


Este trabajo tiene licencia bajo CC BY-NC-SA 4.0.

Para ver una copia de esta licencia, visite:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Para materiales traducidos, le sugerimos dar crédito al autor(es) original y a (los) traductor(es).





De las hojas a los ecosistemas:  
qué podemos aprender sobre los  
flujos utilizando sensores  
remotos?

Xi Yang

Departamento de Ciencias Medioambientales  
Universidad de Virginia

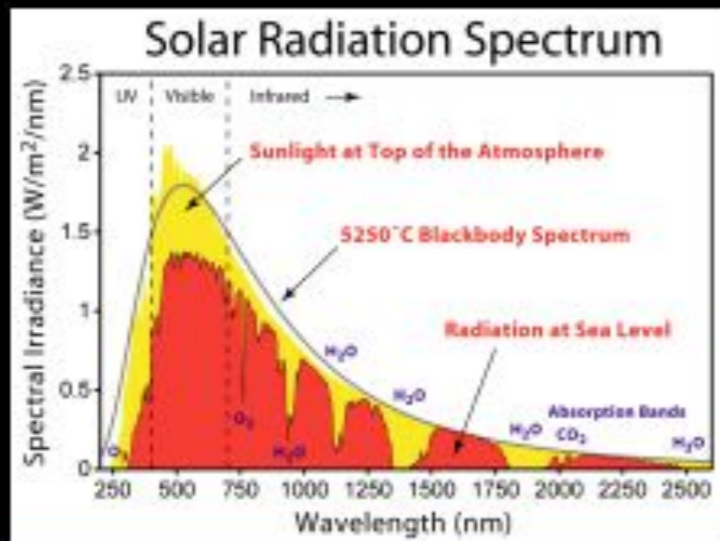
Traducido por Kyle Delwiche (usando DeepL Translate), Ana Maria Restrepo Acevedo, y Ana Maria Osorno Montoya (kdelwiche@berkeley.edu, anarestrepo@utexas.edu, anaosorno20@gmail.com)

# ¿Qué son los sensores remotos?

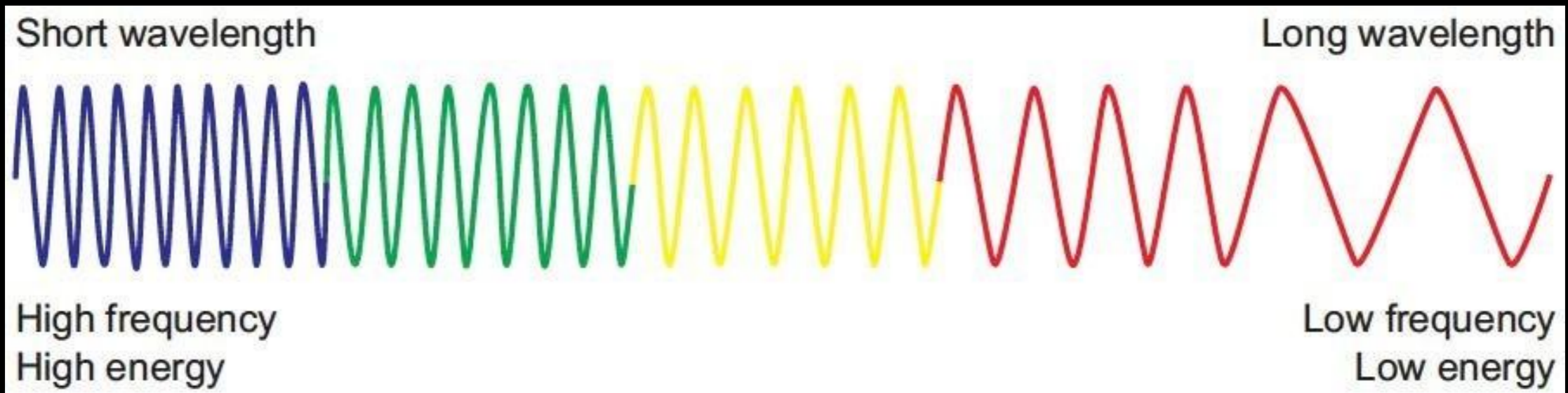
- Sensores Remotos: adquisición de información sobre un objeto sin entrar en contacto físico con él.



# Los sensores remotos miden la radiación



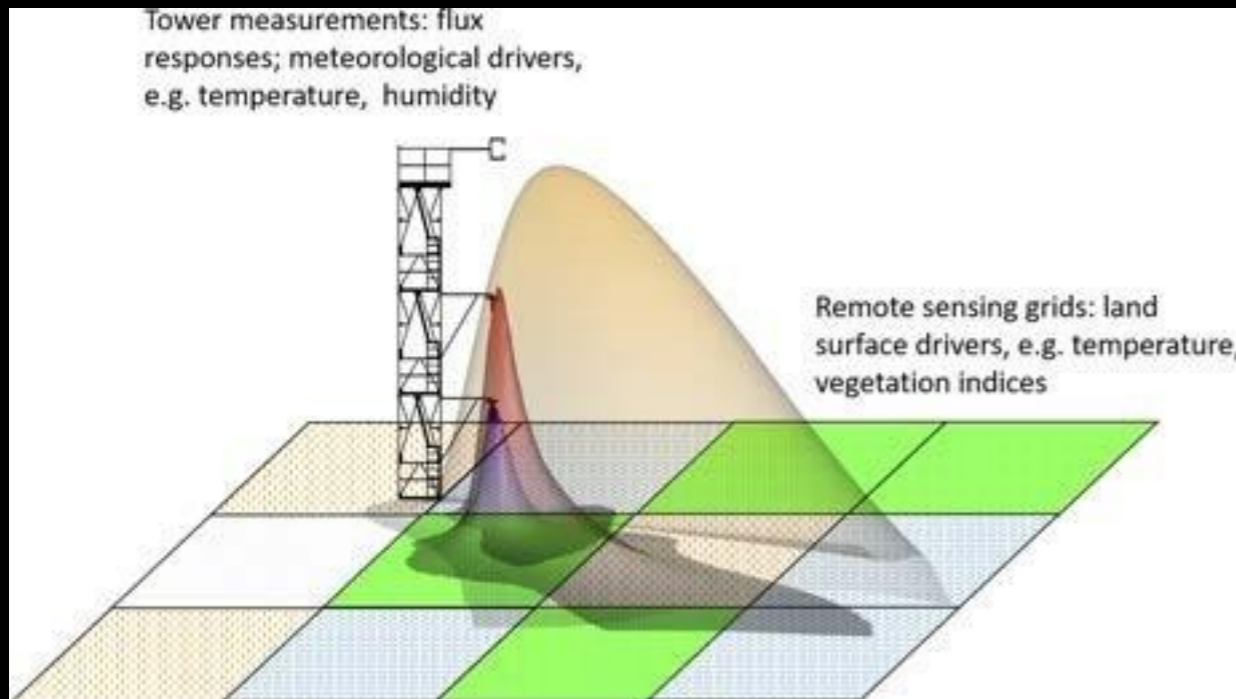
UV Visible NIR SWIR TIR FIR Microwave



**Los productos** de sensores remotos de flujos (por ejemplo, la GPP y la ET) no son **mediciones**, sino resultados de modelización que utilizan mediciones de la radiación basadas en determinados supuestos.

# Sensores Remotos y la Torre de Flujo se complementan

Satélite vs. Torre de flujo



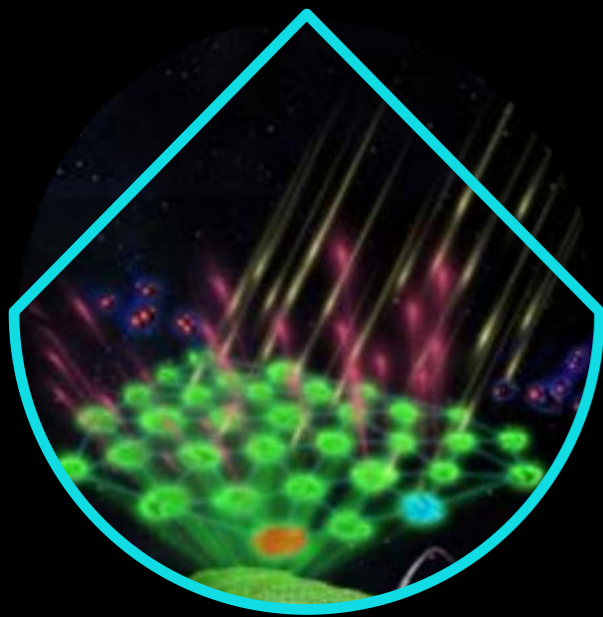
Metzger 2018

Instrumentos ópticos basados de torre vs. Torre de flujo



Referencia: Wayne Dawson

# Una era apasionante para los sensores remotos



Nuevas tecnologías y algoritmos abren nuevas ventanas de conocimientos



La próxima generación de sensores satelitales



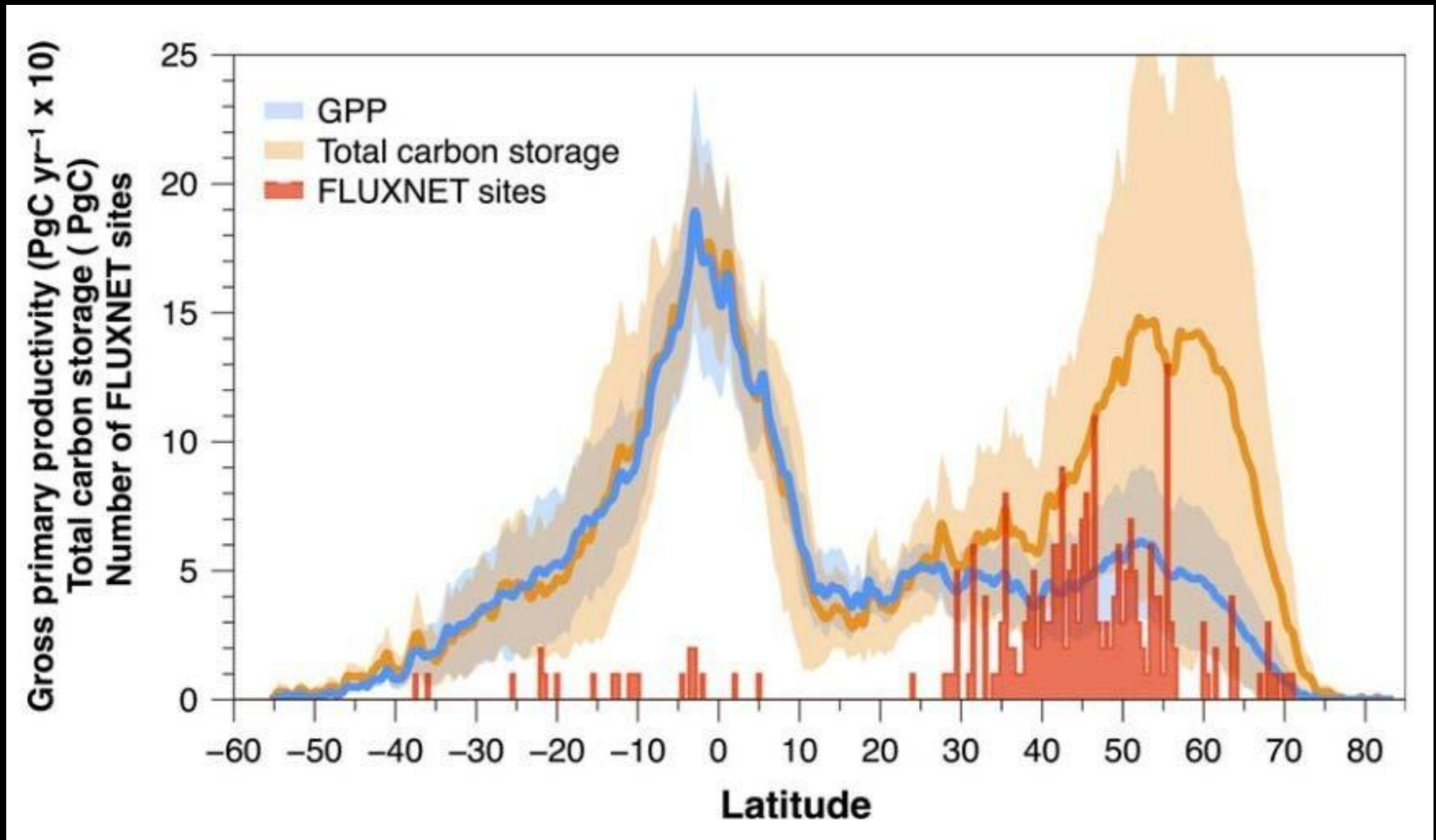
¡Drones!



Redes mundiales de sensores remotos desde torres

¿Qué podemos aprender sobre los flujos con los sensores remotos?

