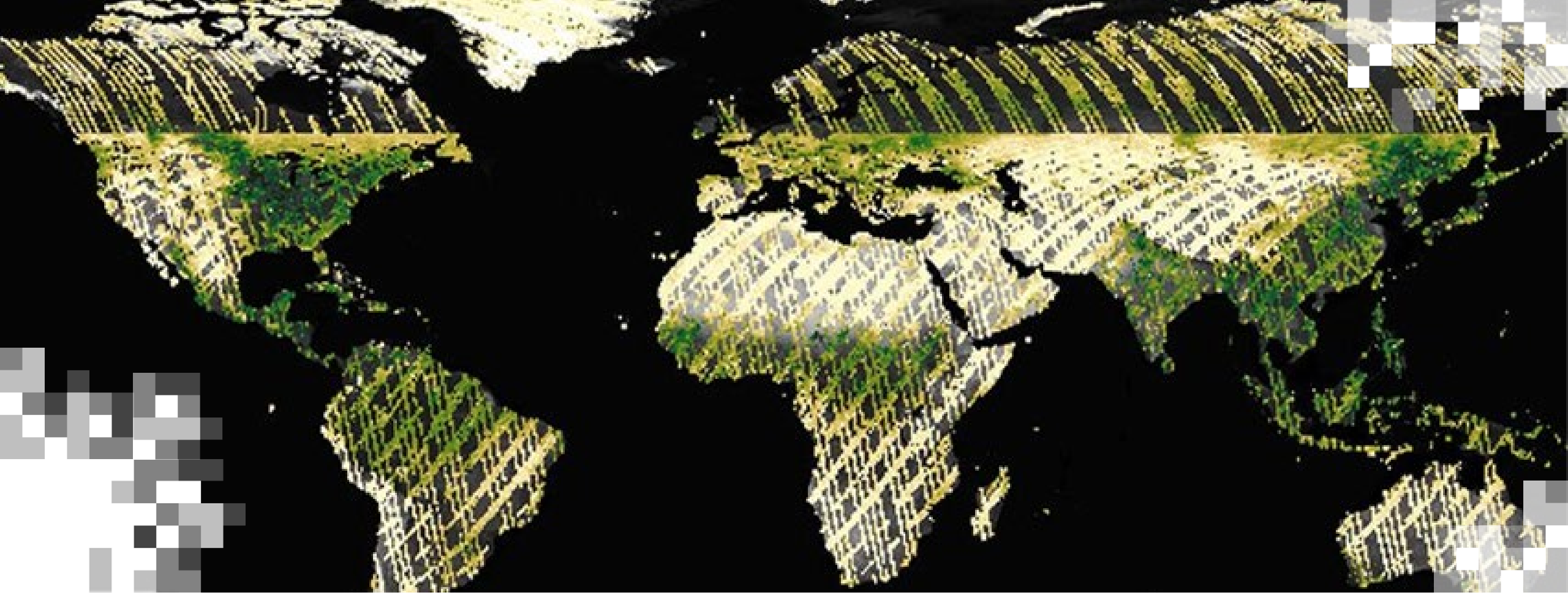


Bandas Espectrales Típicas Utilizadas para Extraer SIF Desde el Espacio



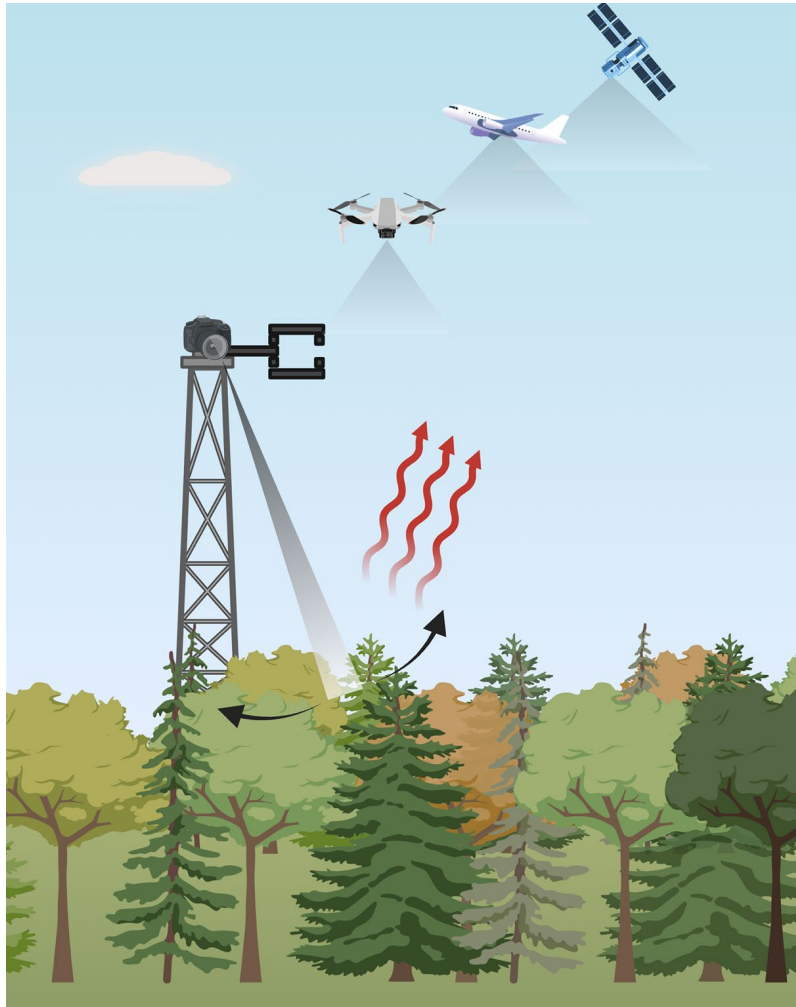
Parazoo et al., 2019





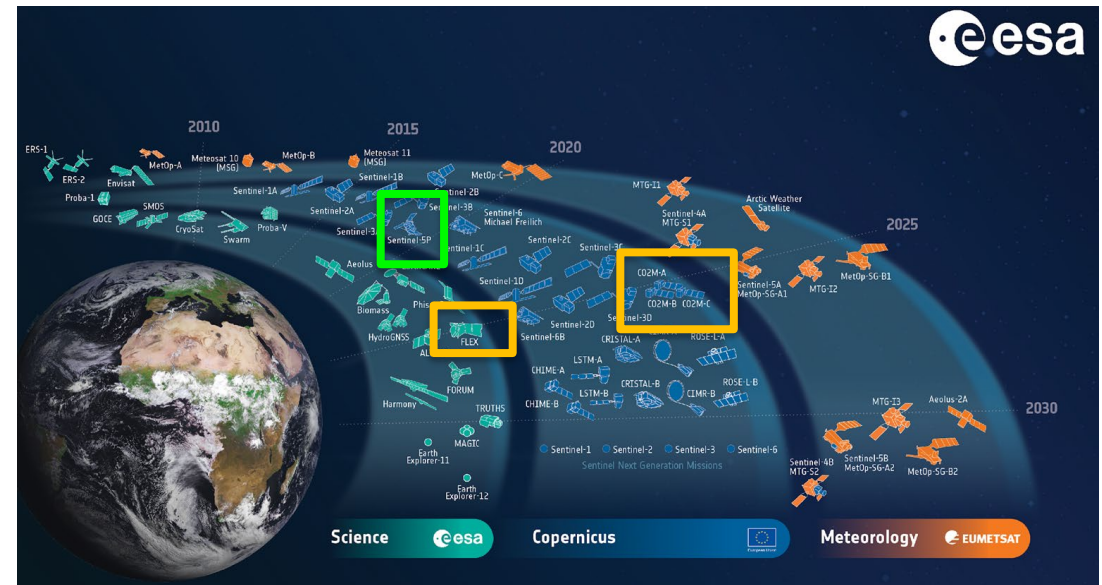
¿Qué Datos de SIF Existen?

¿Qué Datos de SIF Están Disponibles?



