



UNIVERSITY of
STIRLING



UCLouvain



Agriculture and
Agri-Food Canada

Agriculture et
Agroalimentaire Canada



Environment and
Climate Change Canada

Environnement et
Changement climatique Canada



Mapeo de Cultivos y sus Características Biofísicas con SAR Polarimétrico y Teledetección Óptica

Parte 4: Análisis de Series de Tiempo de Cultivos Específicos para Análisis del Crecimiento
Pr. Pierre Defourny (UCLouvain), Fabrizio Ramoino (ESA), Amalia Castro Gómez (ESA)

3 de Mayo 2022

Esquema de la Capacitación

12 Abril 2022

Parte 1: Polarimetría
SAR para la
agricultura (teoría y
práctica)

19 Abril 2022

Parte 2: Polarimetría SAR
práctica con imágenes
de Sentinel-1, RCM y
SAOCOM para la
agricultura

26 Abril 2022

Parte 3: Caja de
herramientas de código
abierto Sen4Stat

3 de Mayo de 2022

**Análisis de Series de
Tiempo de Cultivos
Específicos para Análisis
del Crecimiento**

Objetivos de la Capacitación

Al concluir esta capacitación, las/los participantes aprenderán:

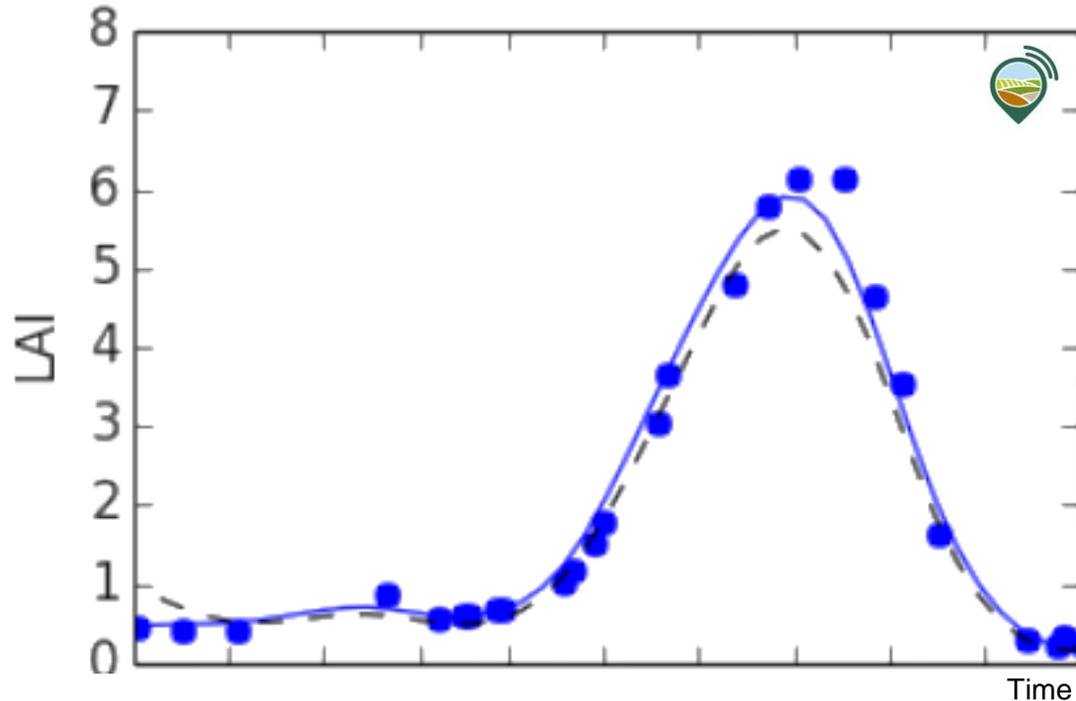
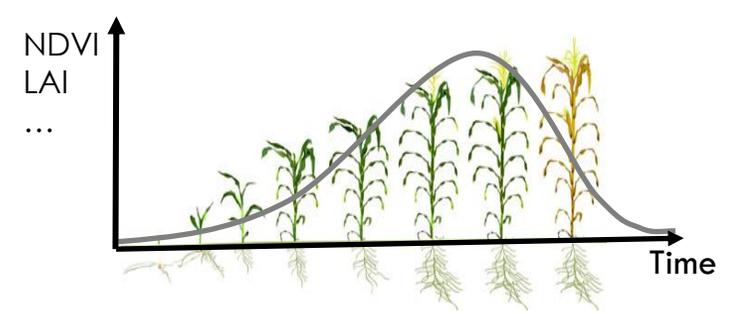
- ¿Qué es una serie temporal de reflectancia multispectral satelital?
- ¿Cómo preparar una serie temporal de reflectancia utilizando la caja de herramientas SNAP?
- ¿Cómo recuperar el Índice de Área Foliar (Leaf Area Index, LAI) a partir de una serie temporal óptica?
- ¿Cómo controlar la calidad de una serie temporal de LAI?
- ¿Cómo explotar las series temporales de LAI específicas de los cultivos a nivel regional?
- ¿Cómo evaluar la heterogeneidad inter e intraparcelsaria de todos los campos de maíz?

Contenidos

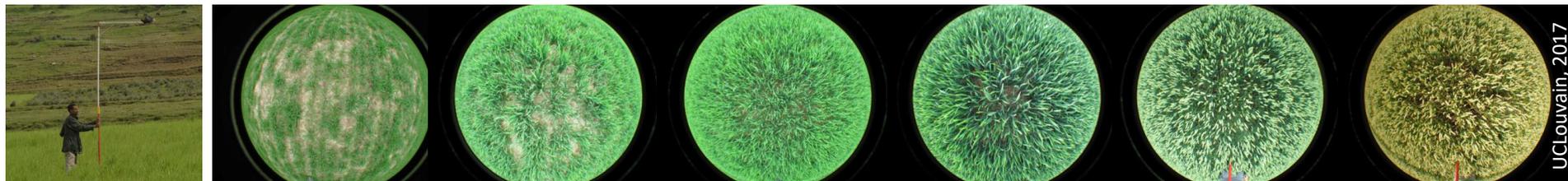
- Introducción
- Sección 1: Preprocesamiento de las series temporales ópticas
- Sección 2: Extracción de las series temporales de LAI específicas de los cultivos, usando Sentinel-2 y SNAP
- Sección 3: Análisis de series temporales de LAI específicas para cultivos para la supervisión del crecimiento (Jupyter Notebook)
 - Control de calidad de las series temporales del LAI mediante QGIS
 - Análisis de series temporales de LAI específicas para cada cultivo
 - Evaluación de la heterogeneidad inter e intraparcelsaria para todos los campos de maíz
- Sección 4 : Preguntas y respuestas