# Sensores remotos de la fotosíntesis global



# ¿Cómo se calcula la fotosíntesis? - escala foliar (hoja)



Sistema  
portátil de  
fotosíntesis

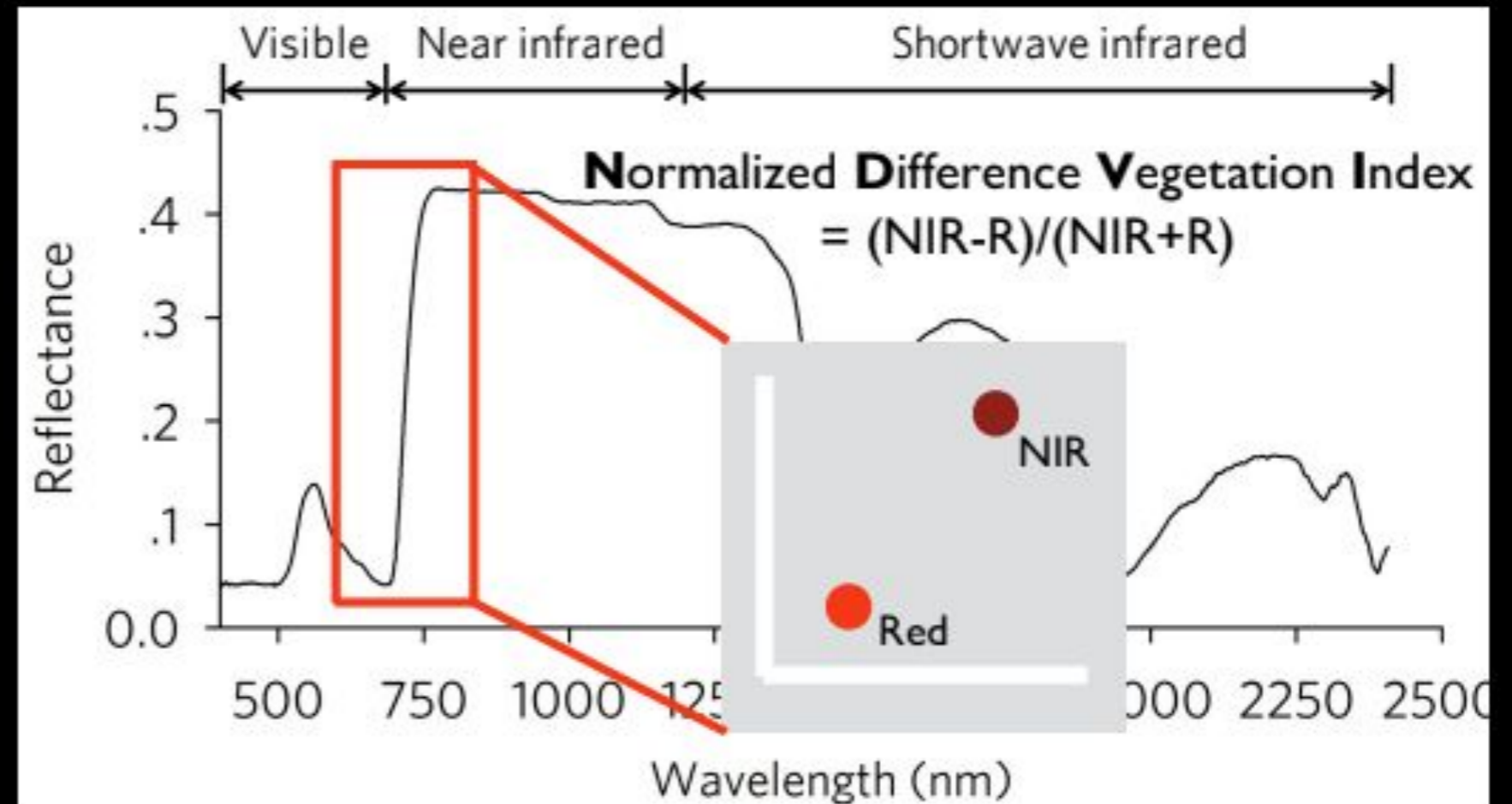


Sistema de fotosíntesis  
no tan portátil



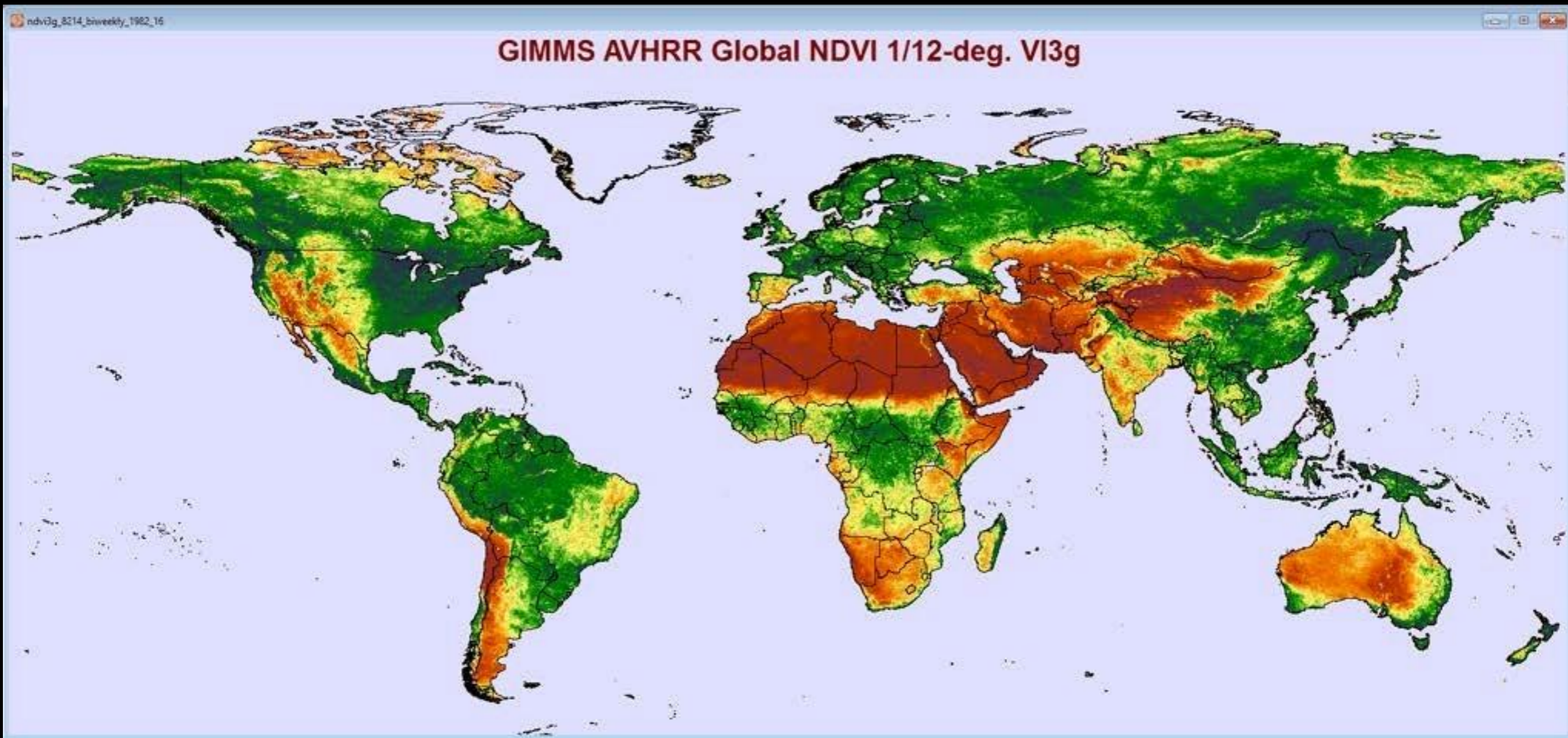
# Sensores Remotos para la fotosíntesis global

NDVI desarrollado en la década de 1970



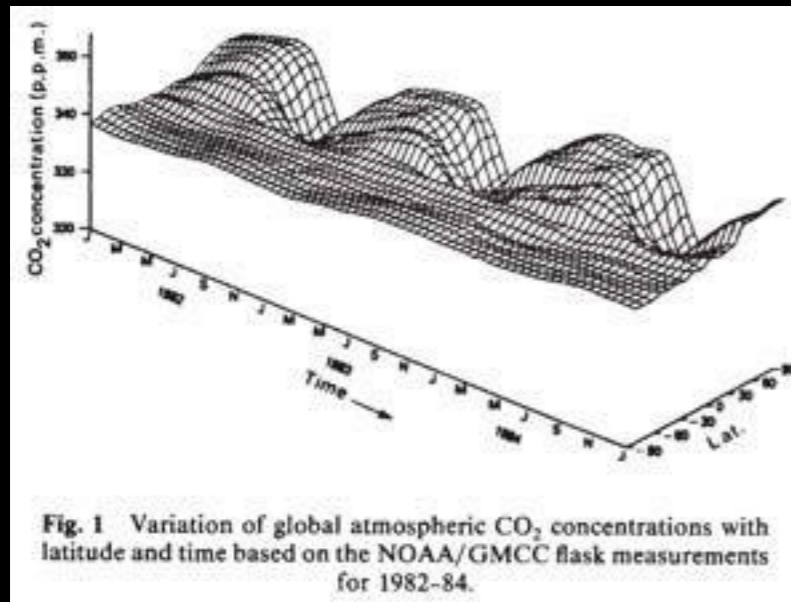
# Sensores Remotos para la fotosíntesis global

Cartografía mundial de la vegetación en la década de 1980

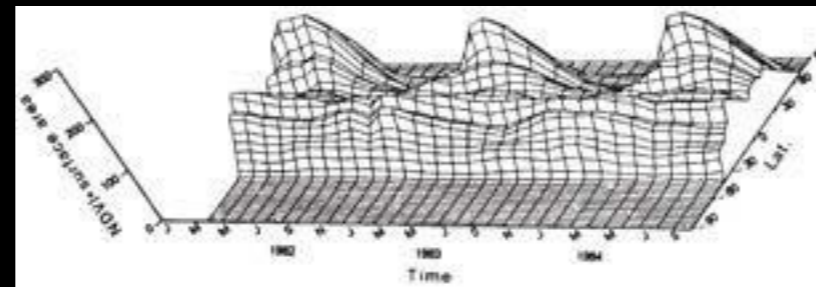


# Sensores Remotos para la fotosíntesis global

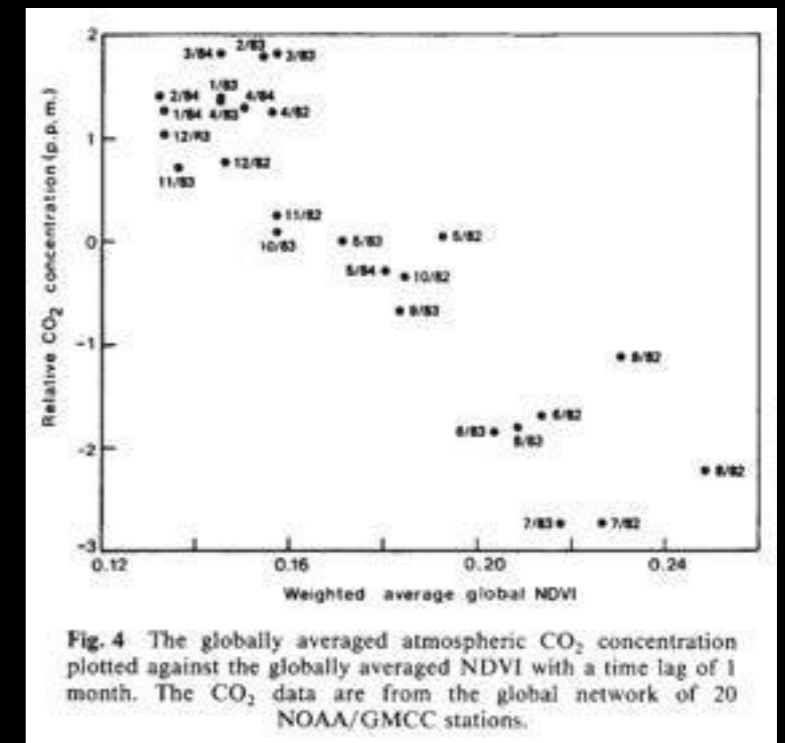
## Cartografía mundial de la vegetación en la década de 1980