Adaptado de Pierrat et al., 2025

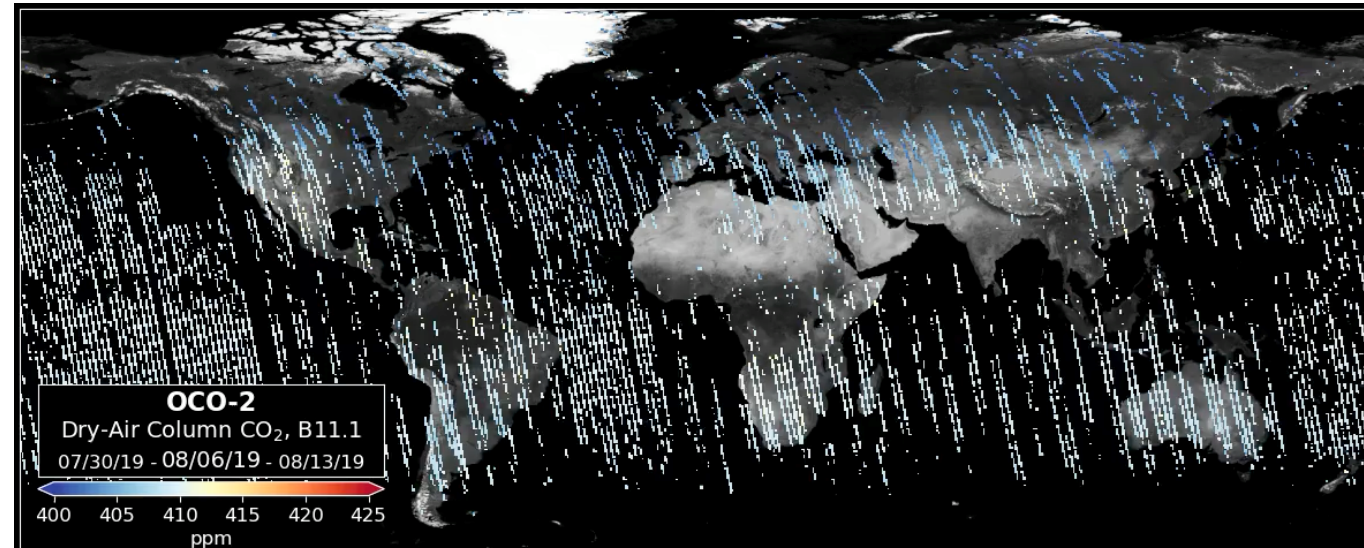
Datos de Satélites



OCO-2 y OCO-3 Proporcionan Cobertura y Muestreo Complementarios

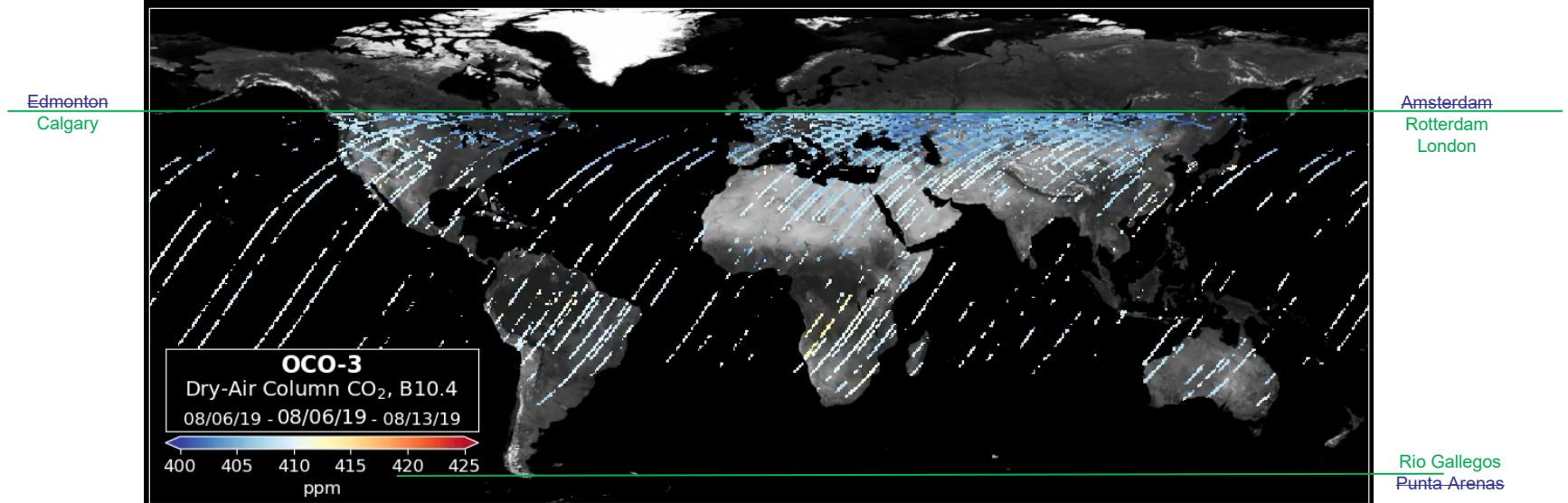
OCO-2

- Cobertura "de polo a polo", dependiendo de la temporada;
- Horario de cruce del ecuador fijo de 13h30 (y la hora de sobrevuelo local)