Análisis de series temporales para monitoreo del crecimiento de cultivos

Índice de Área Foliar (Leaf Area Index, LAI) como indicador clave del desarrollo de la vegetación



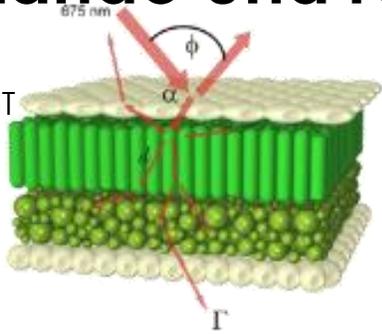
Series temporales del LAI obtenidas con imágenes de Sentinel-2 adquiridas en la estación de crecimiento



Mediciones del LAI en campo a partir de la fotografía digital hemisférica, mediante el software Can-eye

Extracción del LAI con inversión del modelo de transferencia radiativa utilizando una red neuronal

Modelo PROSPECT RT a nivel de hoja

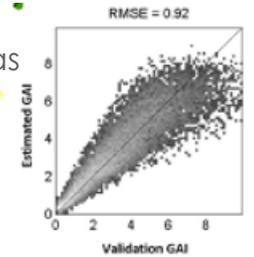


Propiedades estructurales y ópticas del cultivo (incl. BV)



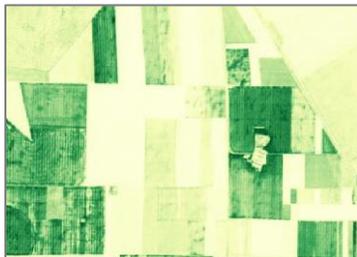
Reflectancia simulada para todas las bandas espectrales y geometrías (ángulos del sol y del satélite)

Rendimientos Simulados (sólo valores del modelo)

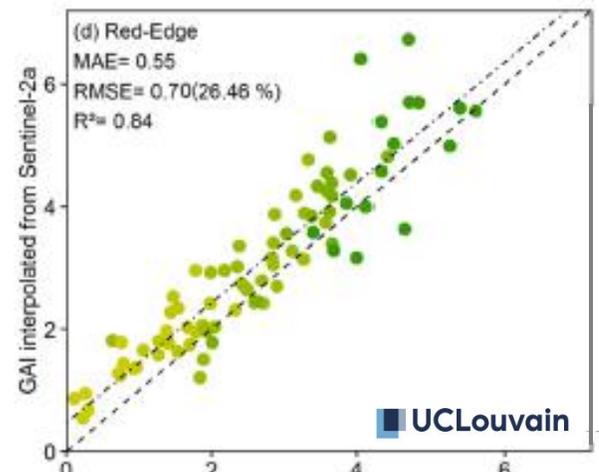


Método de recuperación mediante un modelo NN calibrado

Source: http://fapar.jrc.ec.europa.eu/WWW/Data/Pages/FAPAR_Software/Images/semi-discrete.gif

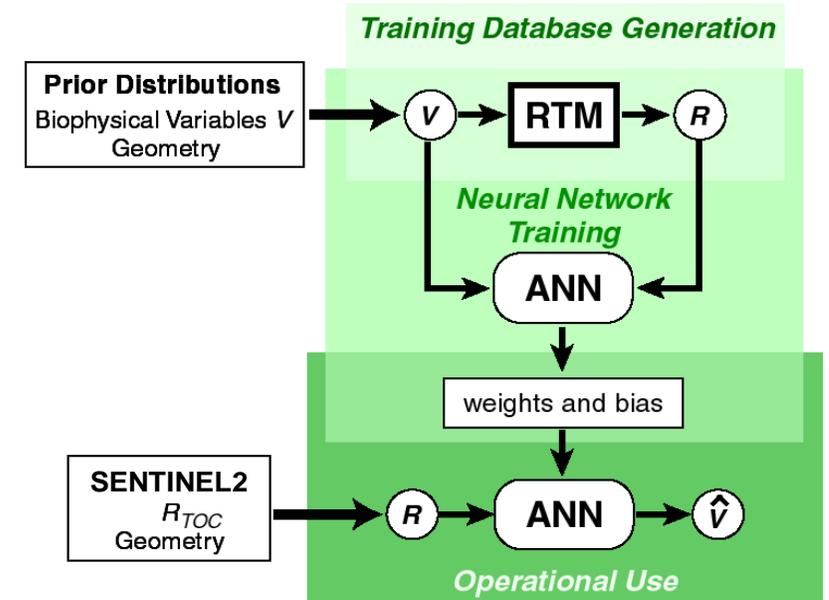


Validación real del rendimiento de la extracción (validación a partir de mediciones en campo)



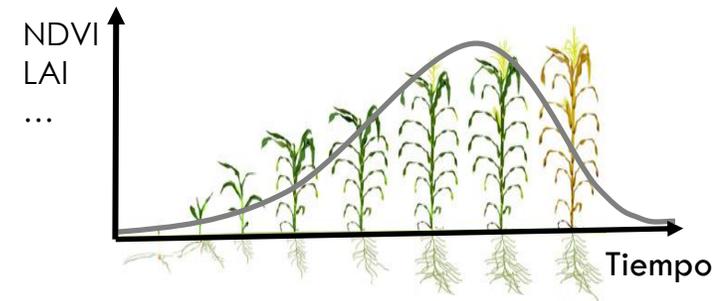
(Delloye et al., 2018)