Concentración de CO<sub>2</sub>



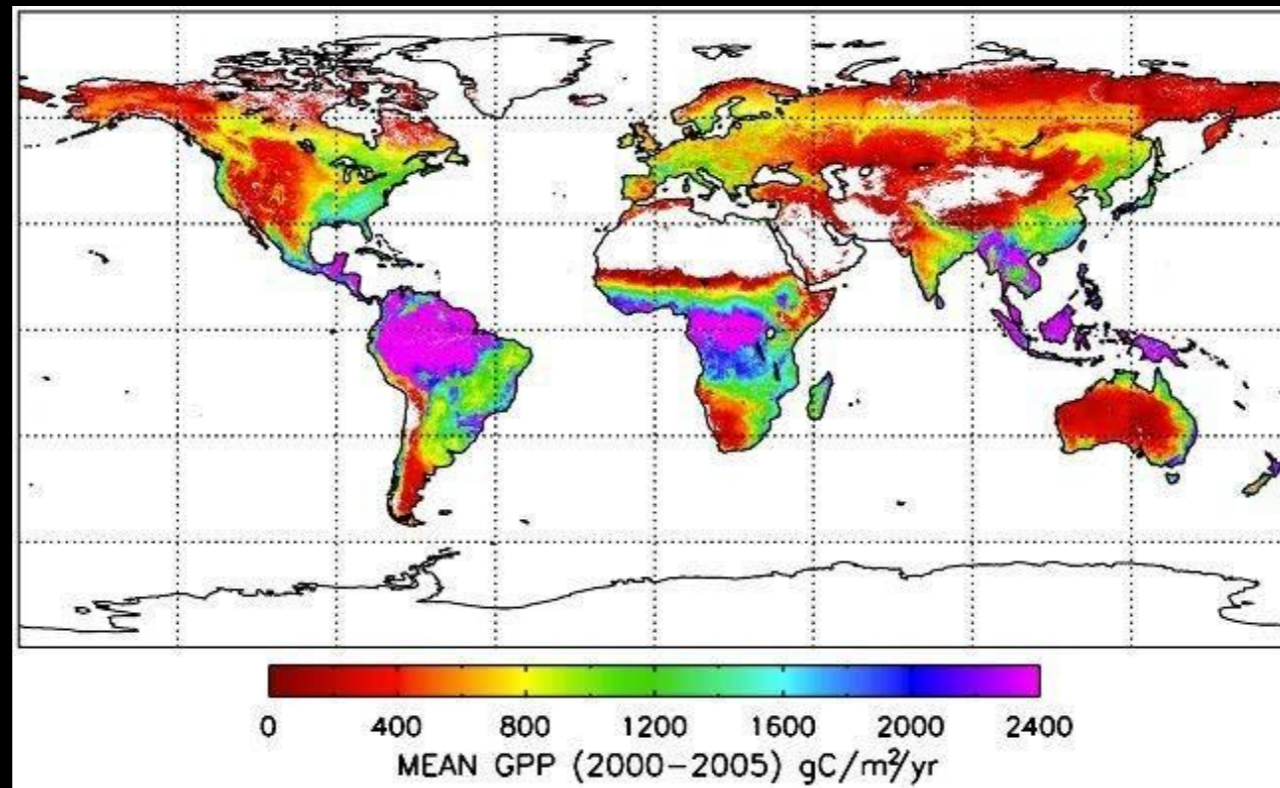
NDVI



Una relación negativa entre la concentración de CO<sub>2</sub> y el NDVI

# Sensores Remotos de la fotosíntesis global

MODIS en la década de 2000



$$GPP = PAR \times f_{APAR} \times \epsilon_p$$

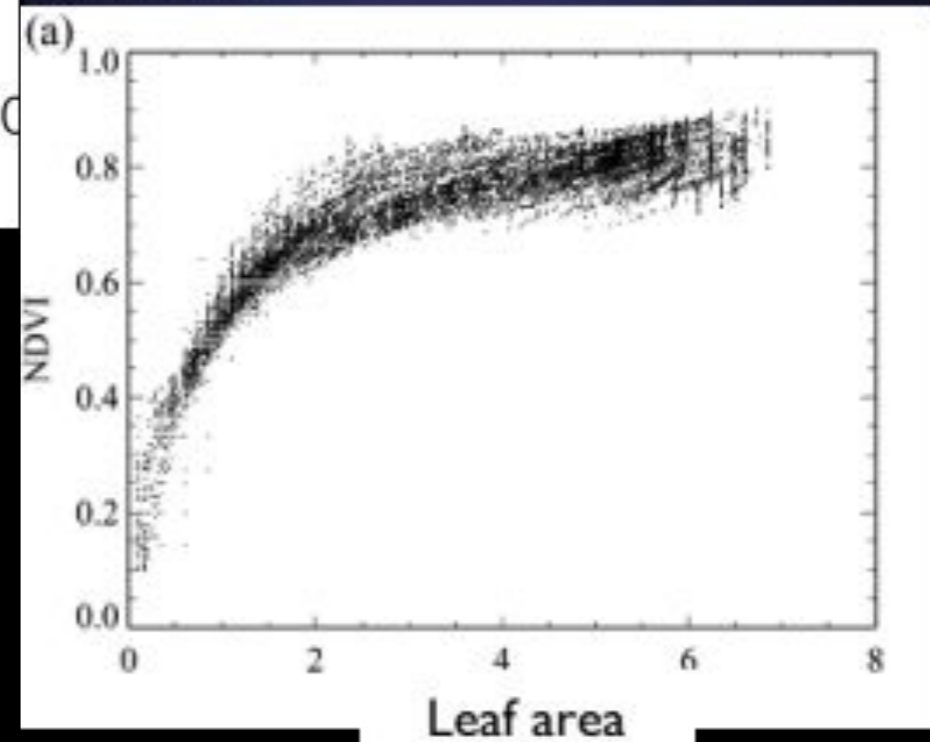
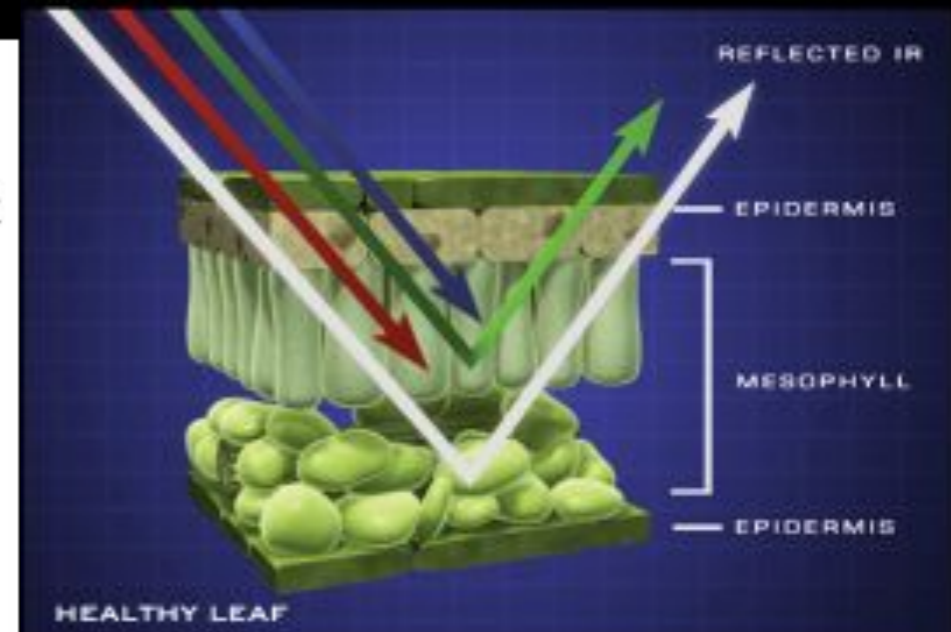
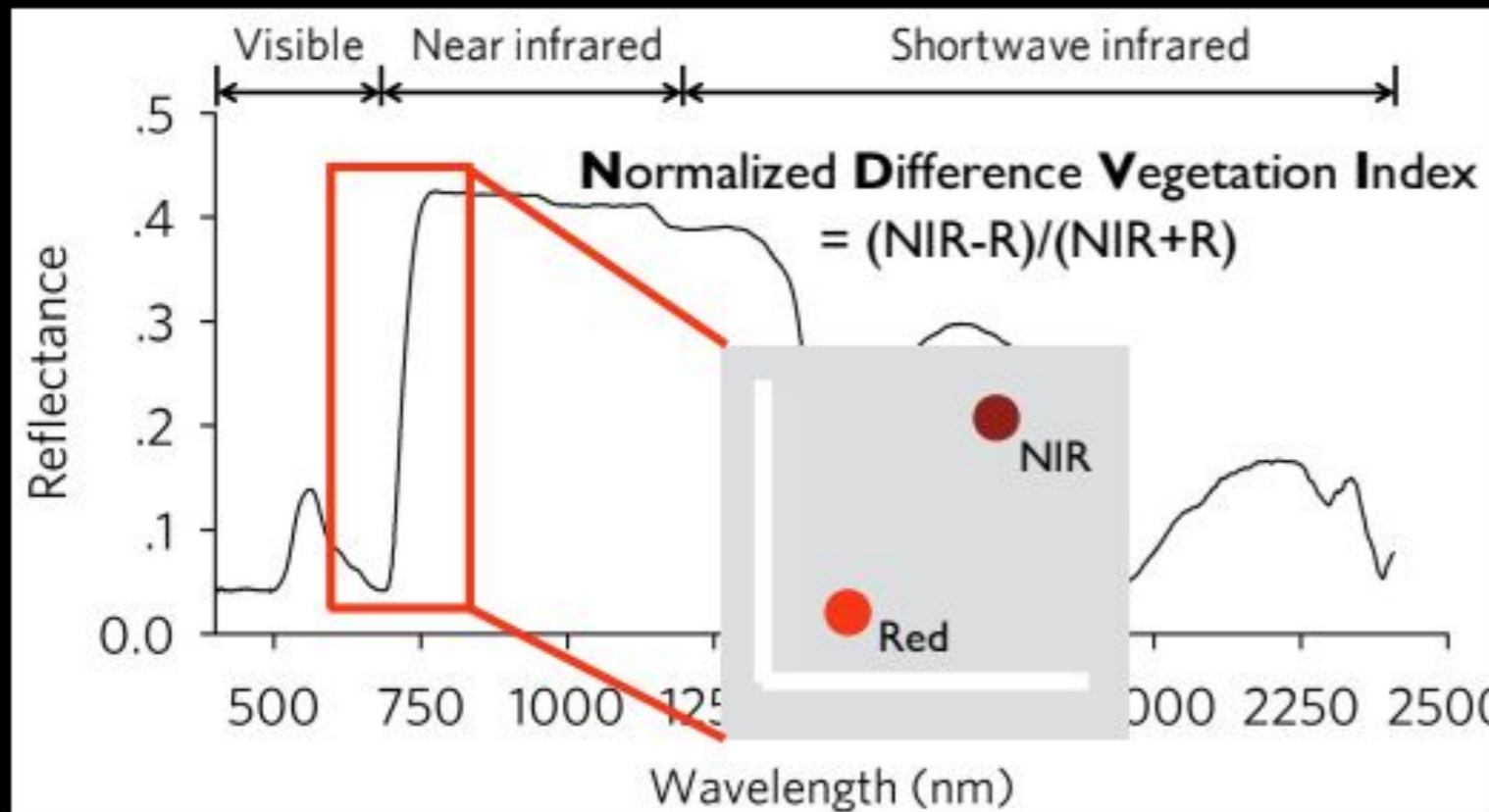
PAR absorbida

$f$  (tipo funcional de la planta, temperatura, disponibilidad de agua)

PAR: Radiación fotosintéticamente activa

$f$  PAR: Fracción de PAR que es absorbida por las hojas

# El índice de vegetación es una medida del 'verde' de la copa de los arboles



Myneni et al. 2002

$$GPP = PAR \times fAPAR \times \epsilon_p$$

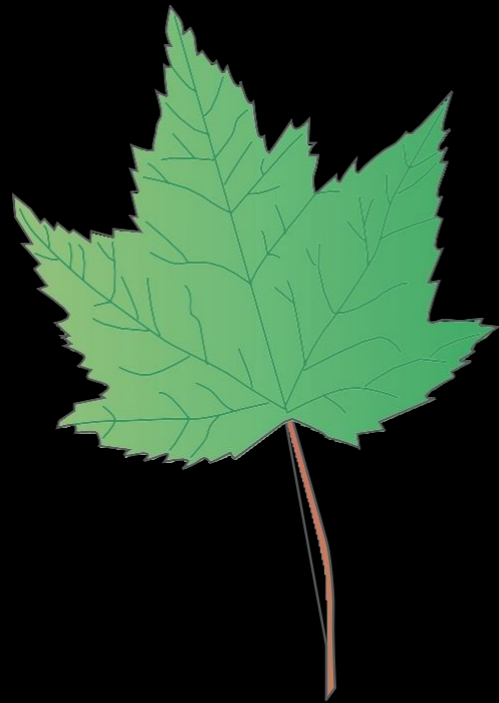
Estimado en una forma similar al índice de vegetación

$f$  (tipo funcional de la planta, temperatura, disponibilidad de agua)

PAR: Radiación fotosintéticamente activa

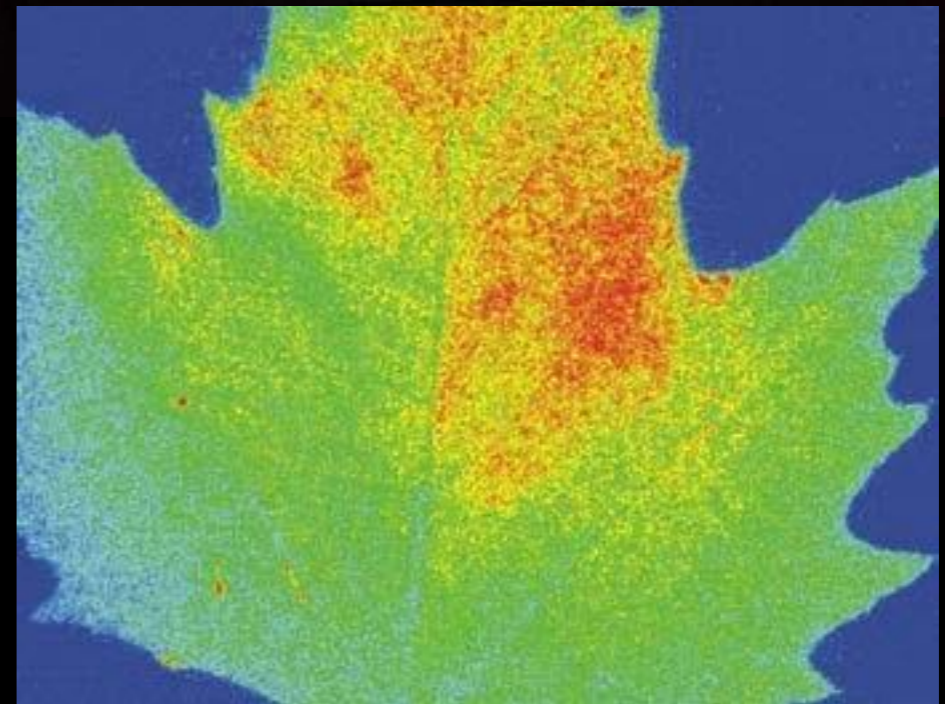
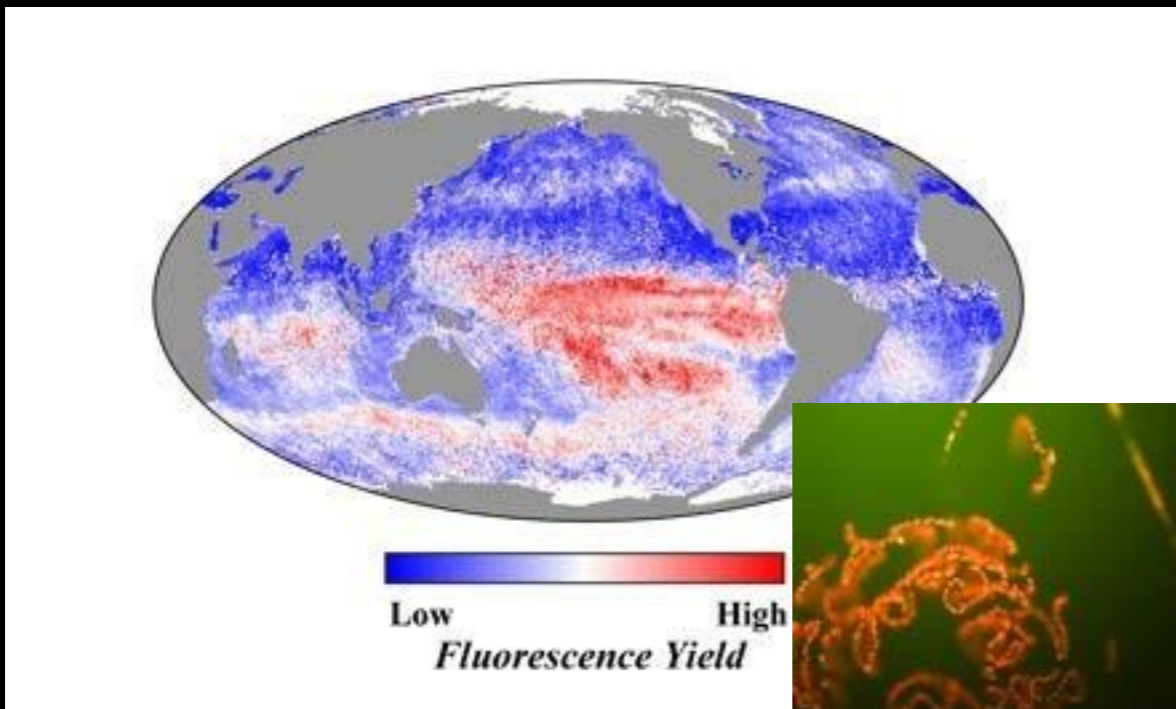
$f$  PAR: Fracción de PAR que es absorbida por las hojas