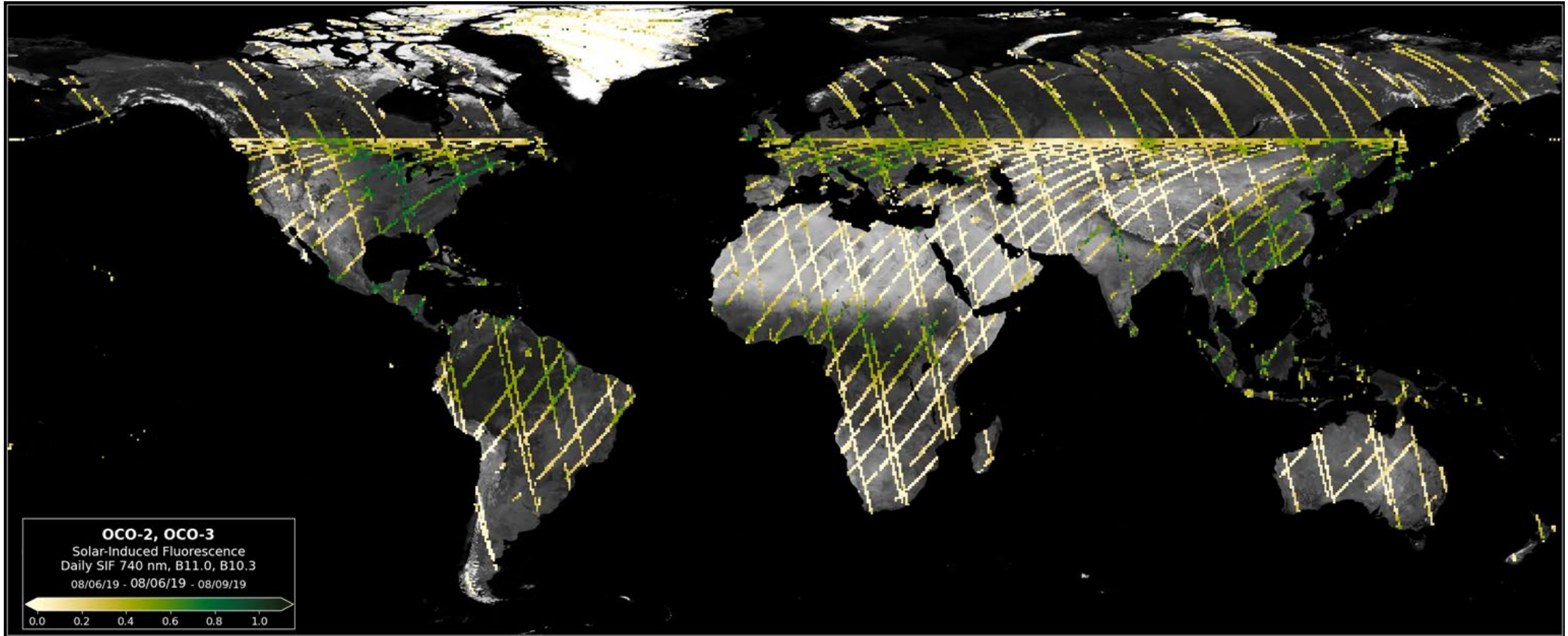


OCO-3

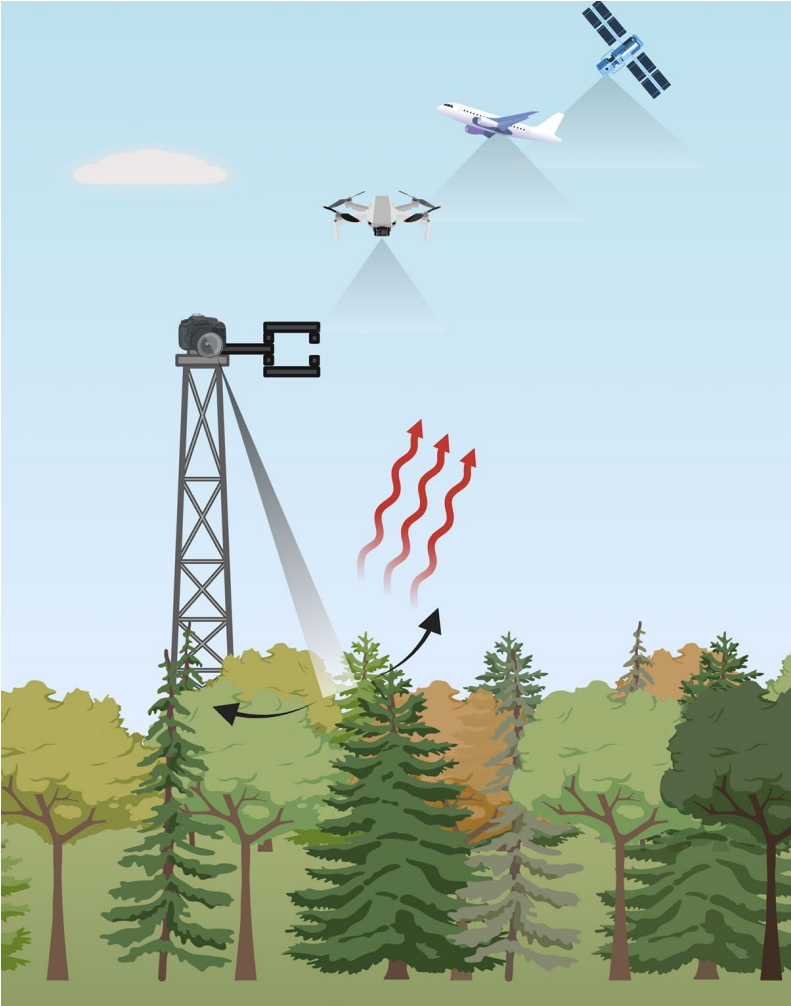
- Cobertura limitada a $\pm 52^\circ$ de latitud, que cambia con la temporada;
- Las observaciones abarcan todas las horas del día



Extracciones de SIF de OCO-2/3



¿Qué Datos de SIF Están Disponibles?



Adaptado de Pierrat et al., 2025

Datos de Torres

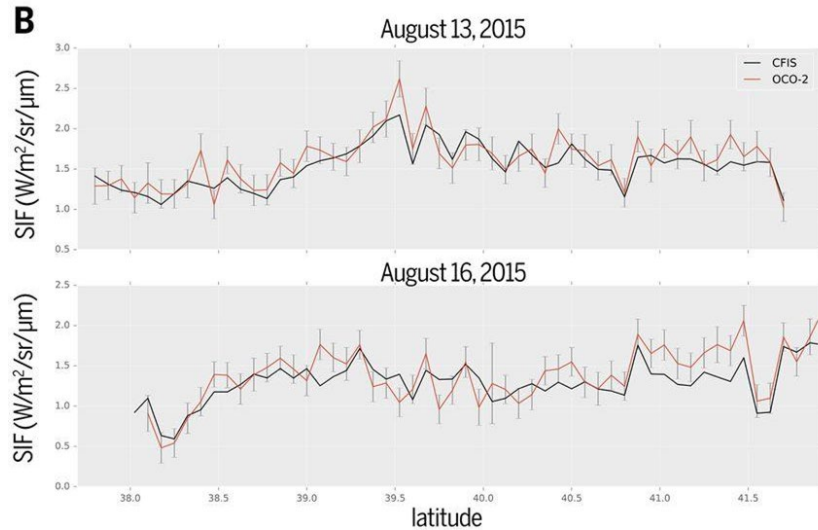


Datos de SIF de Torres:

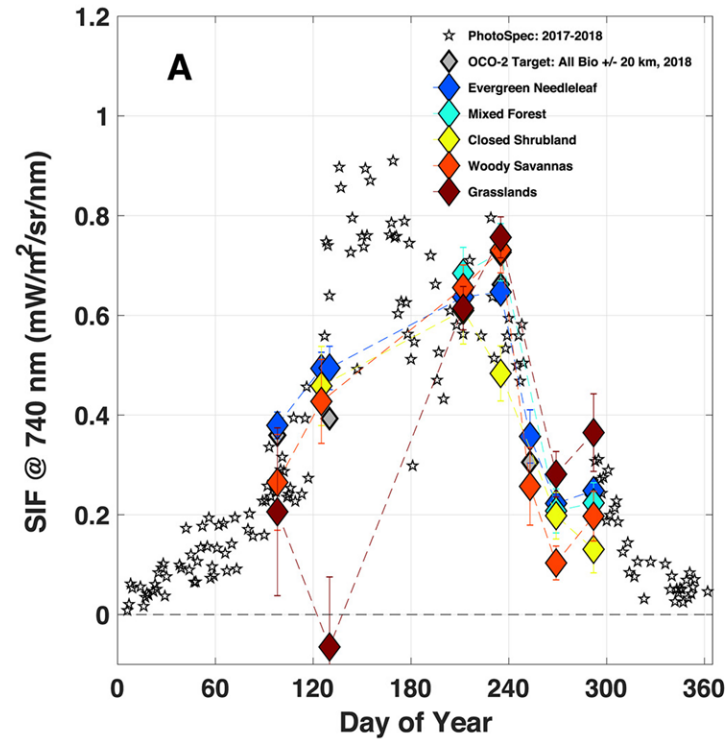
- <https://climatesciences.jpl.nasa.gov/SIF/download-data/tower/>



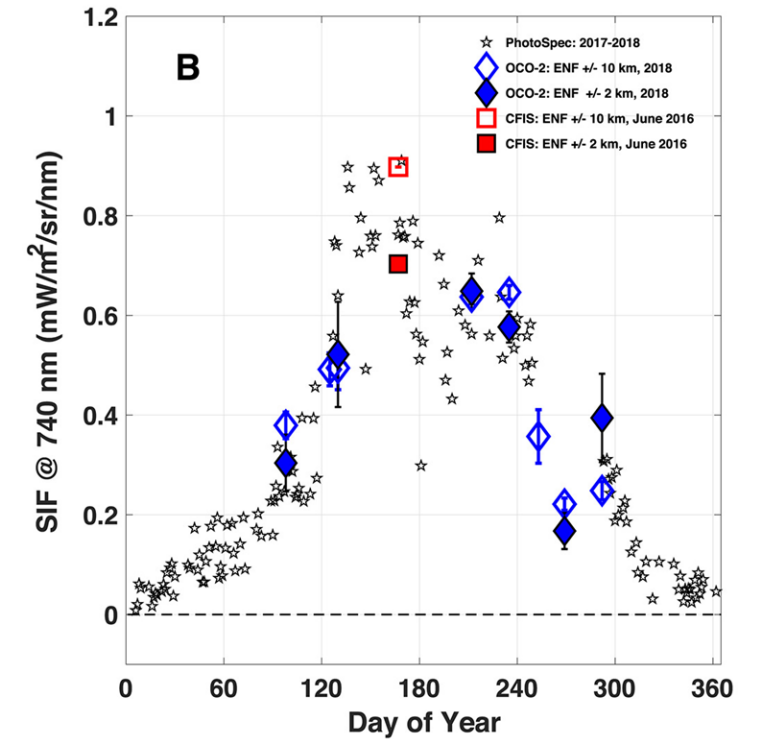
Comparación de Datos de Satélites, Aeronaves y Torres