BV-net en la caja de herramientas SNAP



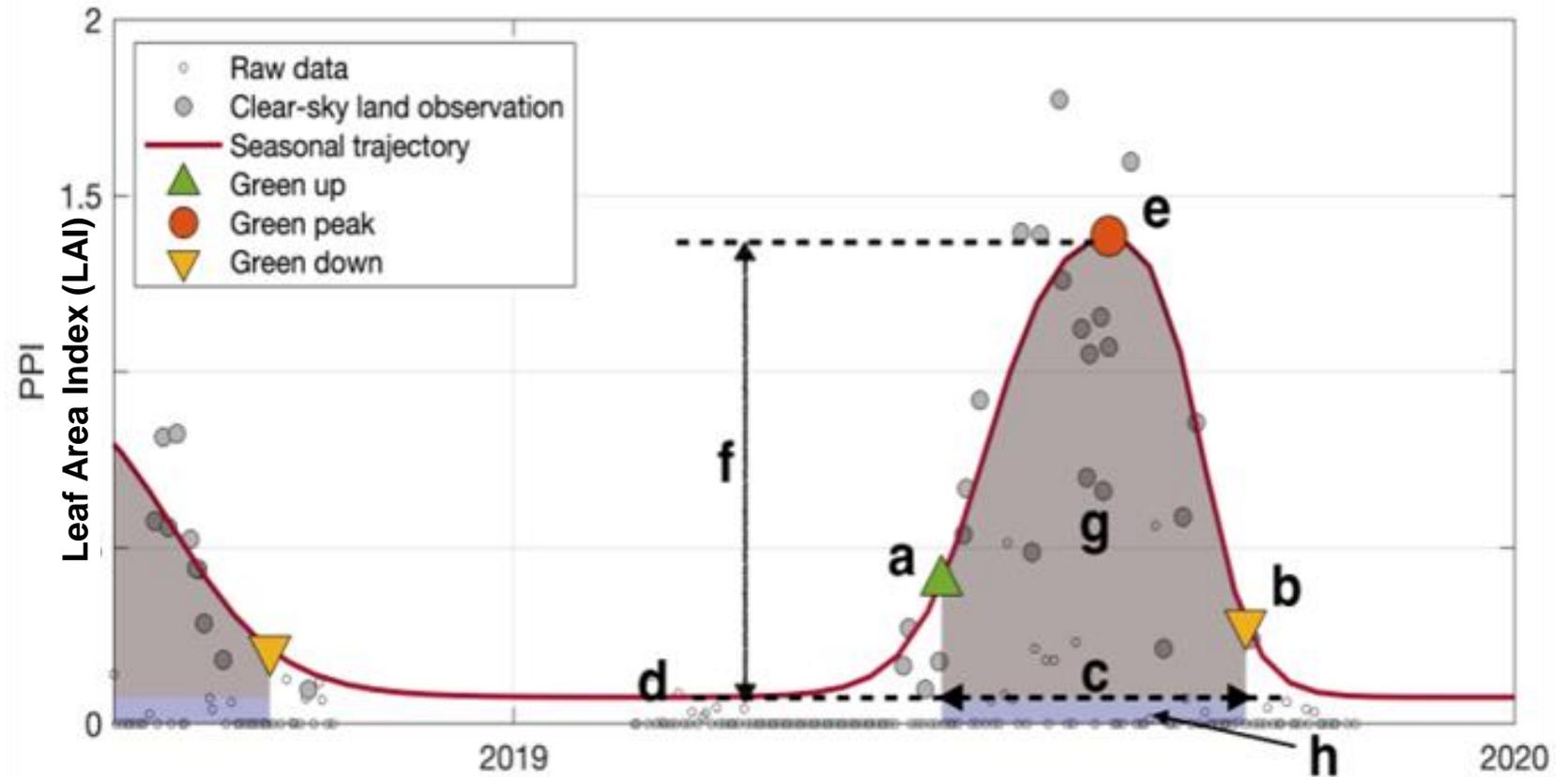
(Weiss et al., 2019)

Series temporales del LAI para estimar la productividad de la vegetación

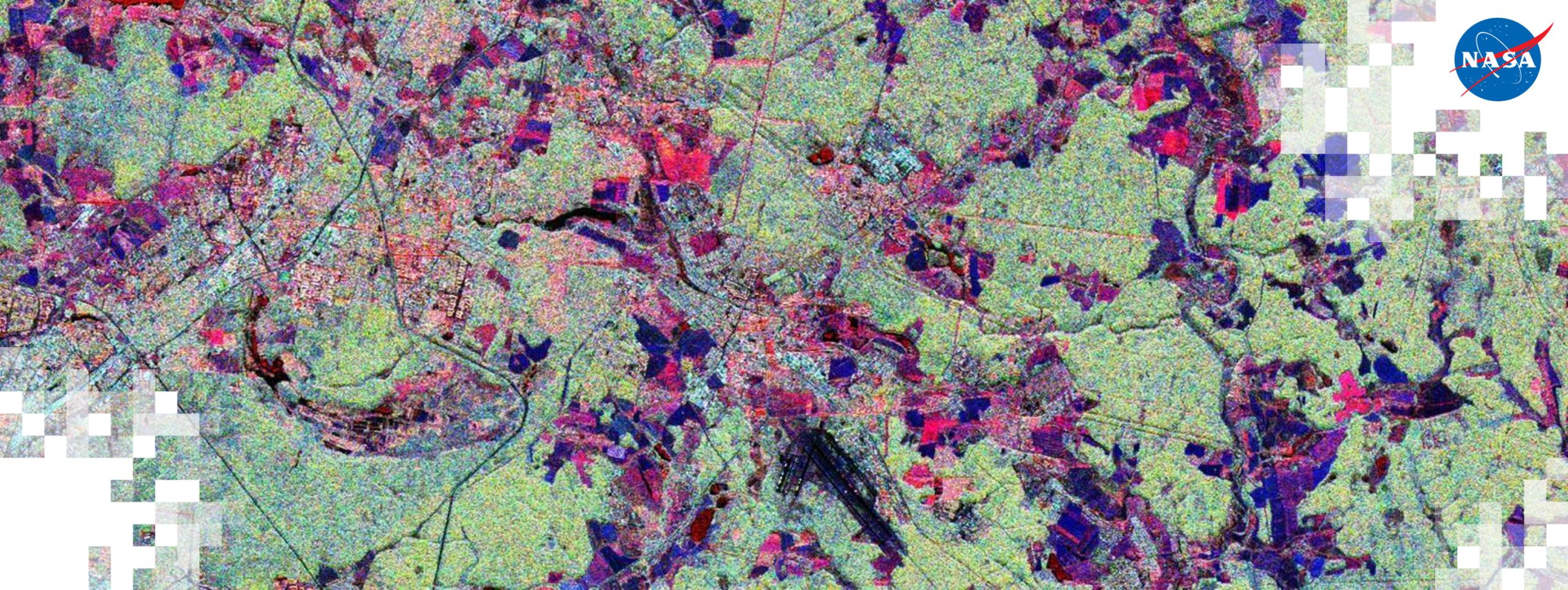


Variables de productividad y fenología de la vegetación :

- (a) inicio de la temporada
- (b) fin de temporada
- (c) duración de la temporada
- (d) mínimo de la temporada
- (e) pico de la temporada**
- (f) amplitud
- (g) valor integrado pequeño
- (g+h) valor integrado grande**



Fuente: Copernicus Land Monitoring Service



Sección 1: Preprocesamiento de las series temporales ópticas

Preprocesamiento de datos ópticos

La cadena de preprocesamiento incluye todos los pasos necesarios para generar productos de reflectancia de superficie sin nubes, tomando como entrada los datos de la parte superior de la atmósfera. Para cada uno de los módulos de la cadena de preprocesamiento se pueden aplicar diferentes métodos y algoritmos.