El índice de vegetación se refiere al potencial de la fotosíntesis



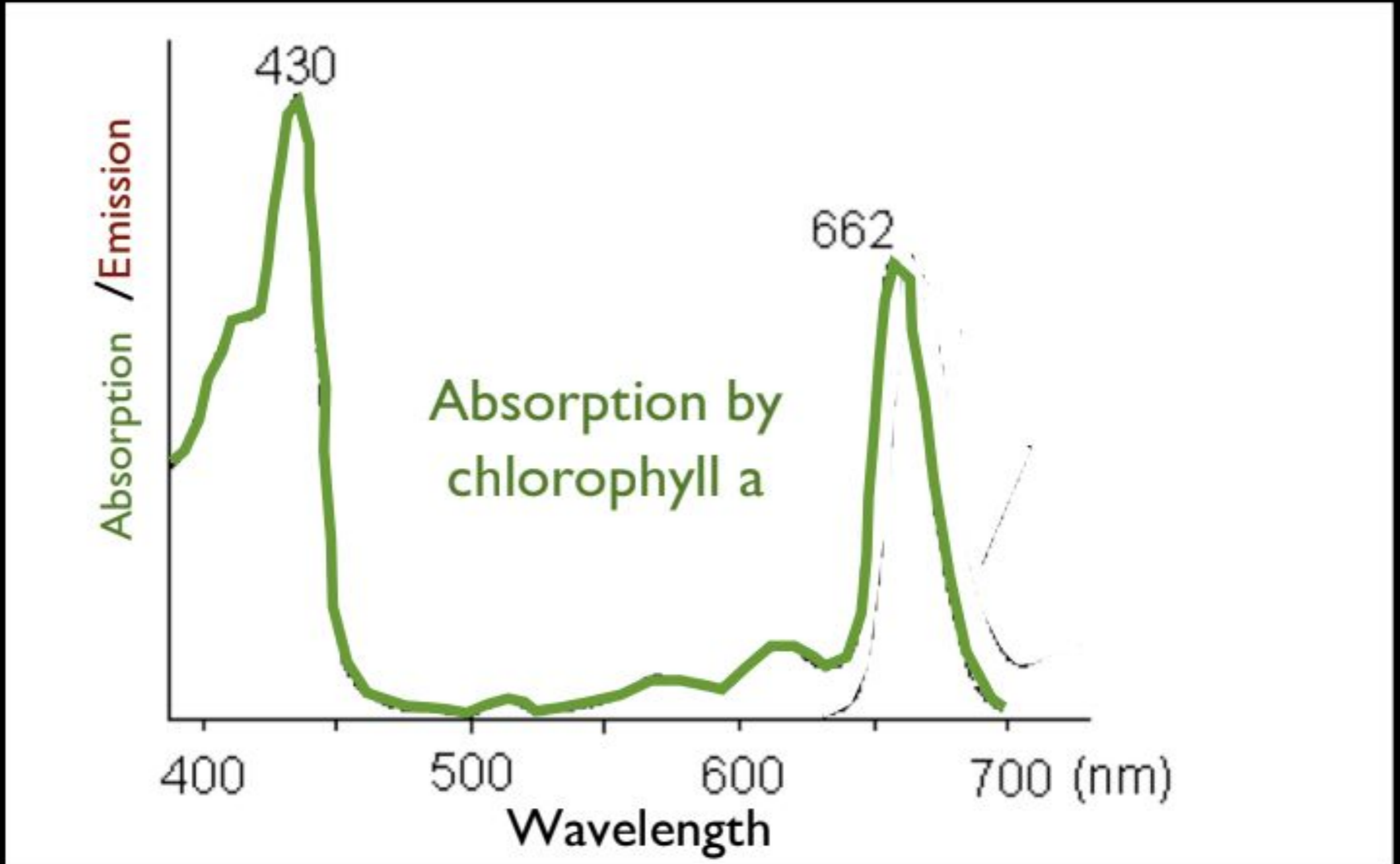
¿Existe alguna herramienta que nos ayude a conocer en tiempo real la fotosíntesis de las plantas a nivel mundial?

# Fluorescencia en la naturaleza



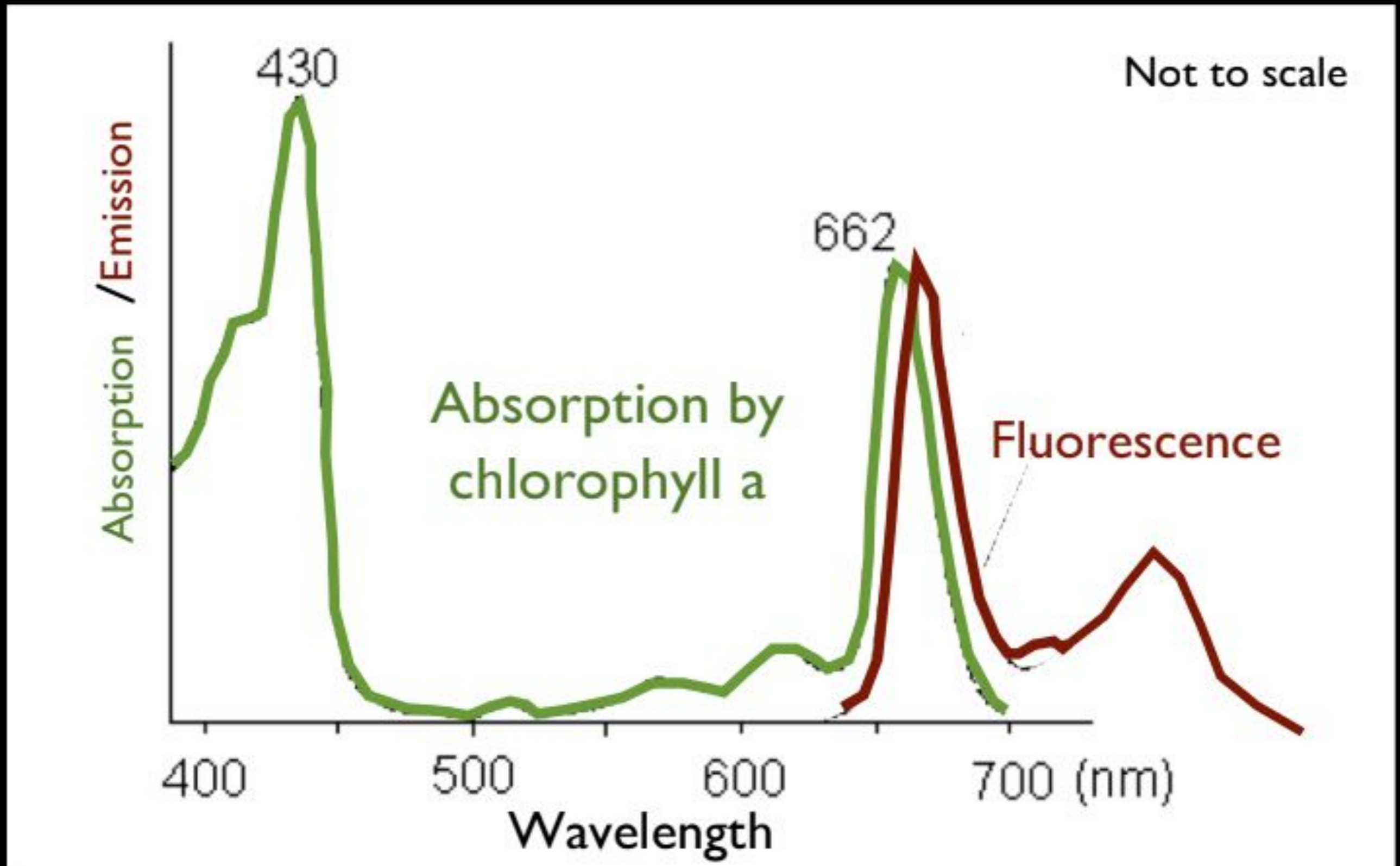
Referencia: Matt Reinbold; Wikipedia; NASA