Sun et al., 2017

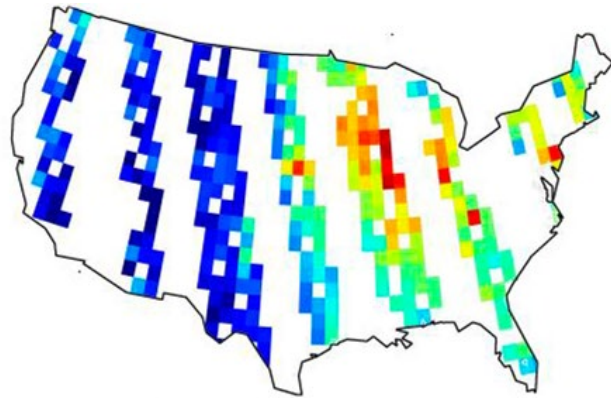


Parazoo et al., 2019

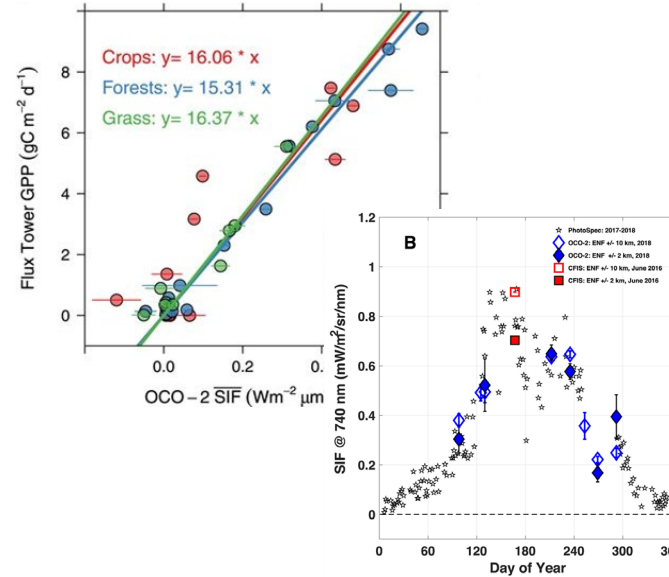


Combinación de Productos con Aprendizaje Automático

SIF de OCO-2 + OCO-3 +

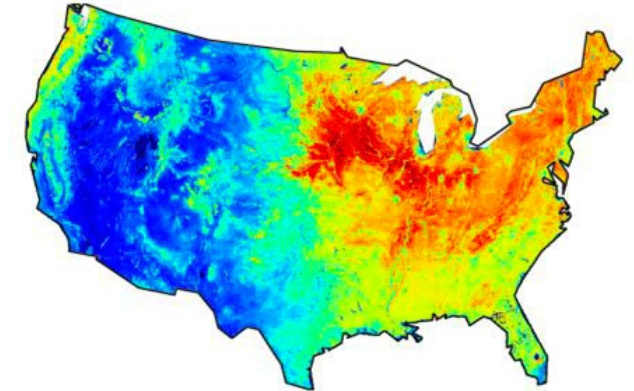


Rastreabilidad a Torres

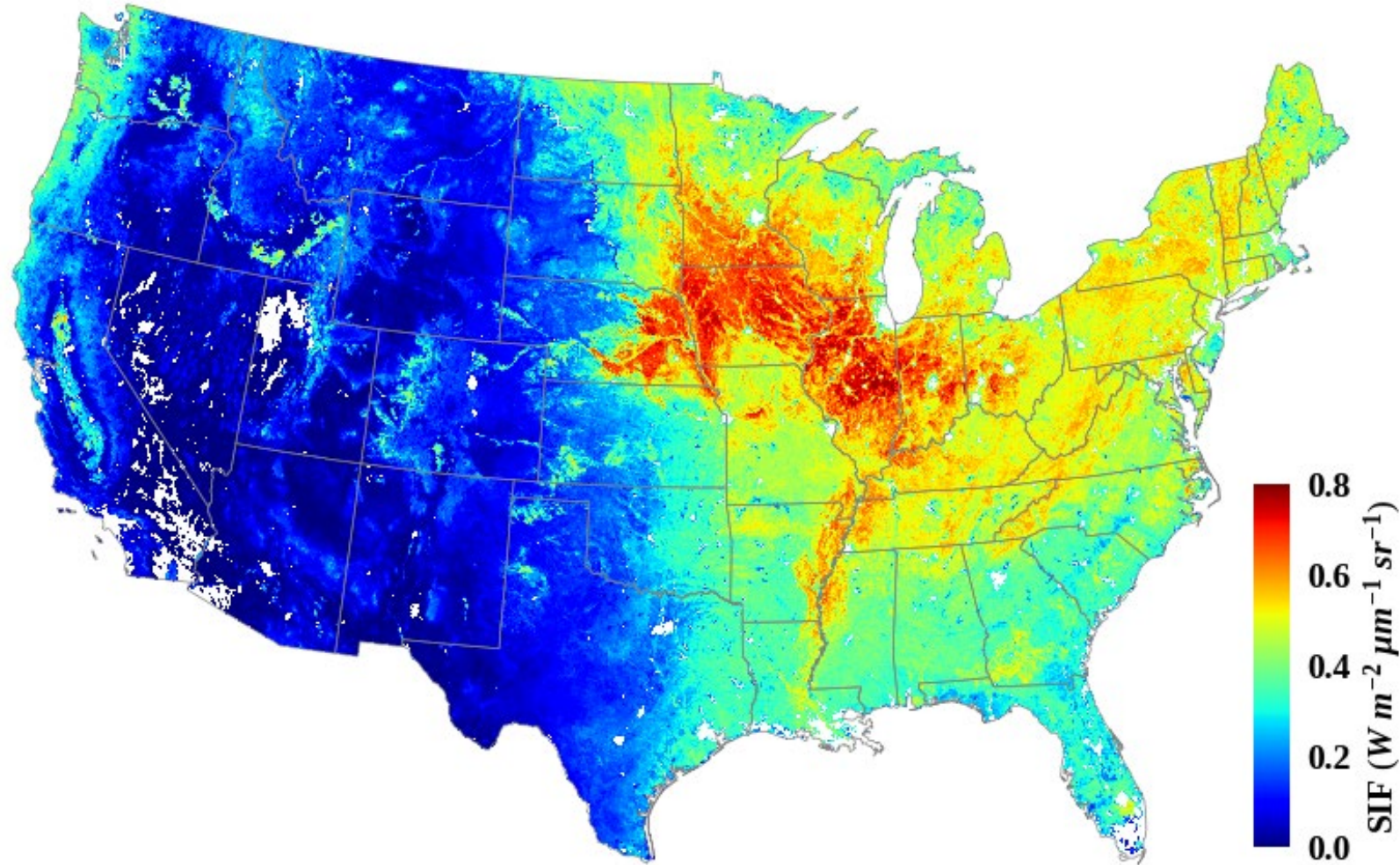


+

Datos de Vegetación Auxiliares (p.ej., MODIS)



Mapeo de Alta Resolución de la Actividad de la Vegetación



Cortesía Jiaming Wen y Zhenqi Luo

[Disponibilidad de Datos](#)

NASA ARSET – Solar Induced Fluorescence (SIF) Observations for Assessing Vegetation Changes Related to Floods, Drought, and Fire Impacts

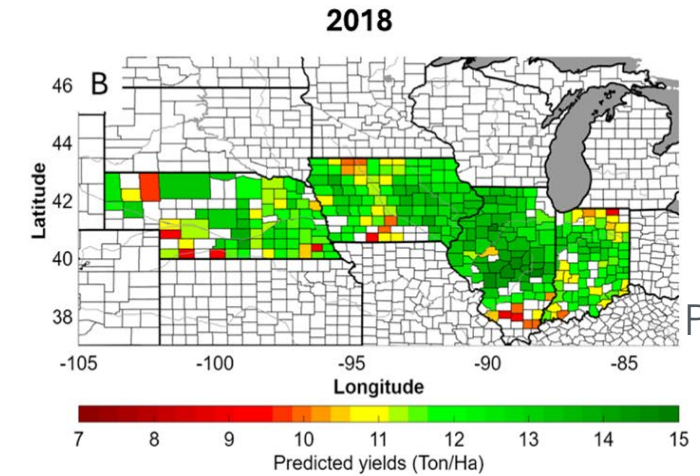
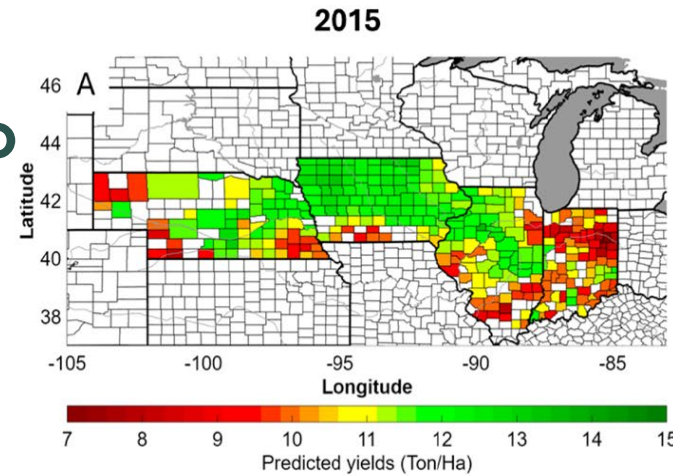