- Detección y eliminación de nubes
- Corrección atmosférica
- Reproyección
- Remuestreo
- Co-registro



Extracción de la reflectancia de la superficie

Para el análisis posterior queremos utilizar un producto de reflectancia superficial.

- 1) Permite la comparación entre imágenes
- 2) Permite la repetición de las mediciones (por ejemplo, la comparación del espectro terrestre con las observaciones por satélite)
- 3) Representa una unidad física conocida.

Para extraer la reflectancia de la superficie tenemos que "añadir" el componente "perdido" en la atmósfera.

Refl a nivel del Sensor = Refl a nivel de la superficie + Refl a nivel de la atmosfera

¿Qué hay en la atmósfera?

Aerosoles

Por ejemplo, polvo fino, sal marina, gotas de agua, humo, polen, esporas, bacterias.

Tiene un efecto significativo en las longitudes de onda visibles (azul, verde y rojo).

Profundidad óptica de los aerosoles (Aerosol Optical Depth, AOD)

Espesor óptico de los aerosoles (Aerosol Optical Thickness, AOT)

Vapor de agua

En particular, afecta a las bandas SWIR



Reprojection, resampling and co-registration

Reproyección

Si la entrada de las series temporales procede de varias fuentes con diferentes SIR, es necesario re proyectarlas a un SIR común.

Remuestreo

Los datos procedentes de distintas fuentes pueden tener una resolución espacial diferente, por lo que en este caso, antes de analizar las series temporales, es necesario realizar un remuestreo.

Vecino Más Cercano (Nearest Neighbour):

- Pros: Muy sencillo y rápido; no se calculan nuevos valores por interpolación
- Contras: Algunos píxeles se pierden y otros se duplican; Pérdida de nitidez.

Interpolación bilineal:

- Pros: Los extremos están equilibrados; La imagen pierde nitidez en comparación con el Vecino Más Cercano
- Contras: Menos contraste comparado con el vecino más cercano; Se calculan nuevos valores que no están presentes en el producto de entrada

Convolución cúbica:

- Pros: Los extremos están equilibrados; La imagen es más nítida en comparación con la interpolación bilineal
- Contras: es más lenta y tiene menos contraste que el Vecino Más Cercano; se calculan nuevos valores que no están presentes en el producto de entrada

Co-registro

Para maximizar la precisión de la geolocalización en el análisis de series temporales, incluso si los datos de entrada proceden del mismo satélite/constelación, es necesario el corregistro, especialmente si se trabaja con datos VHR y HR.

-> Un desplazamiento de un píxel puede afectar drásticamente a los resultados.



Por qué usar series temporales?

- Se define como un conjunto de imágenes satelitales, adquiridas sobre la misma zona pero en momentos distintos. Compuesta por imágenes de distintos satélites (serie de datos más numerosa y densa)
- Las series temporales de imágenes satelitales ofrecen oportunidades para :
 - entender de qué manera la Tierra cambia,
 - determinar las causas de dichos cambios
 - predecir la evolución de dichos cambios.
- Los datos de teledetección, combinados con información de modelos de ecosistemas, permiten predecir y entender el comportamiento de los ecosistemas terrestres.
- La información temporal integrada con información espectral y espacial permite identificar patrones complejos que son útiles para distintas aplicaciones ligadas al monitoreo ambiental y al análisis de las dinámicas de la cobertura terrestre.

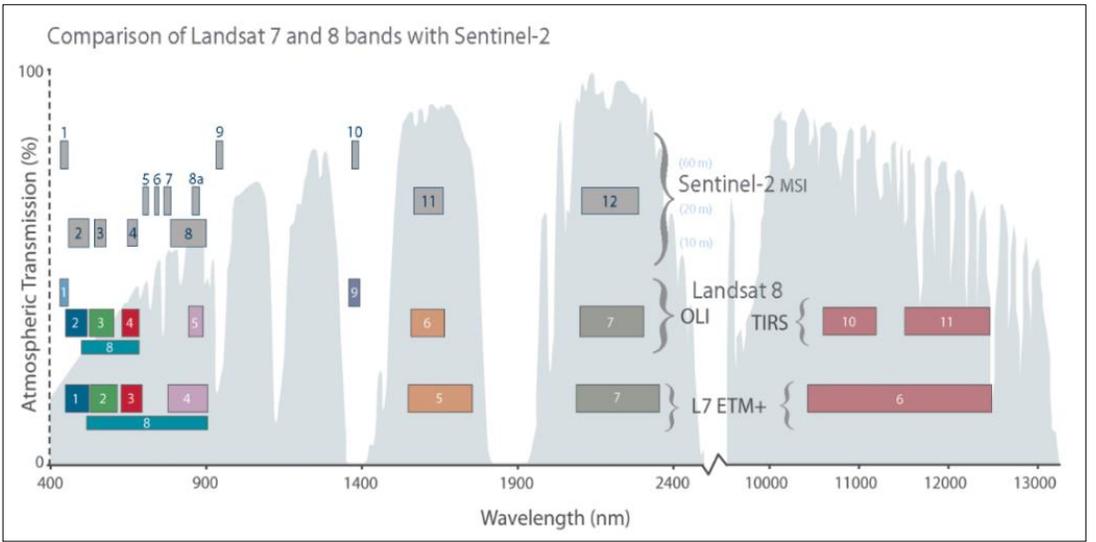
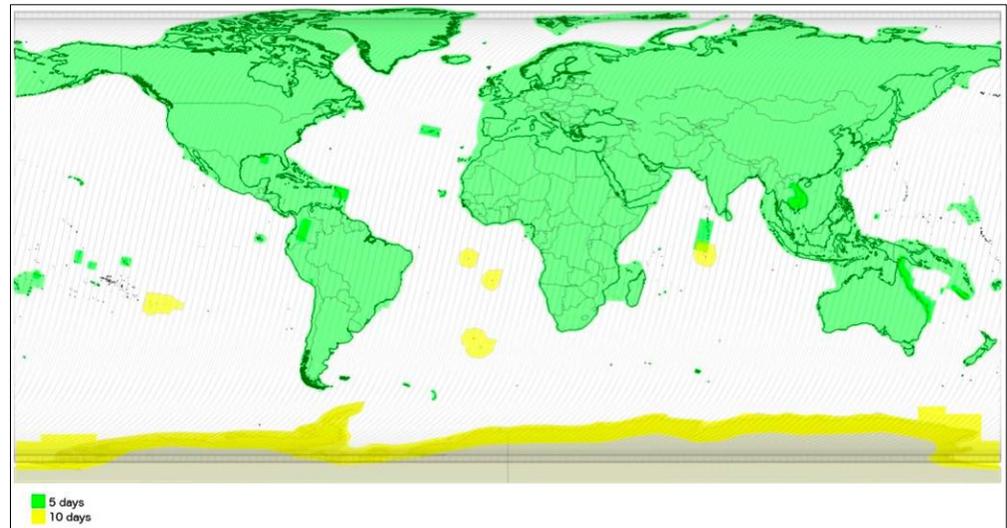
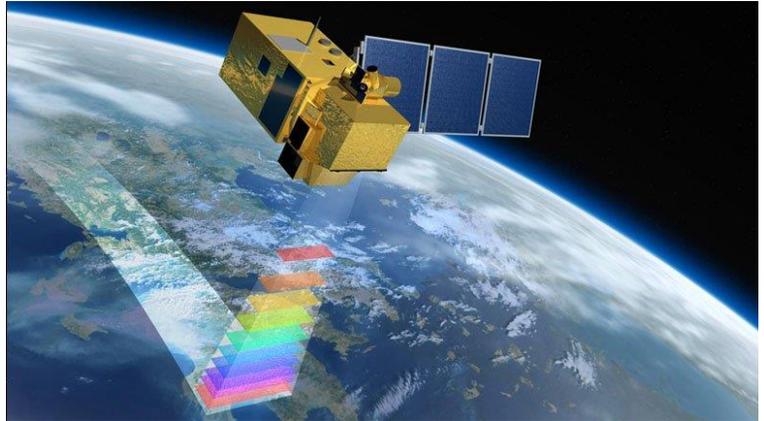