La clorofila absorbe principalmente fotones azules y rojos



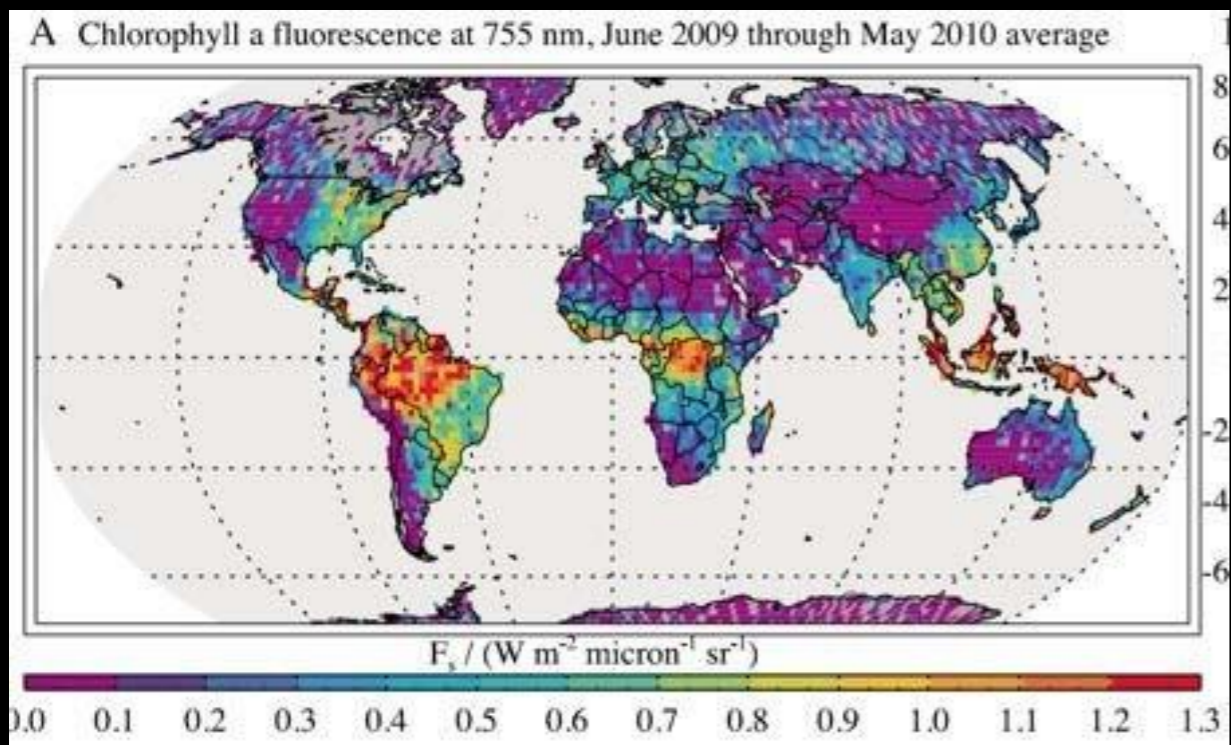


# SIF se emite en una longitud de onda más larga



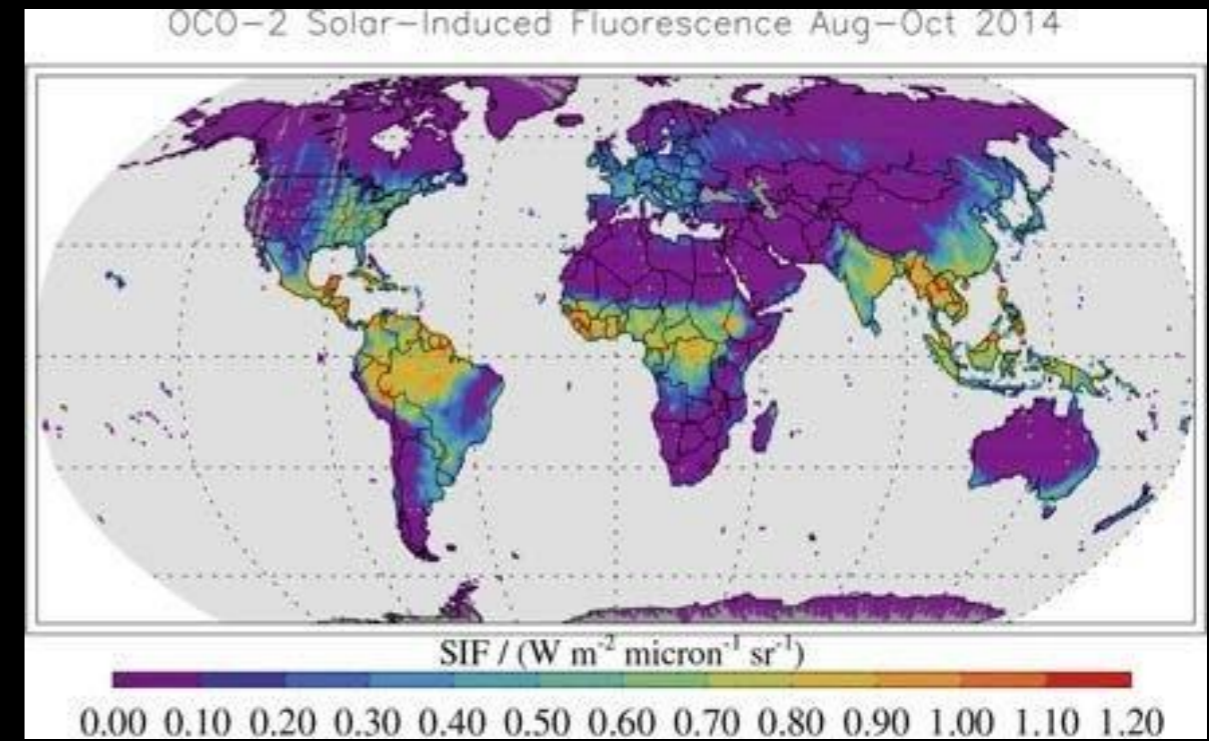
# Mediciones satelitales de SIF

## SIF de GOSAT



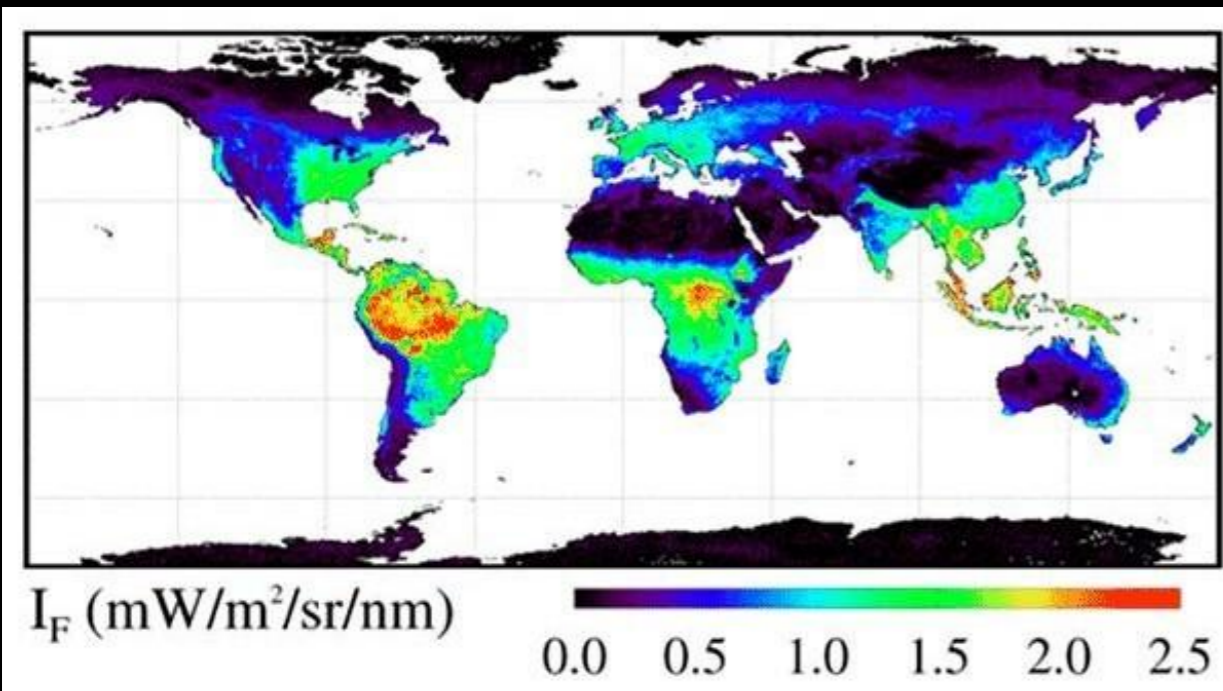
Frankenberg et al., 2011

## SIF de OCO-2



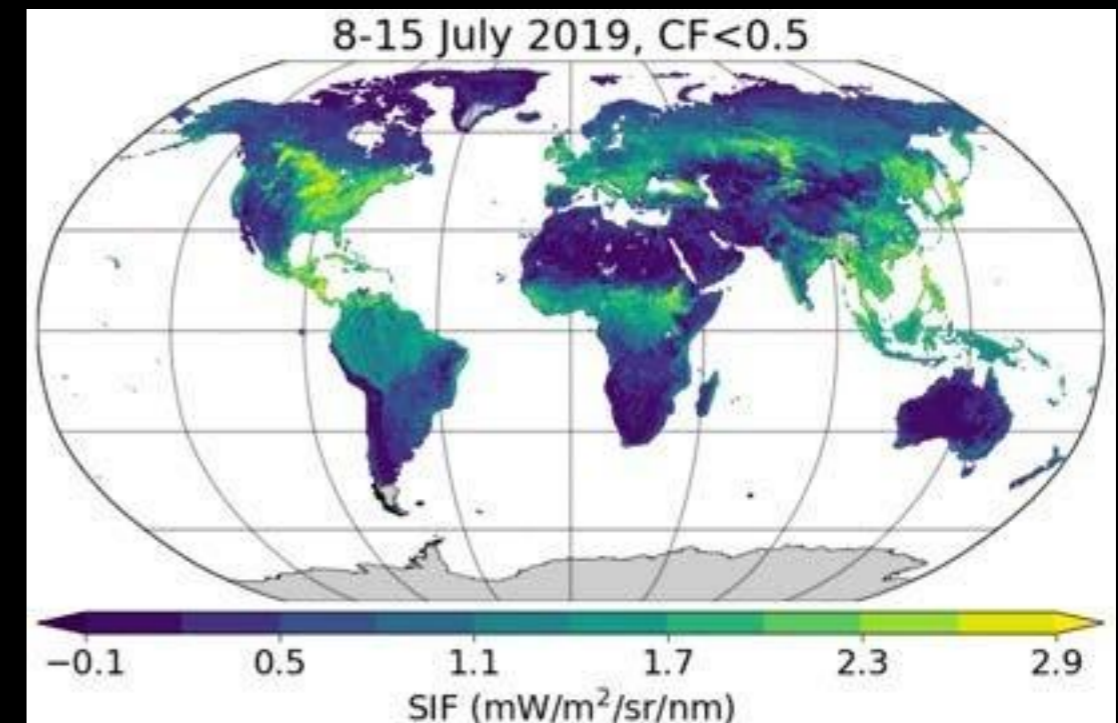
NASA JPL

## SIF de GOME-2



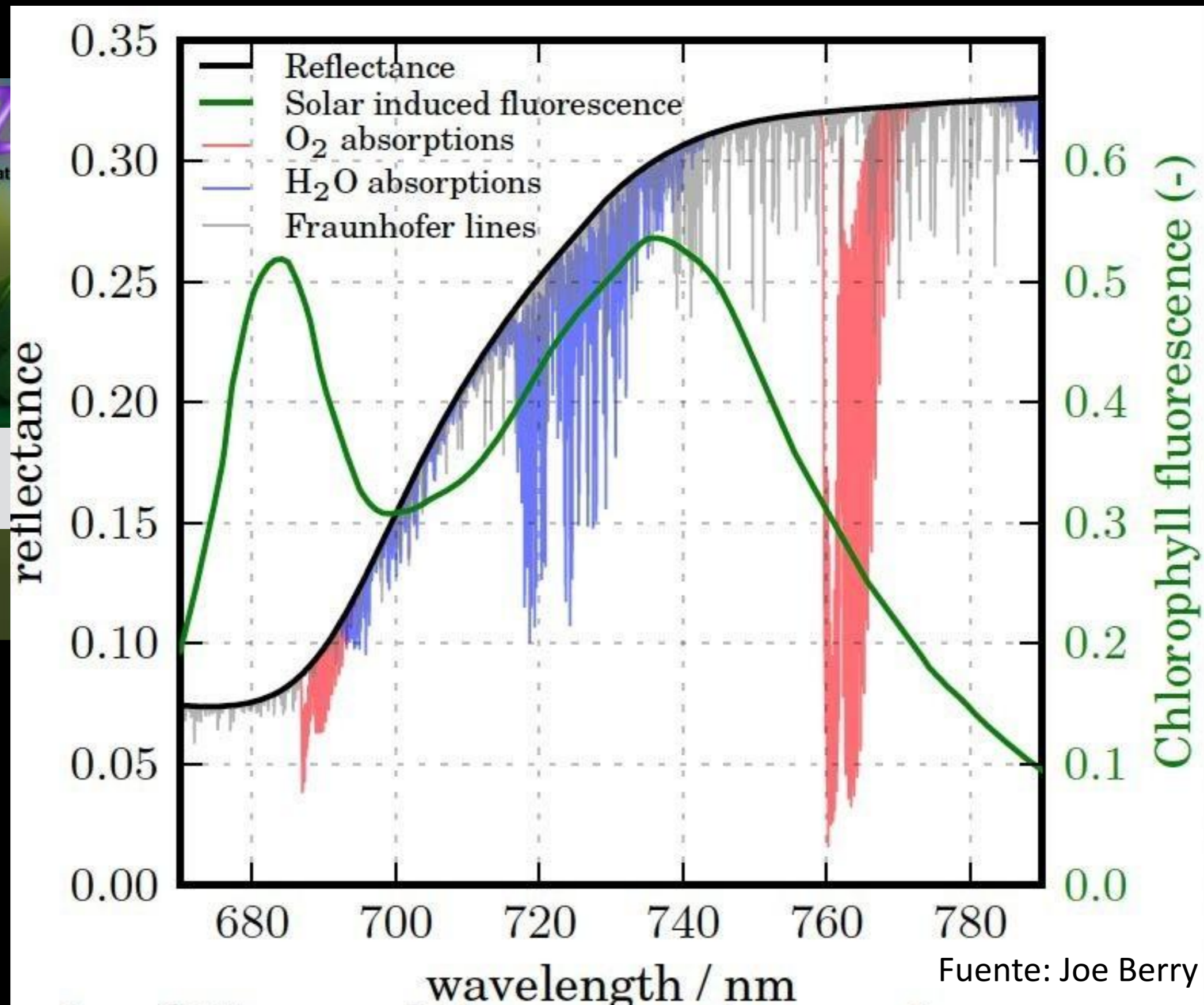
Joiner et al., 2011

## SIF de TROPOMI



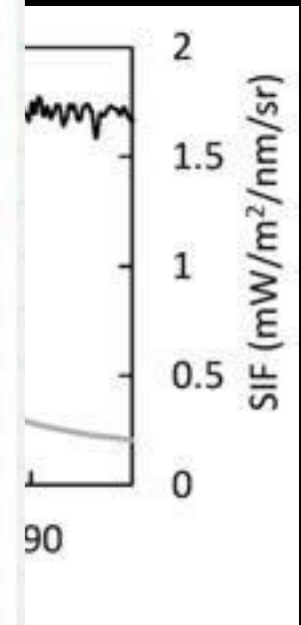
Guanter et al., 2020

# Fluorescencia clorofílica inducida por el sol (SIF)



Crédito: NASA

reflected



Fuente: Joe Berry

# Plantas brillantes

Otros productos SIF disponibles:

**SCIAMACHY** (Joiner et al., 2016)

**OCO-2** (Sun et al., 2020)

**TROPOMI** (Kohler et al., 2020)

**GOSAT** (Frankenberg et al., 2012)

**GOSAT-2**

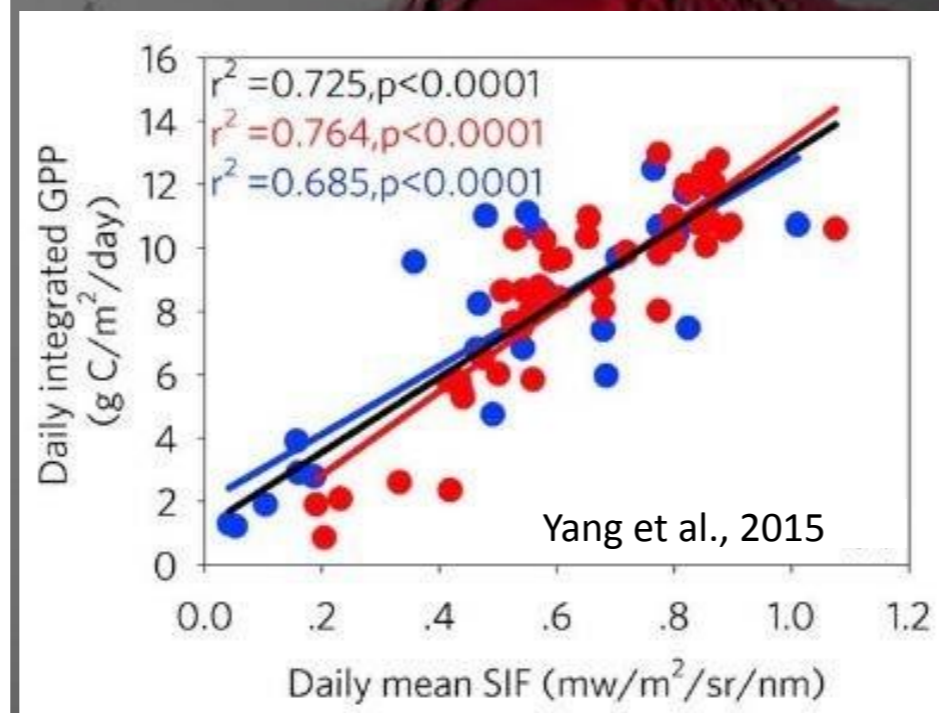
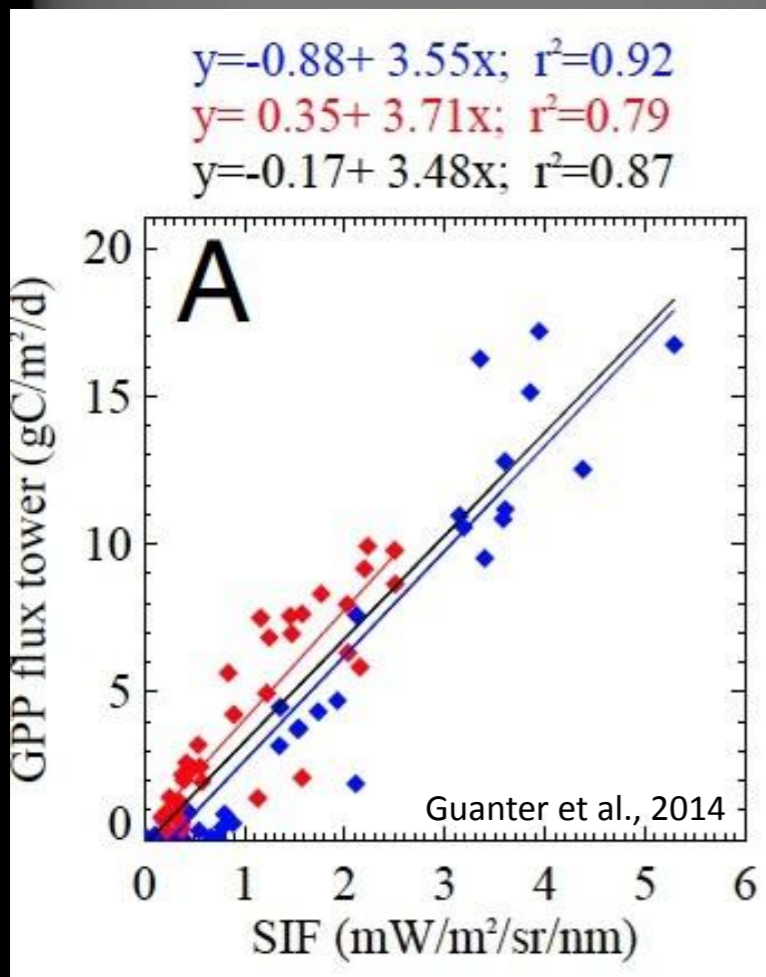
**TanSat** (Liu et al., 2020)