Ejemplo de Aplicación: Predicción del Rendimiento de los Cultivos

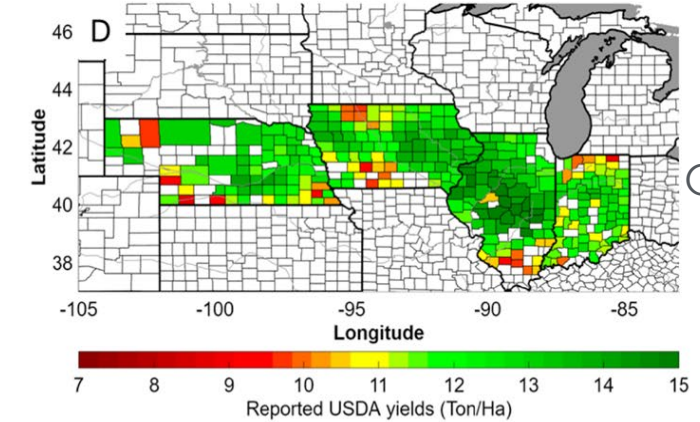
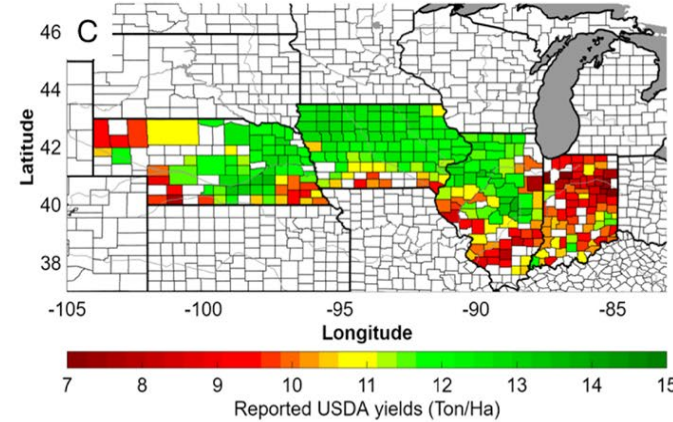
1^{ra} Fila: Rendimiento de cultivos usando datos de OCO-2 en la “banda maicera” de EE. UU.

2^{da} Fila: Rendimiento de cultivos informado por el Departamento de Agricultura de EE. UU. (USDA)

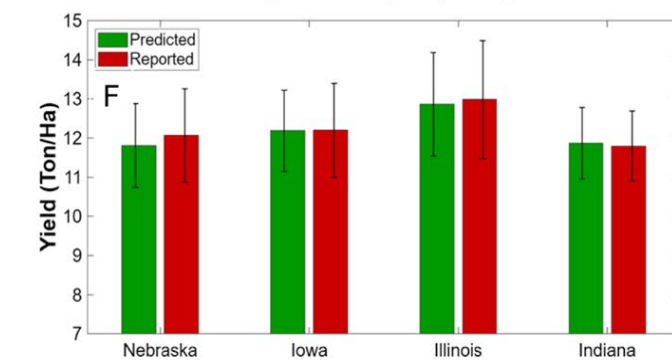
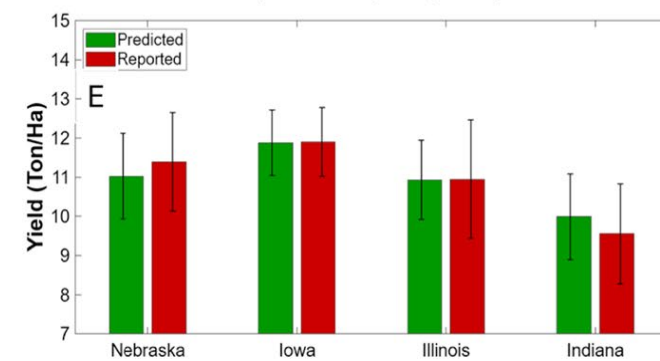
3^{ra} Fila: El producto impulsado por OCO-2 reproduce el patrón espacial y la variabilidad de un año a otro, y tiene una precisión de predicción comparable cuando se aplica un mes antes de la cosecha (no indicado).