Características de Sentinel-2

Misión óptica para el monitoreo de regiones terrestres y costeras

Características principales:

- Constelación de dos satélites (Sentinel-2A y Sentinel-2B)
- Sensor Multiespectral
- Órbita polar heliosincrónica, 786km de altitud, hora local en el nodo descendente 10h30
- Ciclo de repetición de 10 días (5 días con los dos satélites Sentinel 2A y 2B operativos)
- Ancho de barrido de 290km





Productos de Sentinel-2

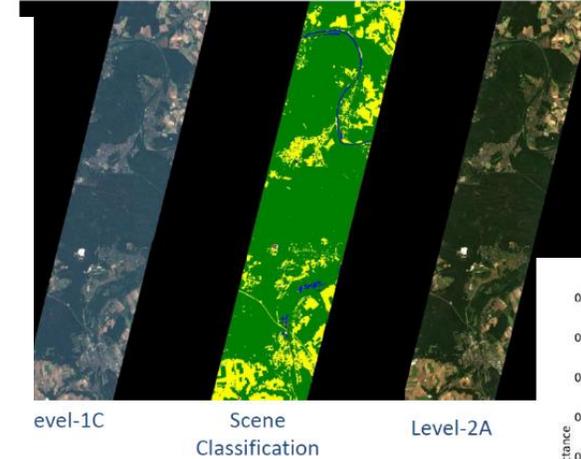
Los productos de Sentinel-2 disponibles para los usuarios (generados por el Segmento Terrestre o por SNAP) son:

Nivel-1C

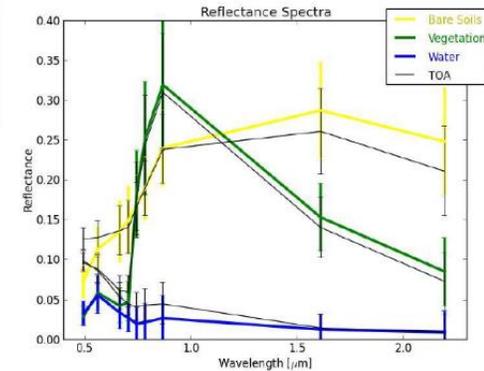
- Reflectancia en el Techo de la Atmósfera (TOA) en geometría cartográfica
- Generación sistemática de los productos, distribución online
- ~600MB (cada 100km x 100km)

Nivel-2A

- Reflectancia en la parte baja de la Atmósfera (BOA), geometría cartográfica
- Generación sistemática y por parte de los usuarios (via SNAP)
- ~600MB (cada 100km x 100km)



Site: Fontainebleau, France



Los productos son una compilación de gránulos de tamaño fijo, adquiridos a lo largo de una única órbita. Un gránulo es la unidad mínima e indivisible del producto, y contiene todas las bandas espectrales posibles.

Para el Nivel-1C y Nivel-2A, los gránulos son orto-imágenes de 100x100 km² proyectadas en UTM/WGS84



Resumen de los datos de Sentinel-2 de Nivel- 2A

Sen2Cor es el procesador de Corrección Atmosférica usado por Segmento Terrestre de Datos de Carga Útil de la ESA para generar datos de Sentinel-2 a Nivel-2A, y es accesible via STEP para usarse como plug-in en SNAP o a través de la línea de comando.

- ✓ Reflectancia en la parte baja de la Atmósfera (BOA) en geometría cartográfica (UTM/WGS84)
- ✓ Los productos incluyen además:
 - Mapa de clasificación de la escena
 - Mapa del vapor de agua
 - Mapa del espesor óptico de los aerosoles.
- ✓ El algoritmo incluye:
 - Detección de nubes y de la sombra de las nubes
 - Detección y corrección de nubes Cirrus
 - Corrección de la influencia de las pendientes
 - Corrección del efecto BRDF

Aparte de Sen2Cor, la corrección atmosférica de los datos de Sentinel-2 se puede efectuar con otros procesadores, según la aplicación que nos interese:

MAJA (desarrollado de manera conjunta por CESBIO/CNES y DLR)

LaSRC (desarrollado por NASA GSFC/USA)

i-COR (desarrollado por VITO)