**OCO-3** (Primer producto disponible)

**GEOCarb** (2024)

**FLEX** (2025)

**TEMPO** (2022)



# Uniendo SIF a GPP

$$\text{GPP} = \text{PAR} \times \text{fAPAR} \times \phi_p \times 1/k$$

$$\text{SIF} = \text{PAR} \times \text{fAPAR} \times \phi_F \times f_{esc}$$

PAR: Radiación fotosintéticamente activa

fAPAR: Fracción de PAR absorbida por las hojas

$\phi_p$  : Rendimiento fotoquímico

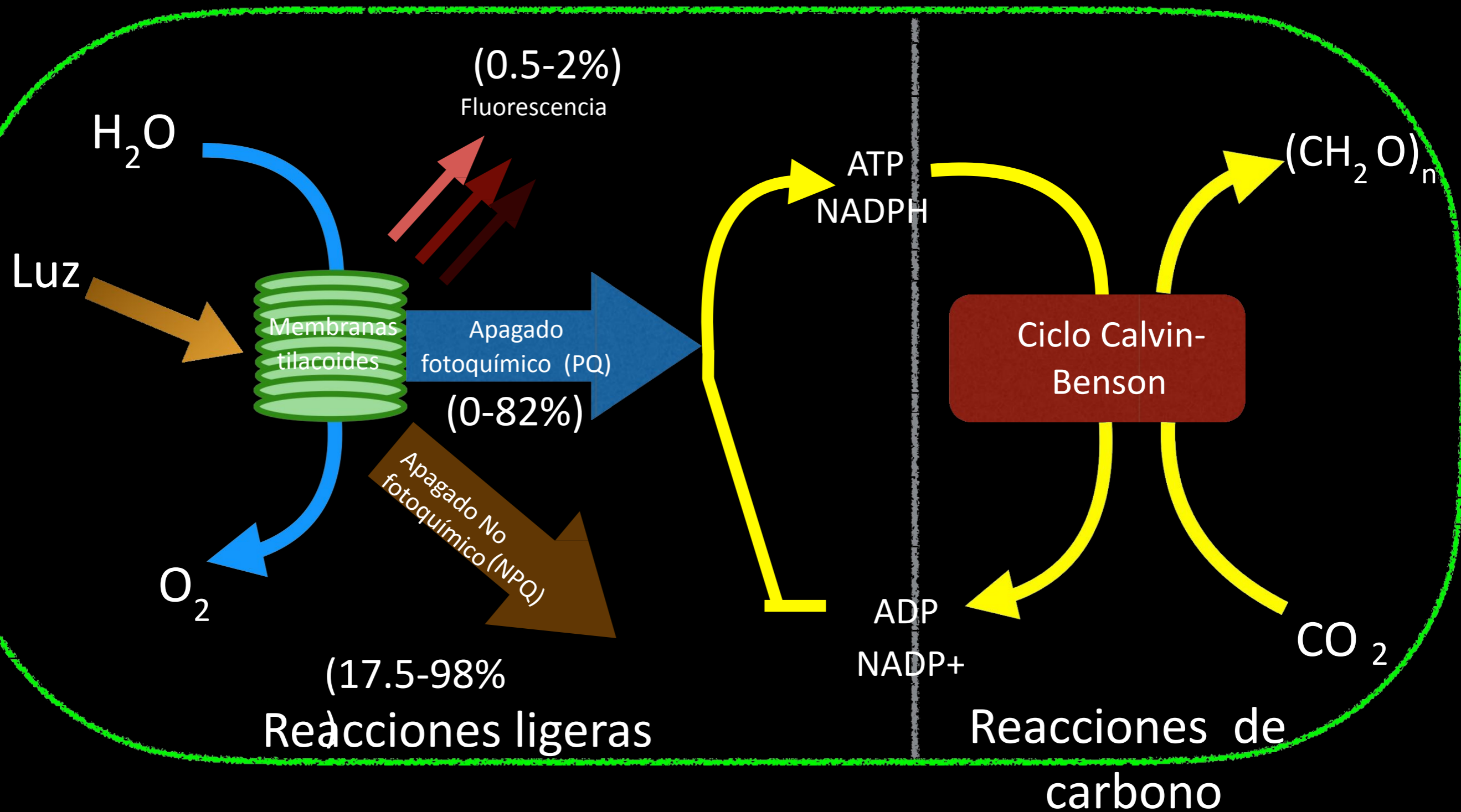
k: suponiendo que la fracción de luz utilizada por el PSII es 0,5, k es k es el número de equivalentes de electrones producidos por el LEF necesarios para reducir una molécula de CO<sub>2</sub>.

$\phi_F$  : Rendimiento de fluorescencia

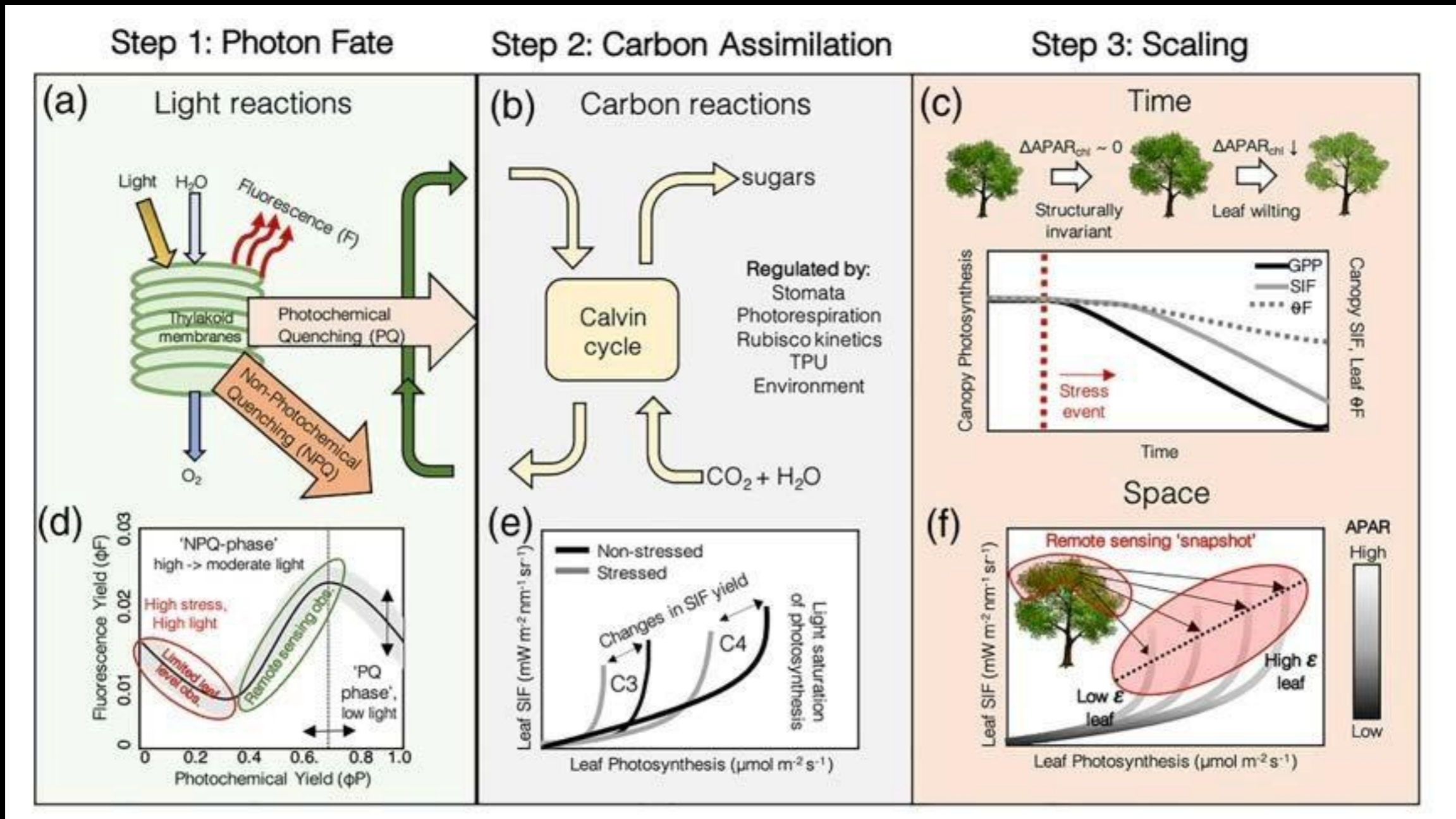
$f_{esc}$  : probabilidad de escape (estructura)

# La fluorescencia proporciona una sonda óptica de la maquinaria fotosintética

## Cloroplasto



# ¿Qué te dice un cambio en SIF?



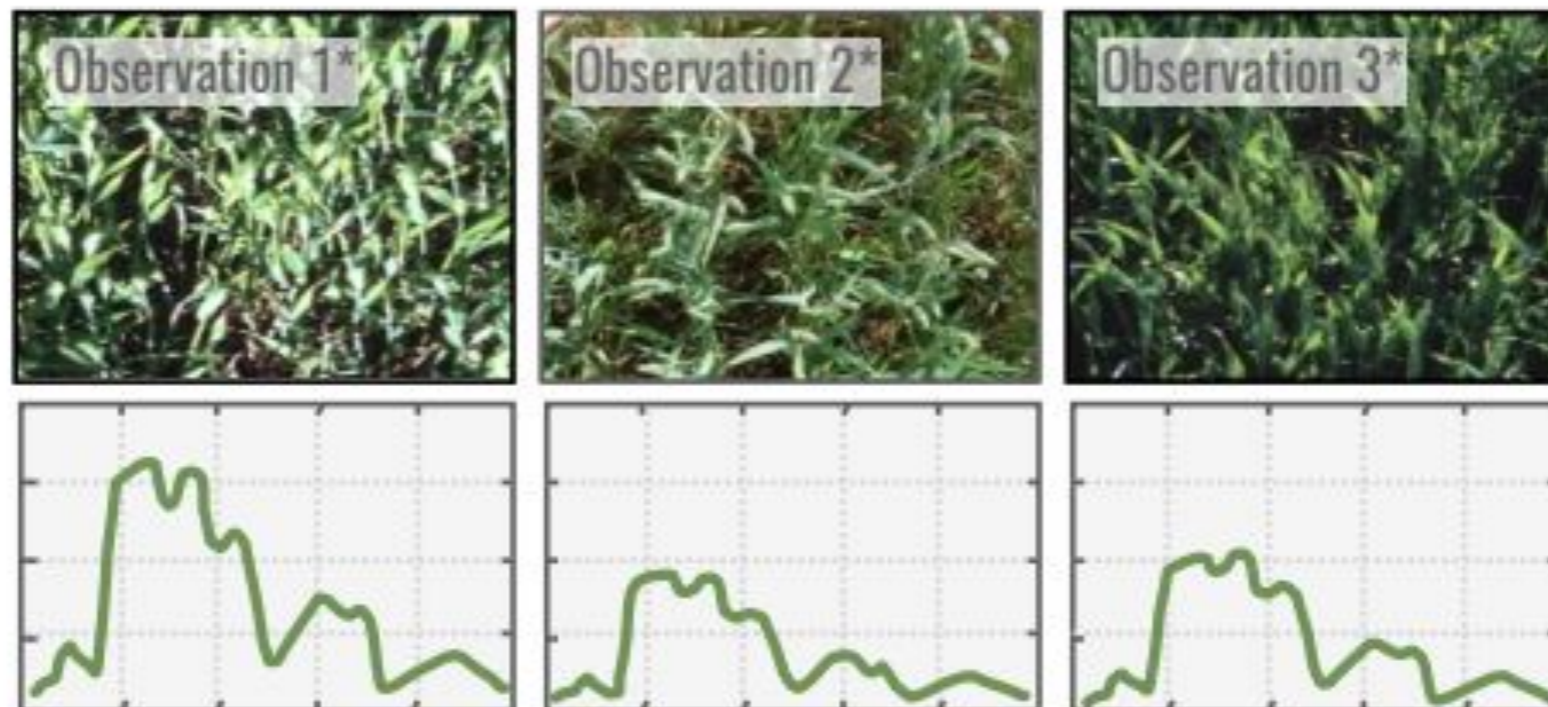
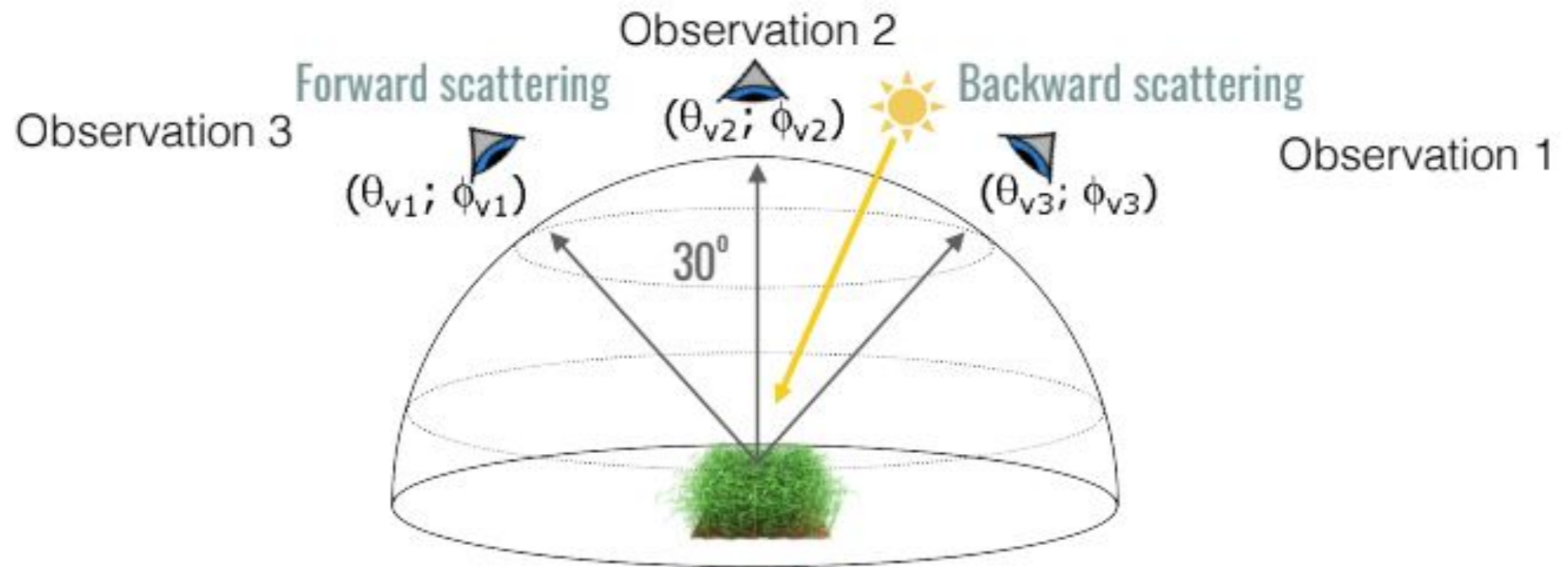
$$SIF = PAR * fAPAR * \phi F * fesc$$

Fisiología a nivel foliar: cambios en la PQ o en el contenido de clorofila

Estructura del dosel: cambios en el área foliar y/o en el ángulo foliar

Ángulo de visión: la inclinación del sensor con el objeto importa mucho!