Predicciones

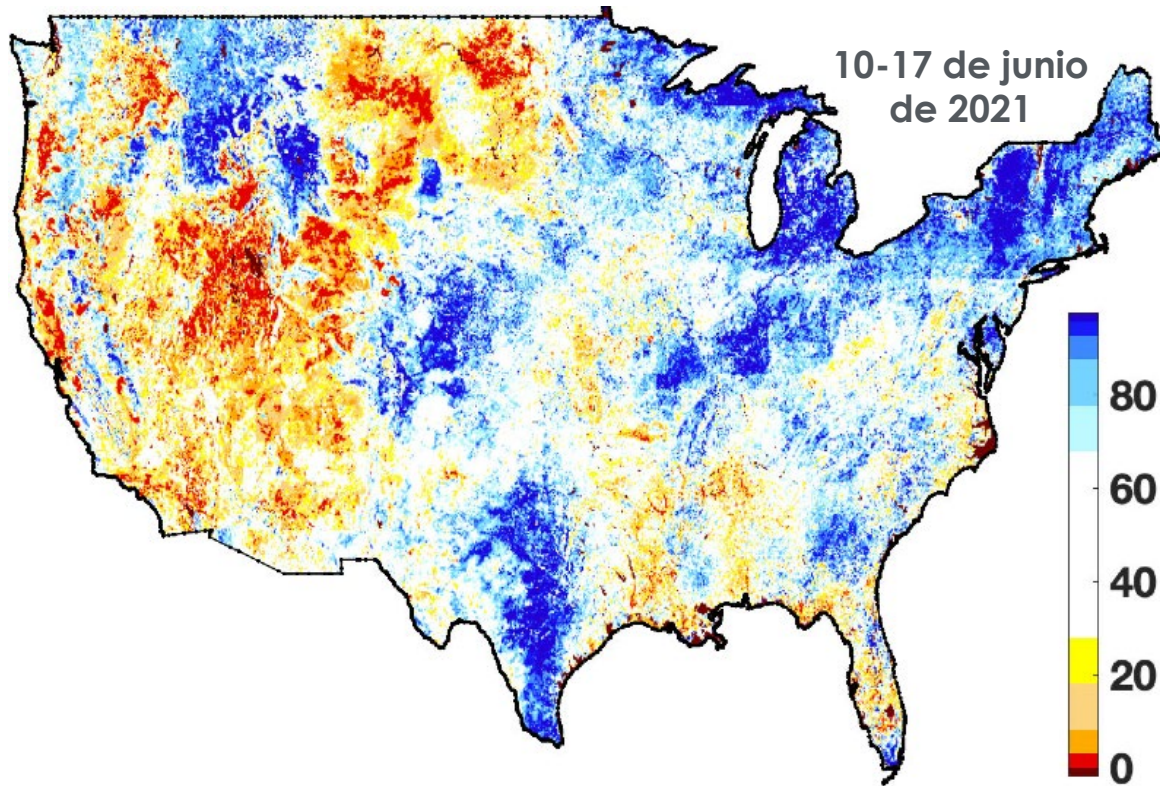


Observaciones

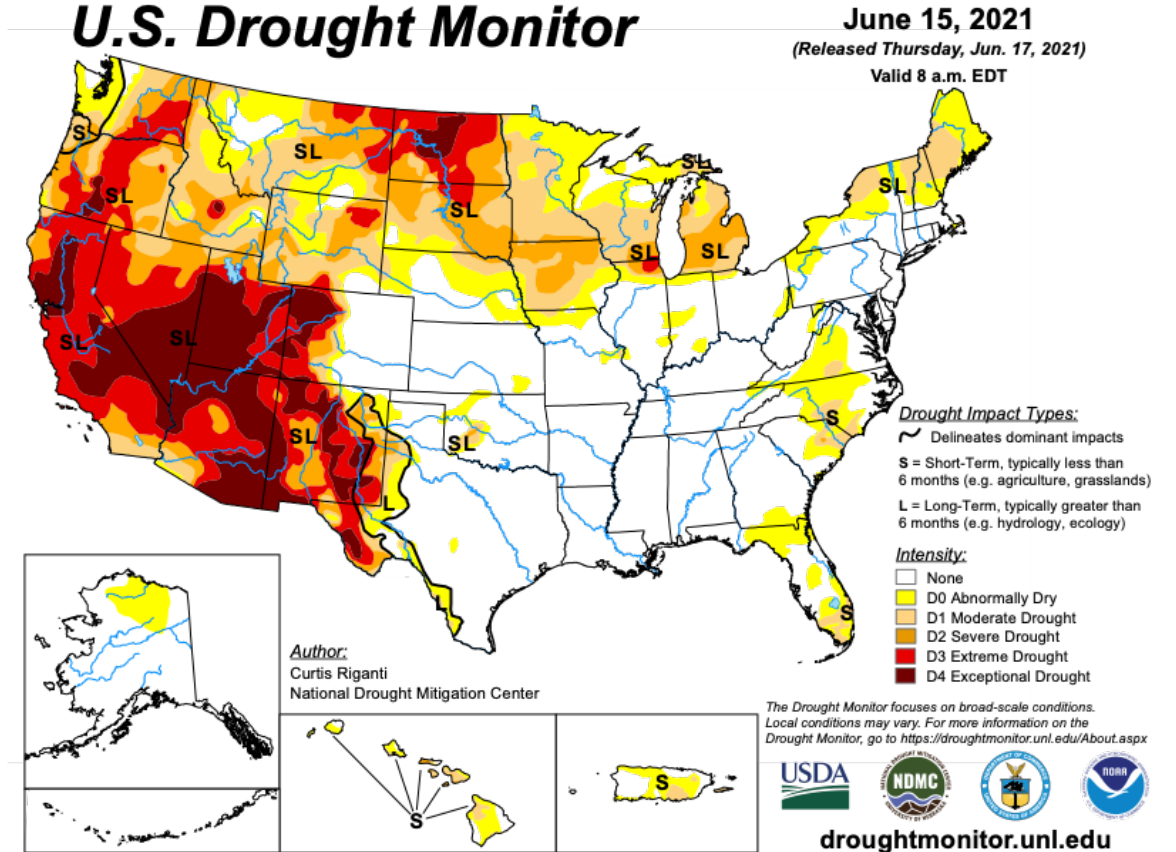


Ejemplo de Aplicación: Alerta Temprana de Sequía

Percentil de SIF



U.S. Drought Monitor



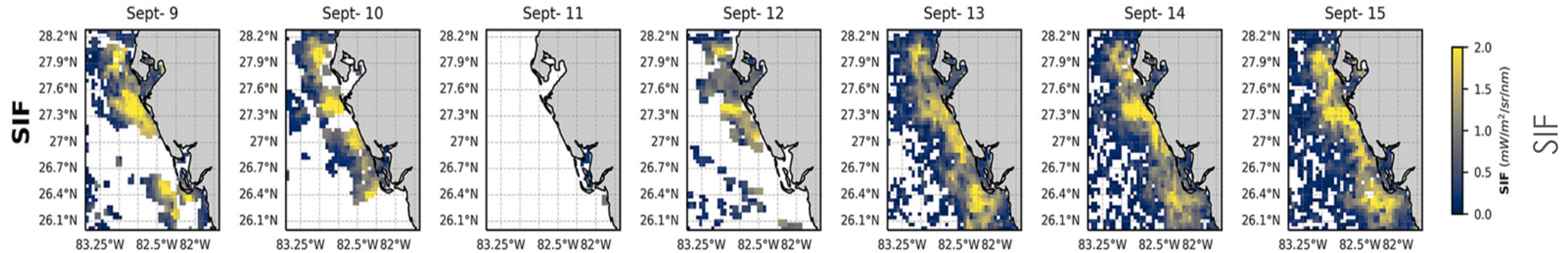
Los productos de SIF basados en OCO-2 ofrecen información de alerta temprana sobre sequías repentinas de valor potencial para agencias como el US Drought Monitor (Monitoreo de Sequías de EE. UU.)



SIF Acuático: TROPOMI

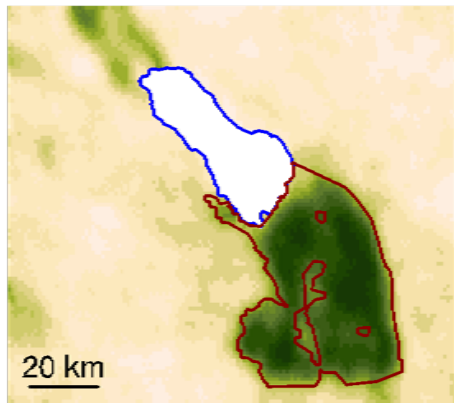
Floración de Algas Nocivas (FAN)

Luis et al., 2023

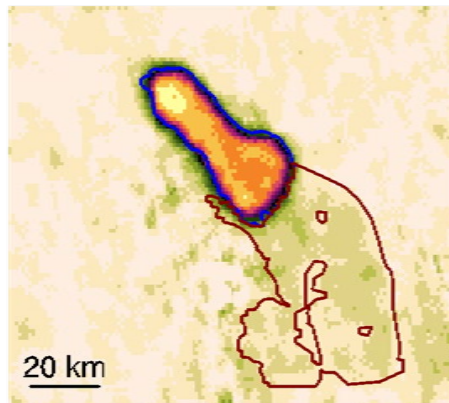


Escorrentía Agrícola

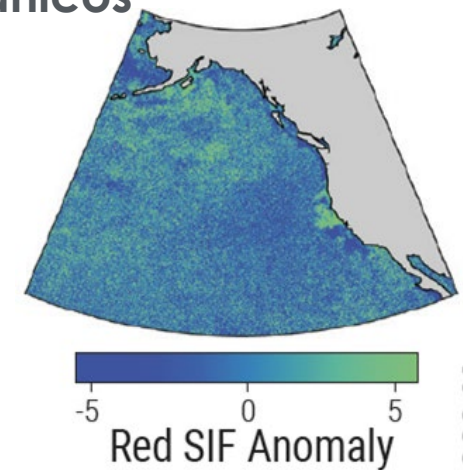
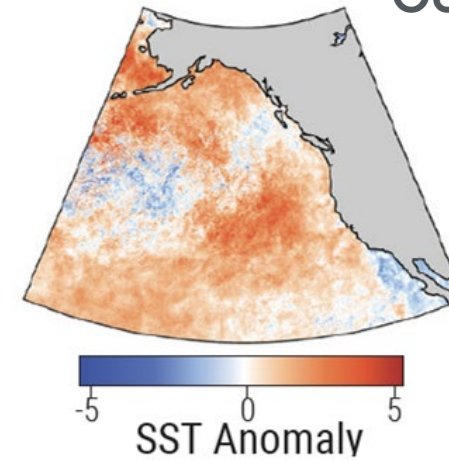
far-red SIF@740nm [$\text{mW}/\text{m}^2/\text{sr}/\text{nm}$]



red SIF@683nm [$\text{mW}/\text{m}^2/\text{sr}/\text{nm}$]