CorA (desarrollado por Brockmann Consult), *etc*



Resumen de los datos de Sentinel-2 de Nivel- 2A

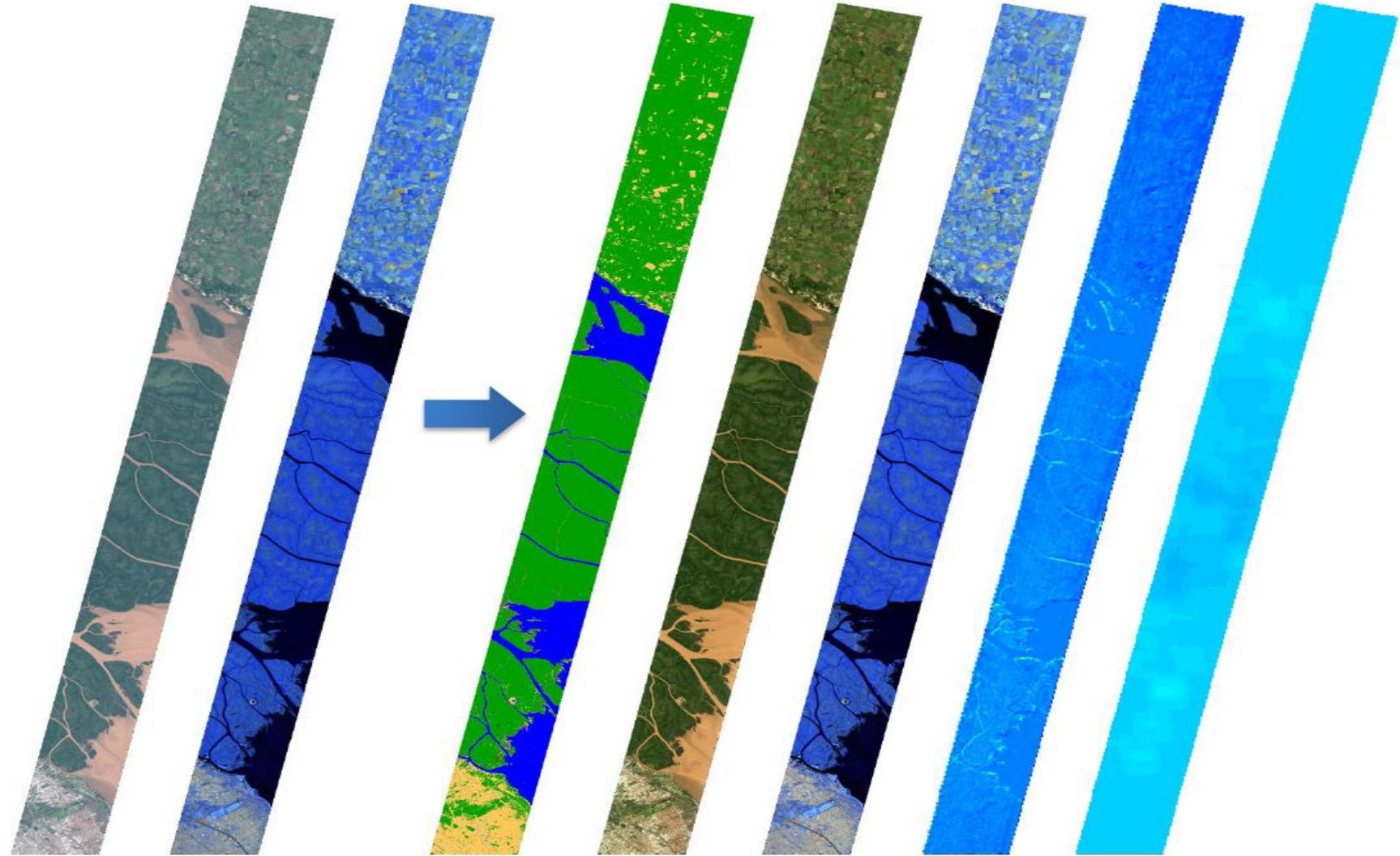
De izquierda a derecha:

Nivel-1C [TOA]

- [RGB] B4-B3-B2
- [RGB] B12-B11-B8a

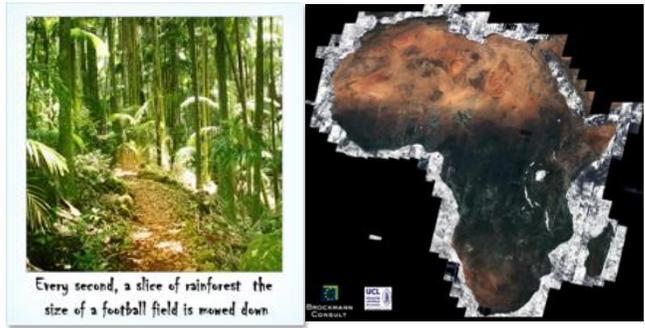
Nivel-2A [BOA]

- Mapa de clasificación de la esceler
- [RGB] B4-B3-B2
- [RGB] B12-B11-B8a
- Vapor de Agua
- Espesor Óptico de los Aerosoles

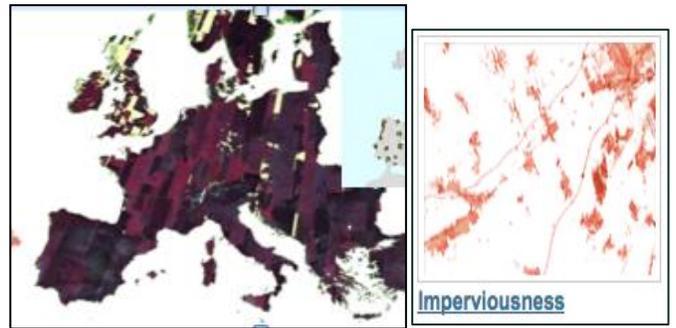




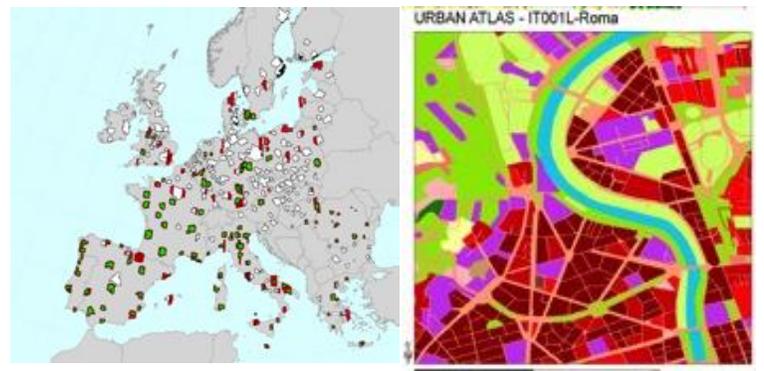
Aplicaciones de Sentinel-2



Agricultura, Bosques & Carbón, Monitoreo de Vegetación



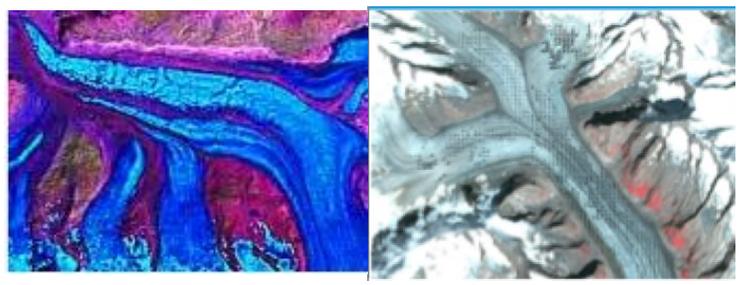
Clasificación de Cubierta Terrestre, capas a alta resolución y detección de cambios