# La geometría sol-sensor-objeto es esencial en los sensores remotos ópticos





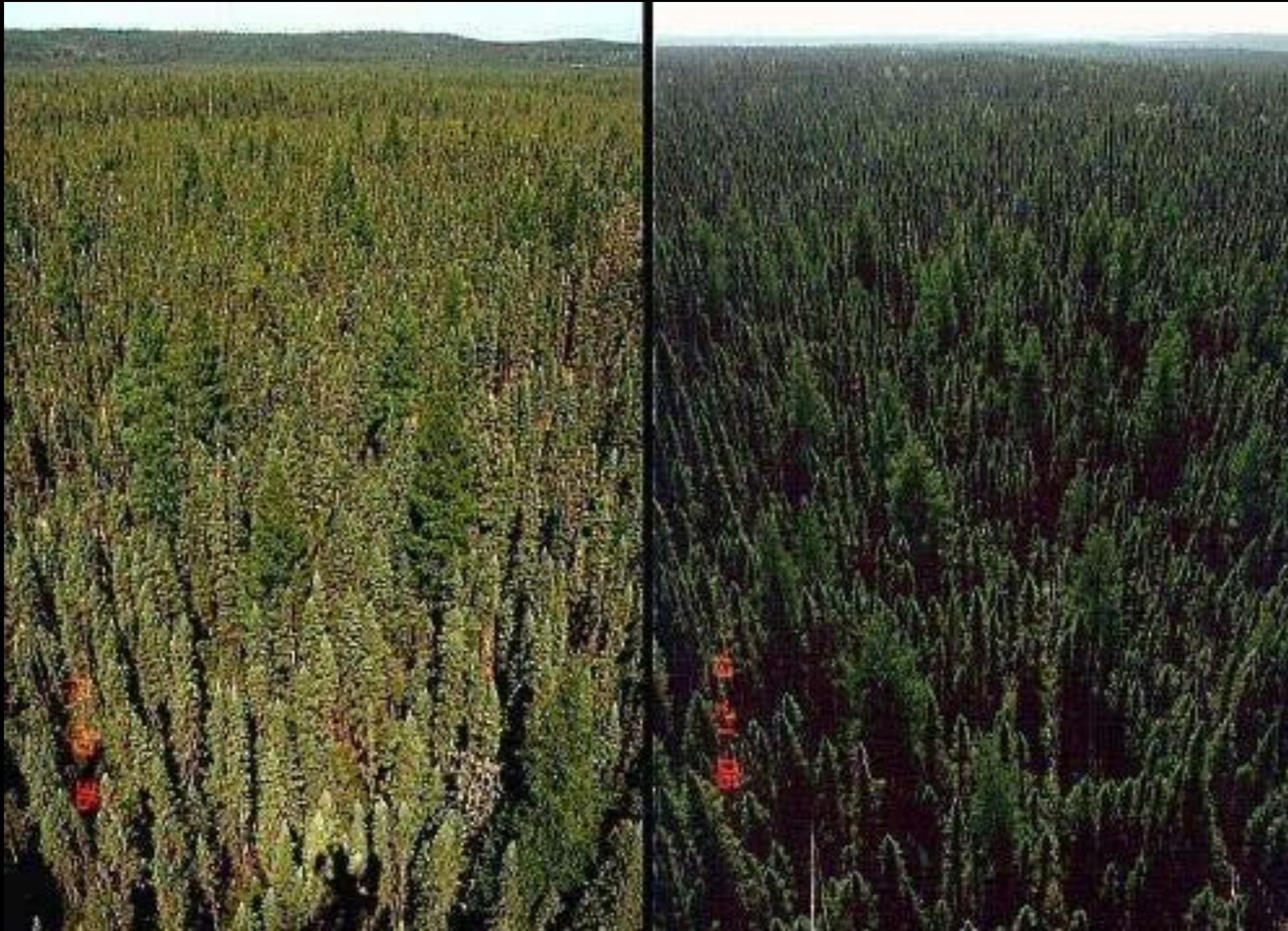
# Función de distribución bidireccional de la reflectancia (BRDF)



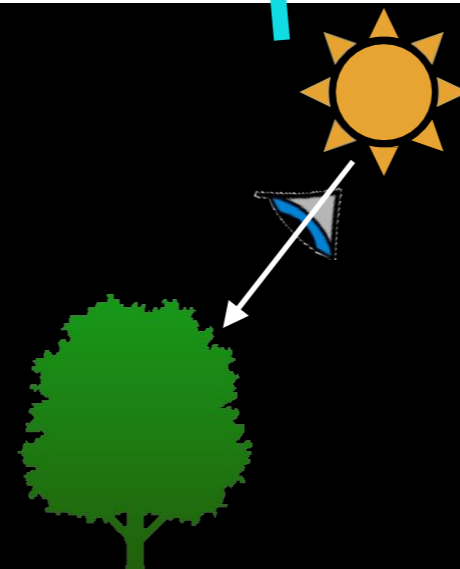
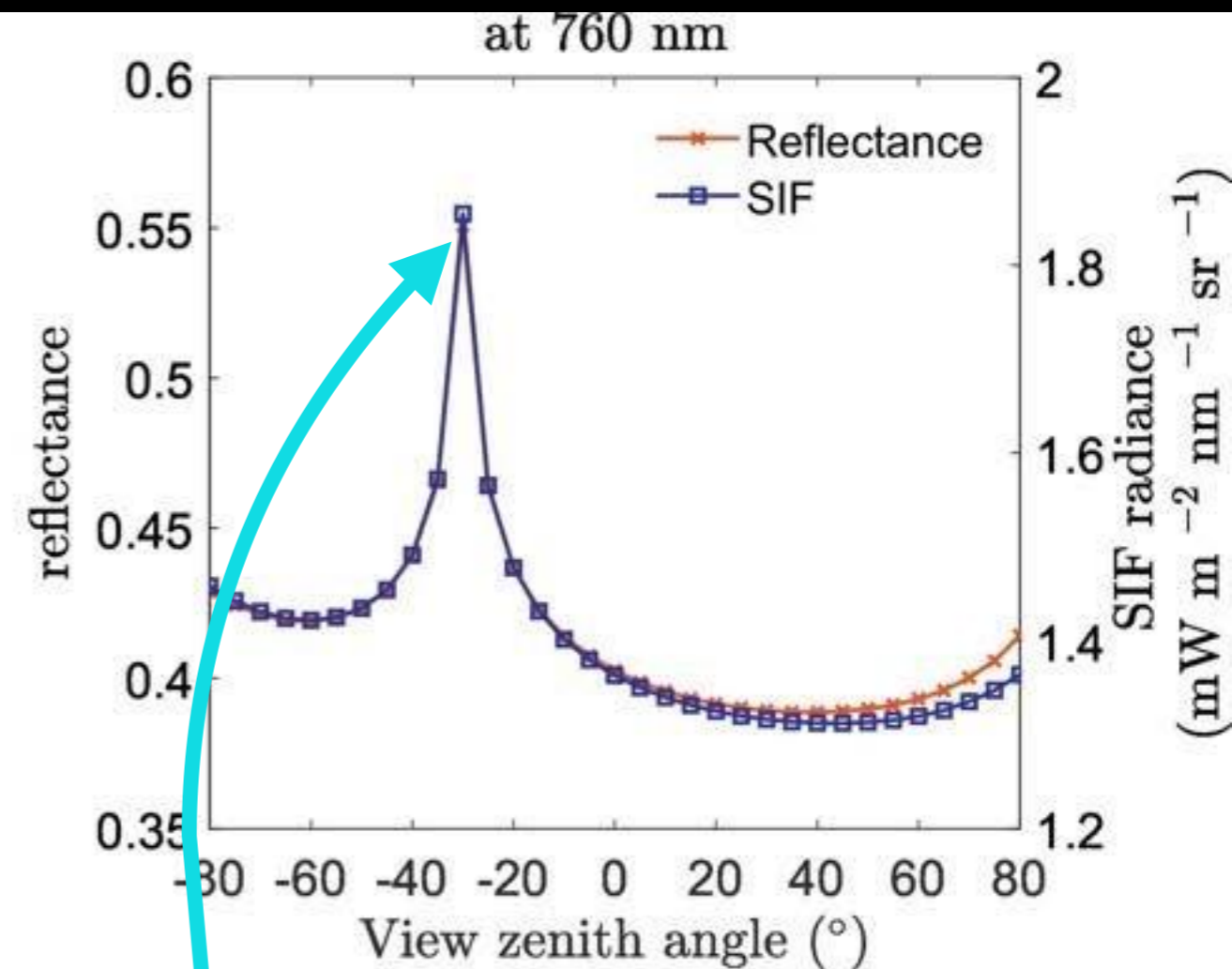
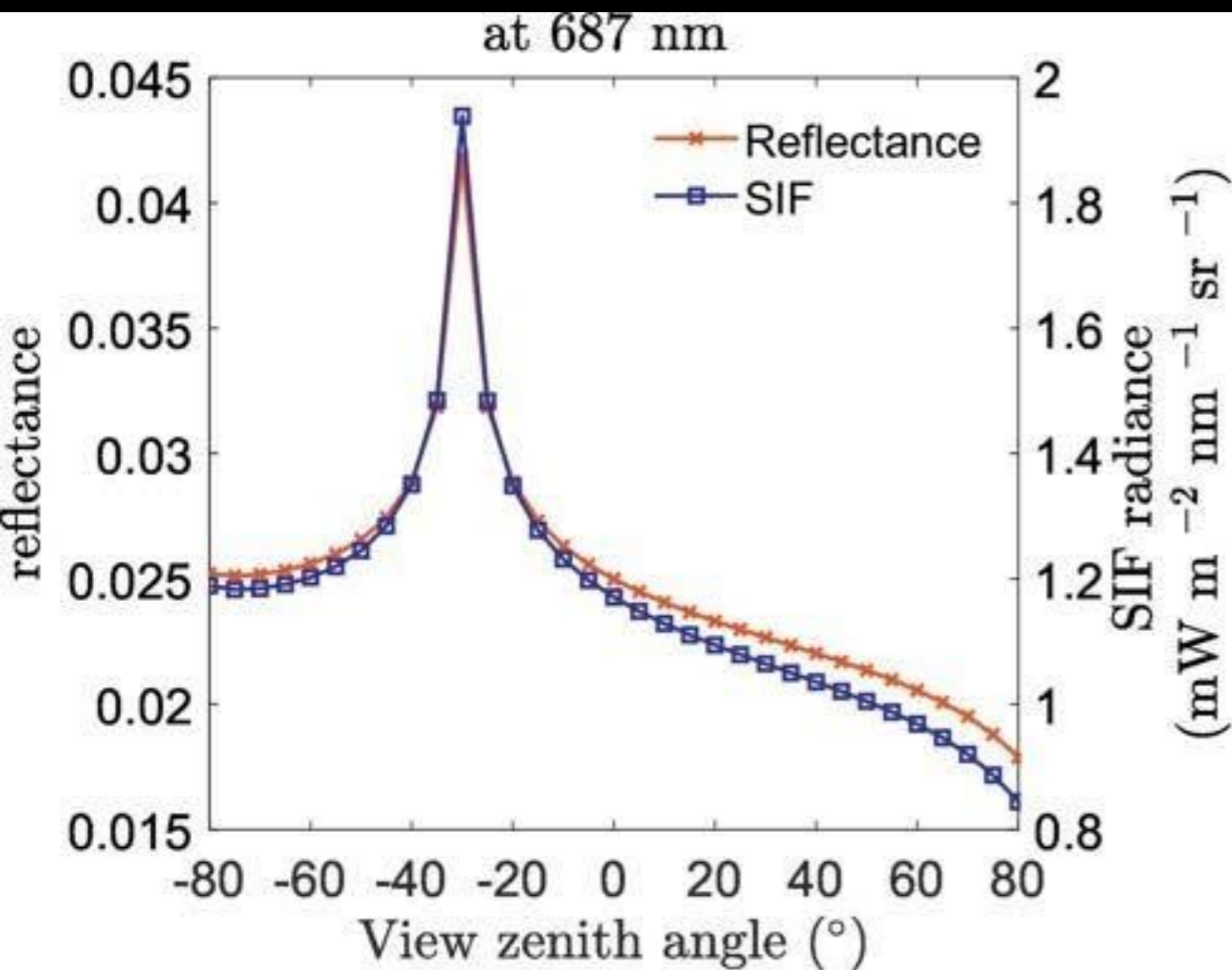
Lluvia ligera a principios de primavera  
(初春小雨)  
por Han Yu

草色遥看近却无  
aunque se ve el color  
de la hierba desde  
lejos, si uno se acerca  
no está realmente  
allí.

# Función de distribución bidireccional de la reflectancia (BRDF)



# La geometría sol-sensor-objeto es esencial en los sensores remotos



# ¿Qué le dice un cambio en SIF?

¿GPP?

¿Sequía?

¿Transpiración?

¿Impacto de la radiación difusa?

¿Fecundación con CO<sub>2</sub>?

¿Golpe de calor?