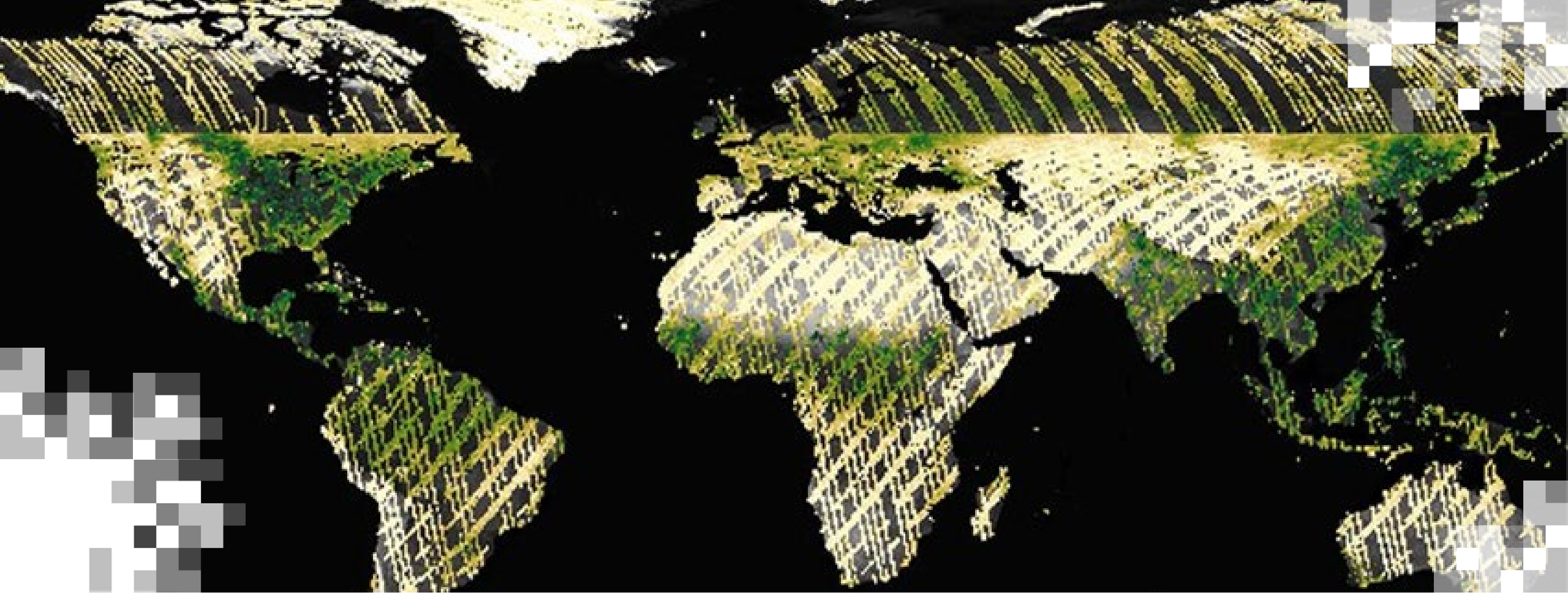


Extremos Climáticos Oceánicos



Kohler et al., 2020





Demostración

Esquema de las Demostraciones

- 1^{ra} Sesión
 - Configuración del entorno para trabajar con datos de SIF
 - Extracción y cuadriculado espacial de datos de SIF
- 2^{da} Sesión
 - Modo de Mapeo de Área Instantánea (Snapshot Area Map o SAM) de OCO-3
 - Comparación con datos de torres de flujo
 - Estudio de caso: condiciones de incendio y SIF en Oregón, 2020
- 3^{ra} Sesión
 - Uso de datos de SIF con las brechas llenadas (gap-filled)
 - Estudios de caso: Inundaciones en el Oeste Medio de EE.UU. de 2019 e Impactos para la agricultura

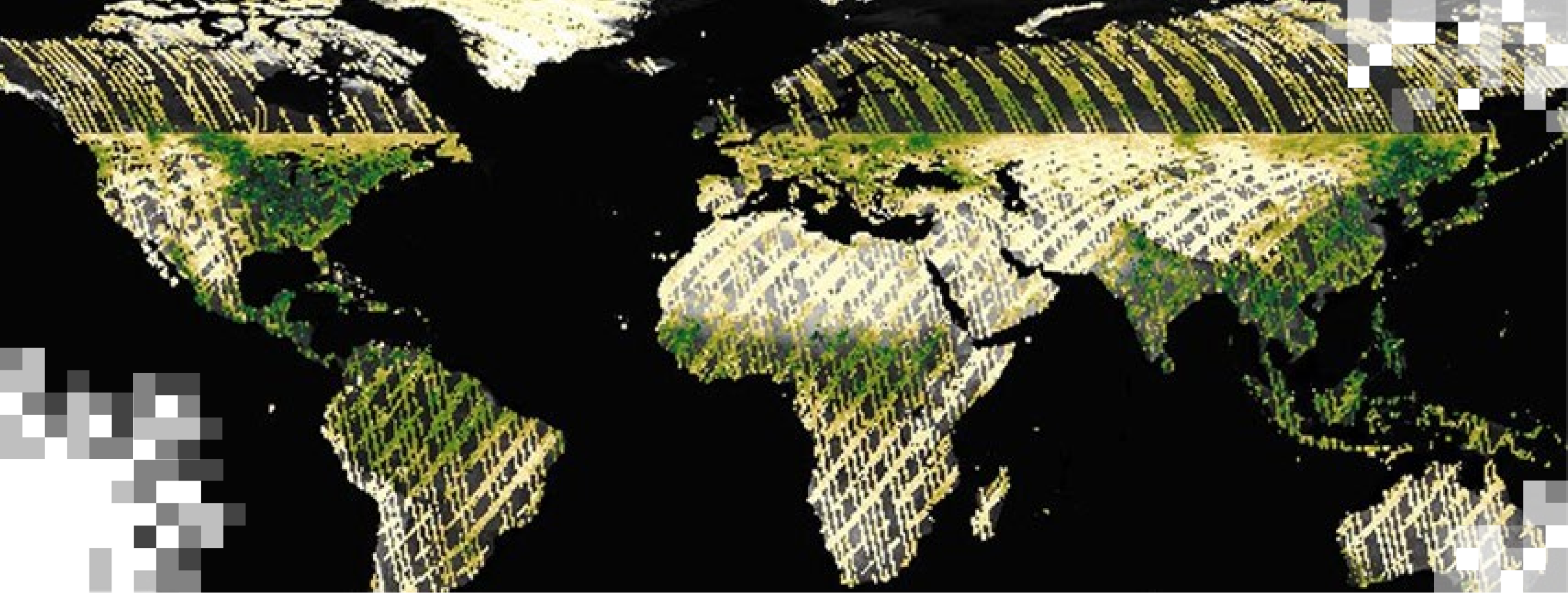


Objetivos de la Demostración de la Sesión 1

Al final de la Sesión 1 los participantes podrán:

- Descargar y configurar el código del curso
- Entender cómo se calcula y se utiliza SIF como medición alternativa o complementaria para estudios de la tierra y vegetación.
- Extraer y visualizar datos de SIF de un día
- Crear un ráster cuadriculado cubriendo un mes de datos
- Identificar las ventajas y limitaciones del uso de mediciones de SIF desde el espacio para monitorear y evaluar la salud y el estado de la vegetación