Aplicaciones a nivel regional y en zonas urbanas



Gestión de Emergencias



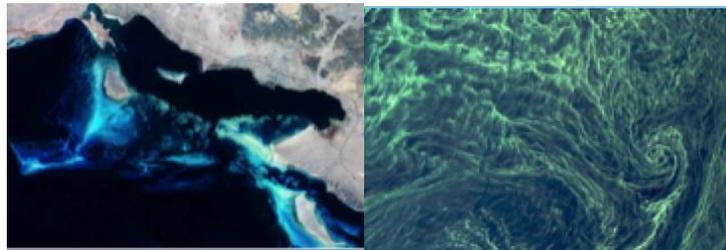
Glaciares & Capas de Hielo



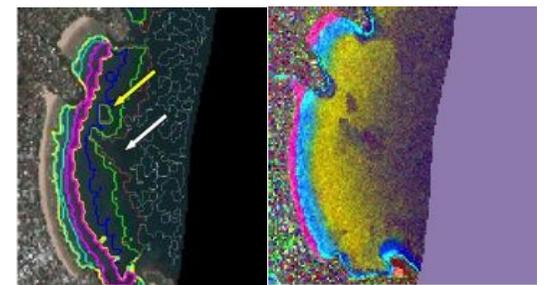
Uso Global de los suelos & detección de cambios



Geología

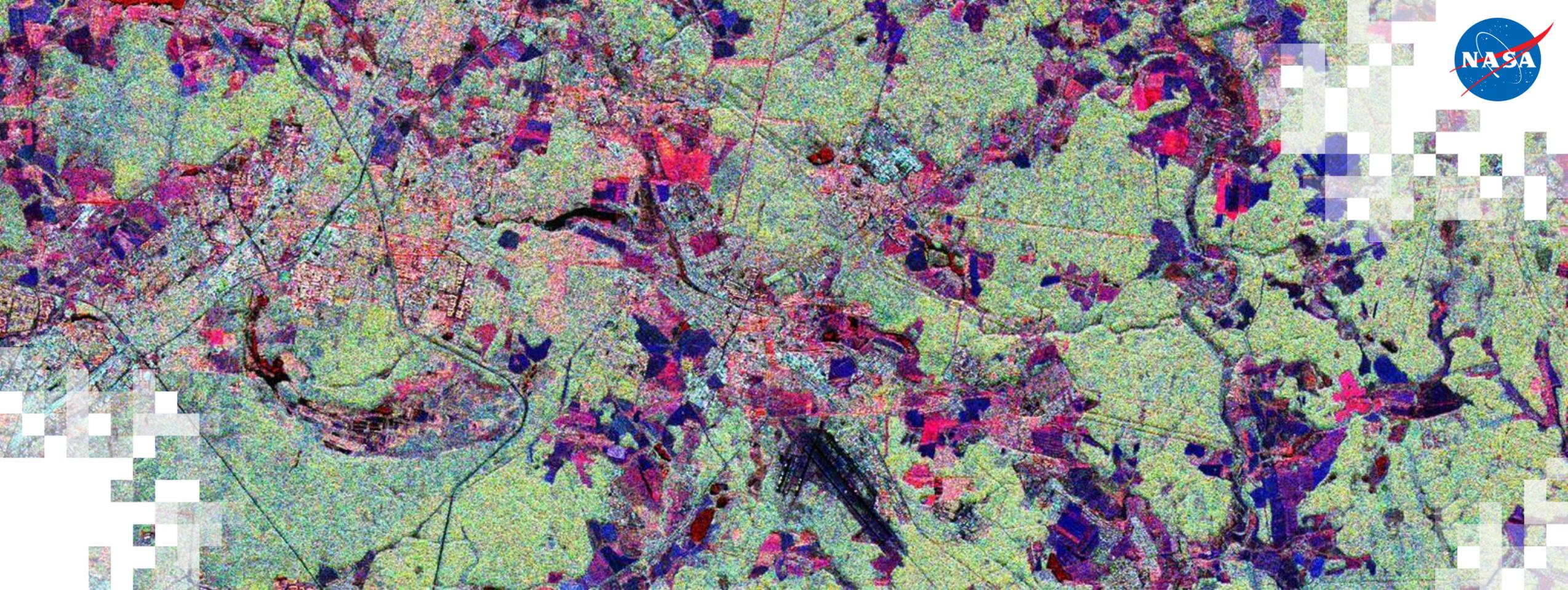


Calidad del Agua



Zonas Costeras / batimetría





Sección 2: Recuperación de series temporales de LAI específicas de cultivos a partir de Sentinel-2 utilizando la caja de herramientas SNAP

Índices Radiométricos

Los índices radiométricos son medidas cuantitativas que se obtienen directamente con datos de teledetección, gracias a la combinación de las mediciones tomadas en varias de las bandas espectrales.

Vegetation indices

DVI, RVI, PVI

NDVI, WDV, TNDVI, GNDVI

SAVI, TSAVI, MSAVI, MSAVI2

GEMI

ARVI

NDI45

MTCI, MCARI, PSSRa

S2REP, REIP, IRECI

Soil indices

BI

BI2

RI

GEMI

Water indices

NDWI

NDWI2

MNDWI

NDPI

NDTI



Variables Biofísicas (1/2)

Otras variables (como el índice de superficie foliar, la fracción de cubierta vegetal y la fracción de radiación absorbida por la fotosíntesis) cuantifican respectivamente la densidad, extensión y salud de la vegetación.

Son útiles en un gran rango de temáticas: monitoreo global de cultivos, seguridad alimentaria, gestión de recursos naturales, bosques, y agua, modelos de carbón terrestre, previsiones meteorológicas y climáticas.