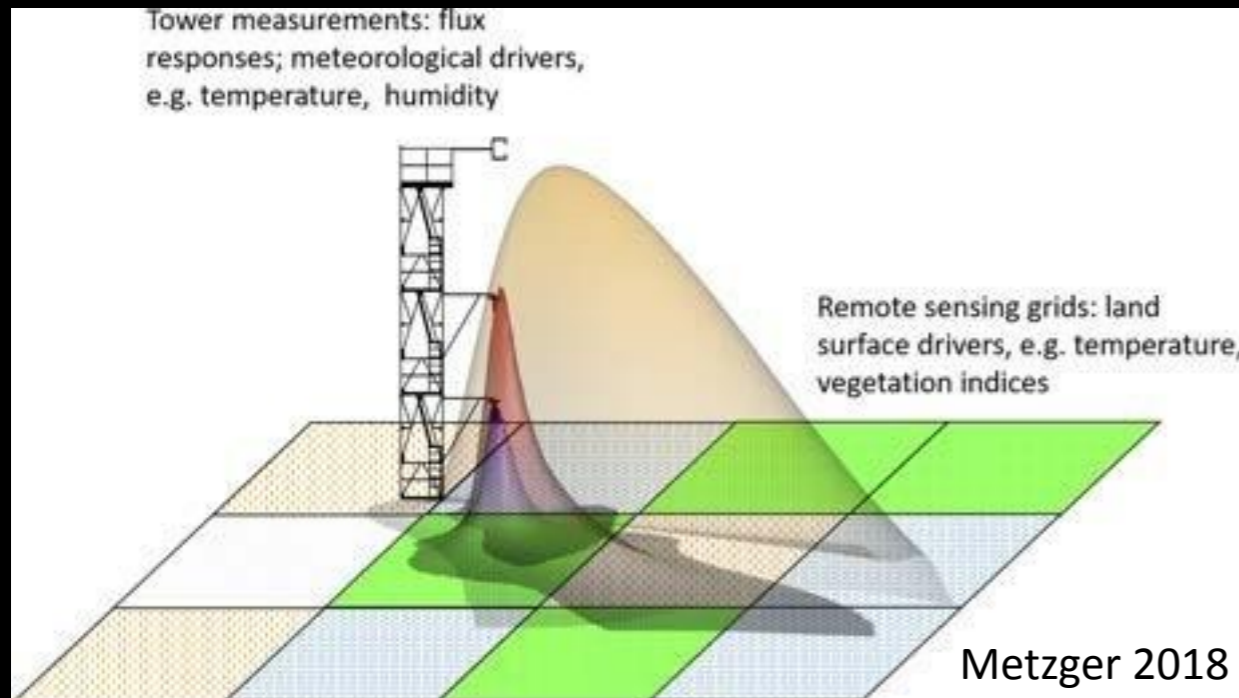
¿Inundación?

¿Ataque de escarabajos?

¿Cambios en la composición de los bosques?

# Algunas consideraciones a tener en cuenta al vincular la RS con las mediciones de la torre de flujo

## Satélite vs. Torre de flujo



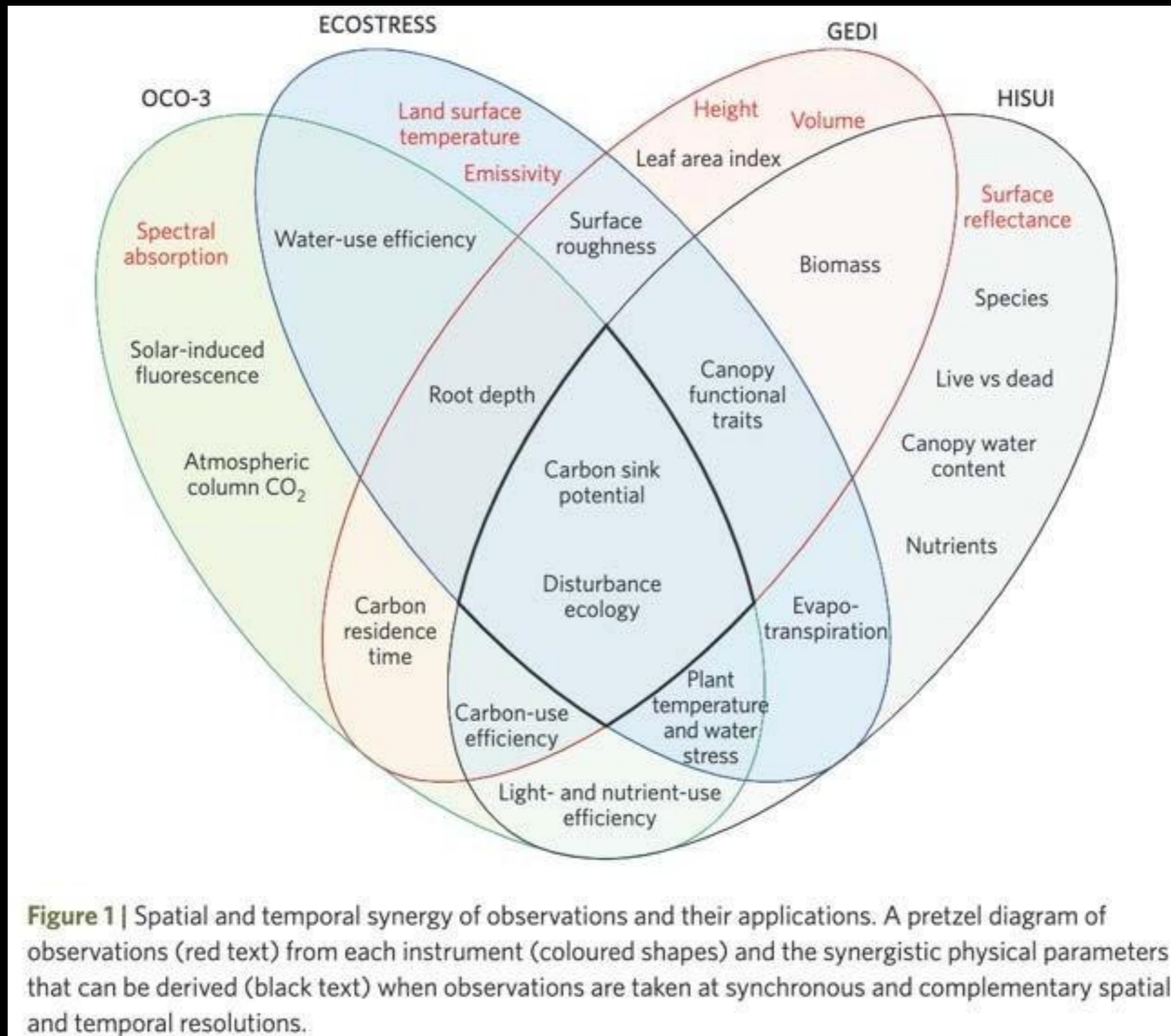
- Los datos de sensores remotos deben coincidir con la huella de las mediciones de la torre EC
- Las mediciones ópticas y térmicas por satélite sólo son buenas en días soleados
- Para los ecosistemas con estructuras de dosel complicadas, tenga en cuenta que \*algunas\* mediciones de RS son más sensibles a la parte superior del dosel
- Recuerde que la GPP de las mediciones de las torres EC también se "modela" con suposiciones
- SIF y los índices de vegetación, en el mejor de los casos, nos hablan de la parte de transporte de electrones de la fotosíntesis

## Mediciones ópticas basadas en la torre vs. Torre de flujo



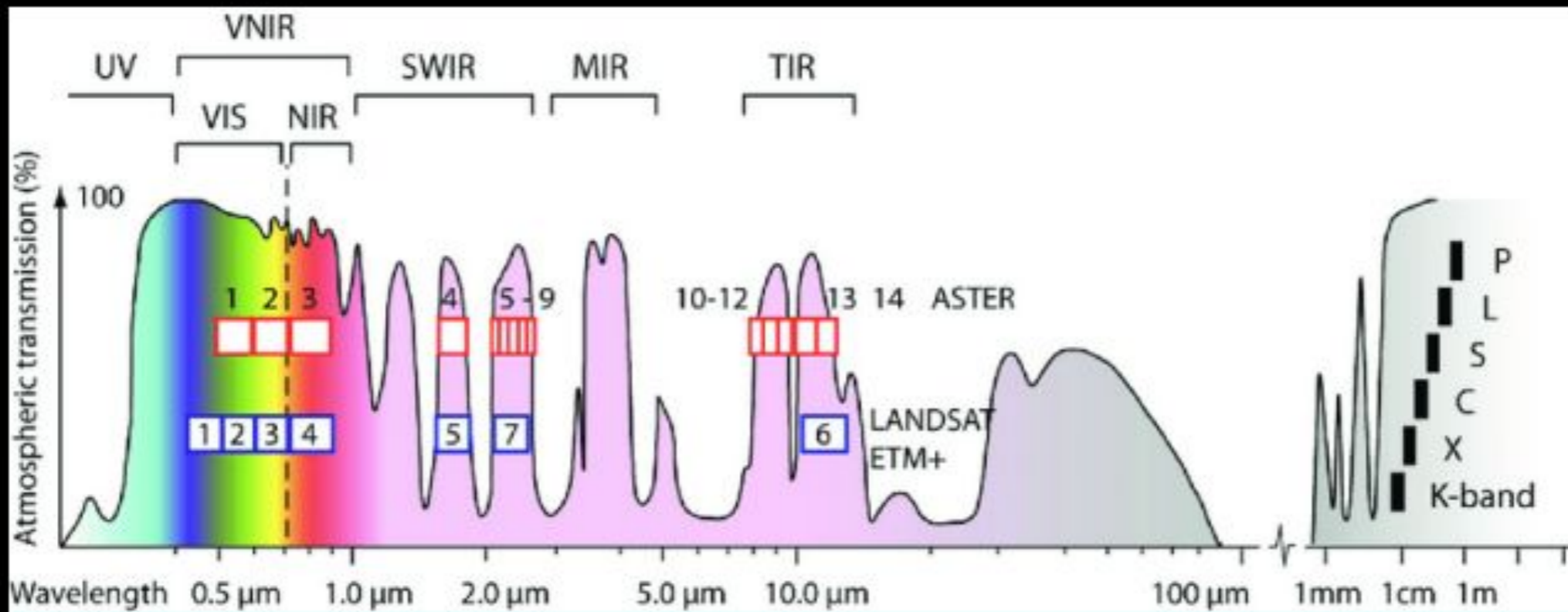
- Sensores ópticos basados en las torres usualmente tienen huellas más pequeñas comparados con las torres EC, pero también pueden generar medidas de individuos.
- Con algunas consideraciones cautelosas, las mediciones ópticas desde las torres también son buenas durante los días nublados.
- Los sensores remotos pueden proveer información mas allá del GPP!

# Sinergia de los métodos de sensores remotos

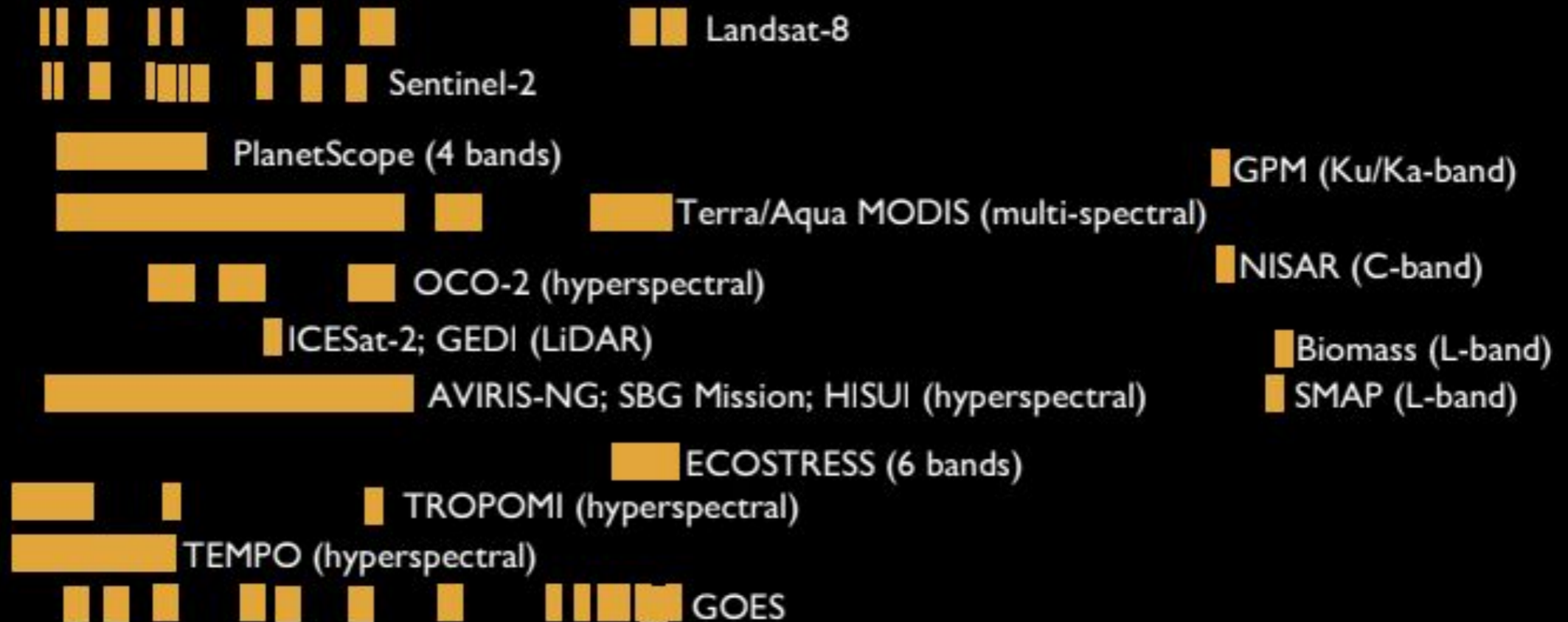


**Figure 1 |** Spatial and temporal synergy of observations and their applications. A pretzel diagram of observations (red text) from each instrument (coloured shapes) and the synergistic physical parameters that can be derived (black text) when observations are taken at synchronous and complementary spatial and temporal resolutions.

# Un vistazo a los Sensores Remotos



UV Visible NIR SWIR TIR FIR Microwave



# Compromiso entre las resoluciones espacial y temporal