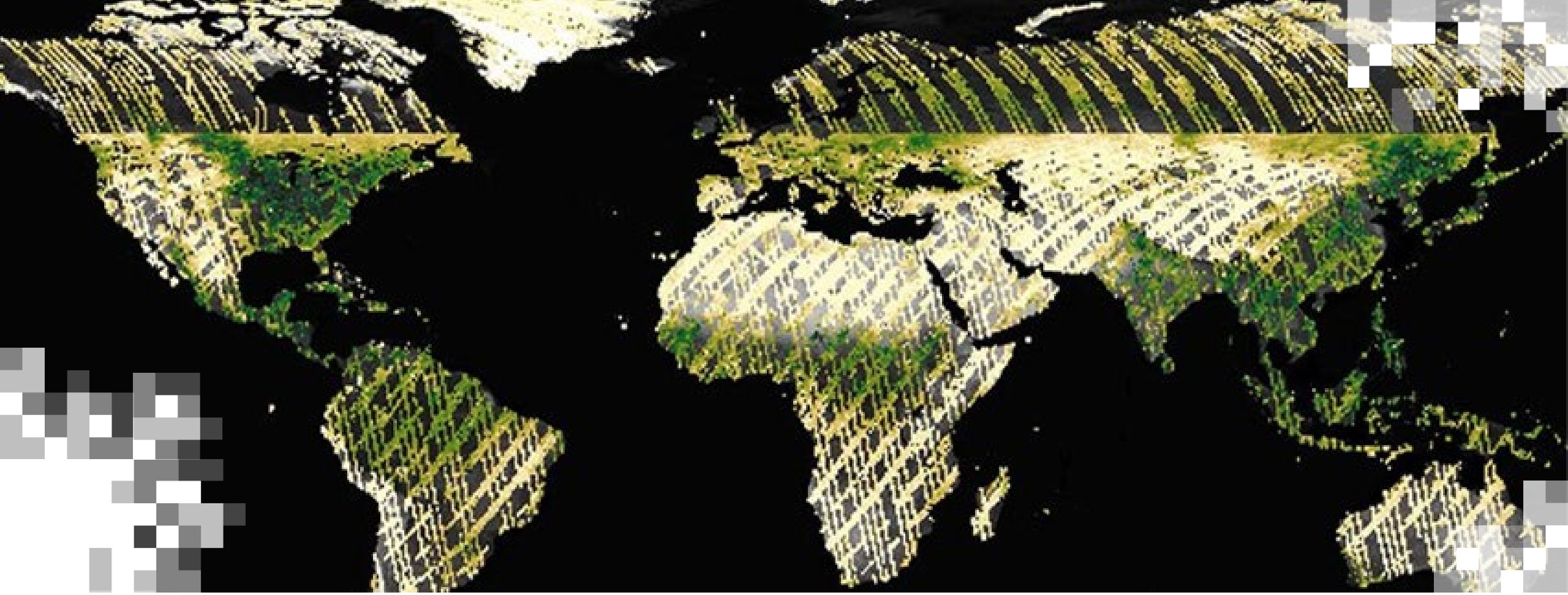


Configuración del Entorno para Trabajar con Datos de SIF

¡Los Cuadernos de Jupyter!

- Seguirán esta demostración para familiarizarse con los pasos del cuaderno.
- Los cuadernos de Jupyter están disponibles en <https://github.com/jackiryan/SIF-ARSET> durante la duración la capacitación en vivo y el tiempo estipulado para la presentación de tareas.
- Para referencia futura, los cuadernos se cargarán al [Github de ARSET](#) asociado con esta capacitación.





Sesión 1: Repaso

Repaso

- SIF es la **reemisión de la luz solar absorbida** por las moléculas de clorofila excitadas en las plantas.
- **SIF se emite principalmente** a través de la absorción de la **porción roja** de la luz solar.
- **SIF está estrechamente relacionada con la fotosíntesis.**
- **SIF no depende del color** visible y es **poco sensible a interferencias** de nubes o reflexiones de superficies no fotosintéticas como el pavimento, el agua o los suelos.
- **SIF es muy eficaz** para detectar **cambios rápidos en la actividad fotosintética** y en la **salud de las plantas.**
- La **clave para calcular SIF** desde el espacio está en el uso de las **líneas de Fraunhofer**, que son regiones muy estrechas del espectro óptico del Sol donde la luz solar y la interferencia atmosférica son mínimas. La luz fluorescente que emiten las plantas llena parcialmente estas líneas, provocando un **cambio en su profundidad**, lo que permite detectar SIF.
- Entre las misiones satelitales que miden SIF se encuentran **OCO-2** y **OCO-3** de la NASA, y la **misión precursora Sentinel-5** de la Agencia Espacial Europea, que lleva el instrumento **TROPOMI**. Las futuras misiones incluyen **CO2M** y **FLEX**, también de la ESA.



Repaso (cont.)

- El satélite **OCO-2** ha proporcionado una **cobertura sostenida de polo a polo y muestreo al mediodía** —durante el pico diario de la fotosíntesis— desde su lanzamiento en **2014**.
- **OCO-3** es un sensor en la **Estación Espacial Internacional**. Se lanzó en **2019** y está en una **órbita en precesión**, lo que le permite una **cobertura espacial desde latitudes ecuatoriales hasta templadas**, y **cobertura temporal en distintos momentos del día**.
- Algunas aplicaciones importantes de SIF incluyen la **predicción del rendimiento de cultivos**, la **alerta temprana de sequías**, y la **detección de floraciones de algas**.
- Un solo día de mediciones de SIF de **OCO-2** u **OCO-3** ofrece **cobertura espacial limitada**. **Agregar datos de varios días** permite obtener una **cobertura más extensa**.
- Una **bandera de calidad (quality flag)** de **0** en datos de OCO-2 u OCO-3 se considera **dato de buena calidad**; una bandera de **1** aún se considera buena, pero con **mayor incertidumbre**; y una bandera de **2** indica **mala calidad de datos**.
- El **modo nadir** proporciona un conjunto ideal de mediciones sobre vegetación terrestre, ya que el sensor **mira directamente hacia abajo**, minimizando la influencia de la geometría del ángulo de observación.
- Los datos de SIF en **757 nanómetros** tienen, en general, la **menor incertidumbre** y la **mayor relación señal-ruido**.



Recursos: Productos y Videos sobre SIF

- SIF005 – https://daac.ornl.gov/cgi-bin/dsviewer.pl?ds_id=1863
- GOSIF – <https://globalecology.unh.edu/data/GOSIF.html>
- Tower SIF – <https://climatesciences.jpl.nasa.gov/SIF/download-data/tower/>
- “What is SIF” TedEd – <https://www.youtube.com/watch?v=3jpy8UZUEOw&t=4s>



Recursos: Publicaciones

- Kira, O., Wen, J., Han, J., McDonald, A. J., Barrett, C. B., Ortiz-Bobea, A., ... y Sun, . (2024). A scalable crop yield estimation framework based on remote sensing of solar-induced chlorophyll fluorescence (SIF). *Environmental Research Letters*, 19(4), 044071. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad3142>
- Köhler, P., Behrenfeld, M. J., Landgraf, J., Joiner, J., Magney, T. S., y Frankenberg, C. (2020). Global retrievals of solar-induced chlorophyll fluorescence at red wavelengths with TROPOMI. *Geophysical Research Letters*, 47(15), e2020GL087541. <https://doi.org/10.1029/2020GL087541>
- Luis, K., Köhler, P., Frankenberg, C., y Gierach, M. (2023). First light demonstration of red solar induced fluorescence for harmful algal bloom monitoring. *Geophysical Research Letters*, 50(13), e2022GL101715. <https://doi.org/10.1029/2022GL101715>
- Porcar-Castell, A., Malenovský, Z., Magney, T., Van Wittenberghe, S., Fernández-Marín, B., Maignan, F., ... y Logan, B. (2021). Chlorophyll a fluorescence illuminates a path connecting plant molecular biology to Earth-system science. *Nature plants*, 7(8), 998-1009. <https://doi.org/10.1038/s41477-021-00980-4>
- Sun, Y., Frankenberg, C., Wood, J. D., Schimel, D. S., Jung, M., Guanter, L., ... y Yuen, K. (2017). OCO-2 advances photosynthesis observation from space via solar-induced chlorophyll fluorescence. *Science*, 358(6360), eaam5747. <https://doi.org/10.1126/science.aam5747>
- Parazoo, N. C., Frankenberg, C., Köhler, P., Joiner, J., Yoshida, Y., Magney, T., ... y Yadav, V. (2019). Towards a harmonized long-term spaceborne record of far-red solar-induced fluorescence. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 124(8), 2518-2539. <https://doi.org/10.1029/2019JG005289>
- Pierrat, Z. A., Magney, T. S., Richardson, W. P., Runkle, B. R., Diehl, J. L., Yang, X., ... y Cawse-Nicholson, K. (2025). Proximal remote sensing: an essential tool for bridging the gap between high-resolution ecosystem monitoring and global ecology. *New Phytologist*, 246(2), 419-436. <https://doi.org/10.1111/nph.20405>
- Yu, L., Wen, J., Chang, C. Y., Frankenberg, C., y Sun, Y. (2019). High-resolution global contiguous SIF of OCO-2. *Geophysical Research Letters*, 46(3), 1449-1458. <https://doi.org/10.1029/2018GL081109>



Contactos

Instructores:

- Nick Parazoo
nicholas.c.parazoo@jpl.nasa.gov
- Jackie Ryan
jacqueline.ryan@jpl.nasa.gov

- [ARSET Website](#)
- [ARSET YouTube](#)



Sobre la la Sesión 2

- Mediciones de SIF en la ciencia y aplicaciones
- Ejemplos de SIF con el Modo de Mapeo de Área Instantánea (Snapshot Area Map o SAM) de OCO-3
- Comparación con datos de torres de flujo
- Estudio de caso: condiciones de incendio y SIF en Oregón, 2020





¡Gracias!