- **Índice de superficie foliar (LAI - Leaf Area Index)**: Cantidad de área cubierta por elementos verdes de la canopia, por unidad de área de superficie horizontal de tierra. El valor derivado del satélite corresponde al valor total de todas las capas de la canopia, incluyendo las capas inferiores, cuya contribución es especialmente significativa en el caso de bosques. El LAI cuantifica el espesor de la cubierta vegetal.

- **Fracción de radiación fotosintéticamente activa interceptada por la vegetación (FAPAR - Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation)**

FAPAR cuantifica la fracción de la radiación solar absorbida por las hojas vivas debido a la actividad fotosintética. Se refiere solo a los elementos verdes y vivos de la canopia. Depende de la estructura de la canopia, y de las propiedades ópticas del vegetal, así como de las condiciones atmosféricas y la configuración angular.



Variables Biofísicas (2/2)

- **Fracción de Cubierta Vegetal (FCover - Fraction of Vegetation Cover)**

FCover corresponde a la fracción de la superficie cubierta por vegetación verde. Cuantifica la extensión espacial de la vegetación. Dado que es independiente de la dirección de la iluminación y que es sensible a la cantidad de vegetación, FCover es un buen candidato a la hora de reemplazar los índices de vegetación clásicos usados en el monitoreo de ecosistemas.

- **Contenido de Clorofila en la hoja (Cab - Chlorophyll content in the leaf)**

El contenido de clorofila es un muy buen indicador de los factores estresantes, incluyendo deficiencias de nitrógeno. Está fuertemente relacionado con el contenido de nitrógeno a nivel de la hoja (Houlès et al. 2001). Dicha cantidad puede ser calculada ya sea a nivel de la hoja como a nivel de la canopia, multiplicando el nivel de contenido de clorofila de la hoja por el índice de superficie foliar.

- **Contenido en Agua de la Canopia (CWC - Canopy Water Content)**

CWC se define como la masa de agua por unidad de área terrestre ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$). Una de las dificultades a la hora de extraer esta variable es la posible confusión con la influencia de la humedad del suelo.



Variables Biofísicas de Interés para la Agricultura



Crop processes	LAI	FAPAR	FCOVER	Albedo	Chlorophyll	Water-content	SLA	soil brightness	Temperature
Photosynthesis	+++	+++			+++		++		
Evapotranspiration	++	+++	+++	++		++			+++
Respiration	++								
Nitrogen	+++				+++				
Phenology	+++	++	++						
Lodging									
Impact of pests	+++								
Soil permanent charac.								+++	
Residues									

'Concepts and methods for LAI/fCover/fAPAR/Chlorophyll retrieval' – Marie Weiss [INRA]



SNAP

SeNtinel
Applications
Platform

Done loading modules.



Introducción al procesamiento de datos con SNAP

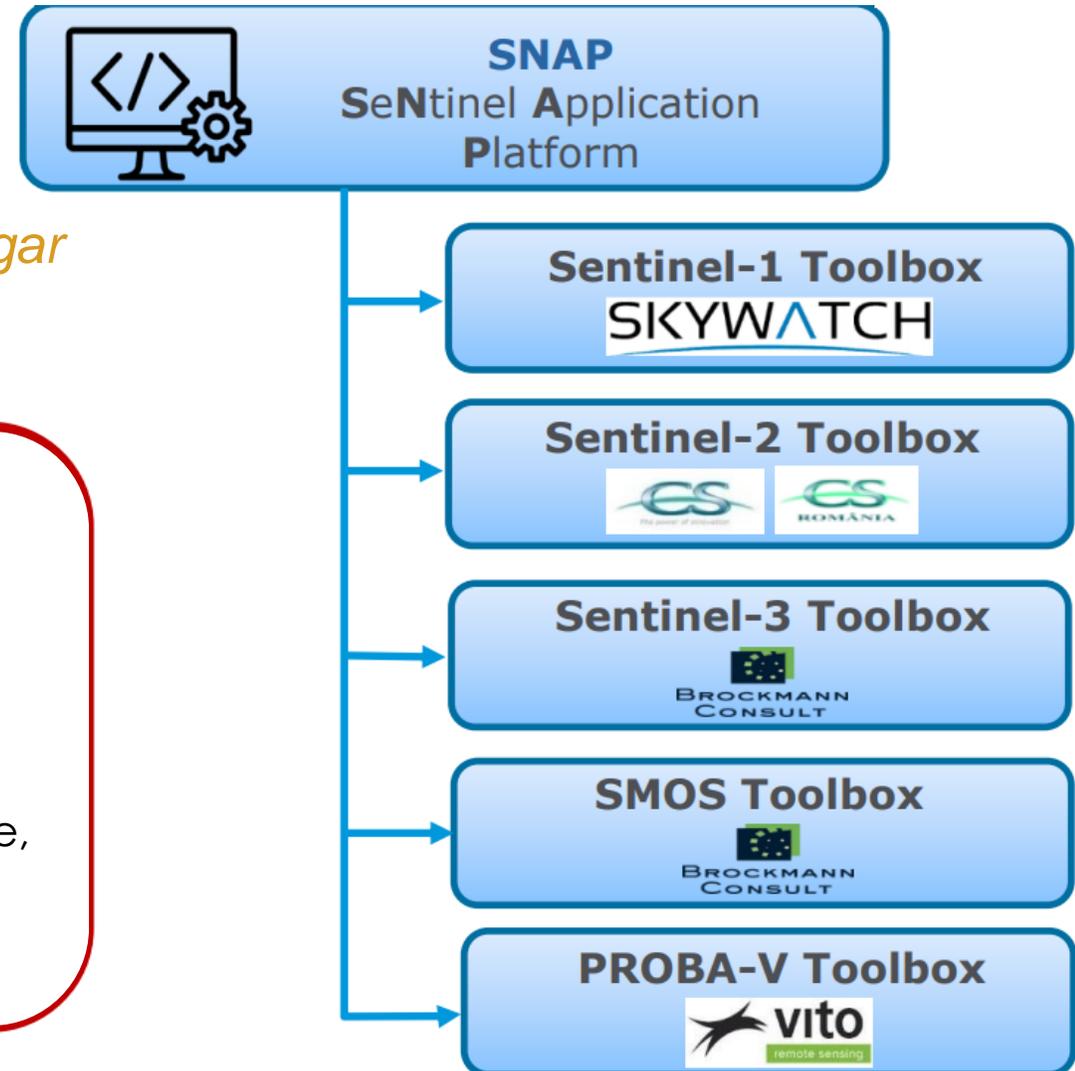


SNAP – SeNtinel Application Platform

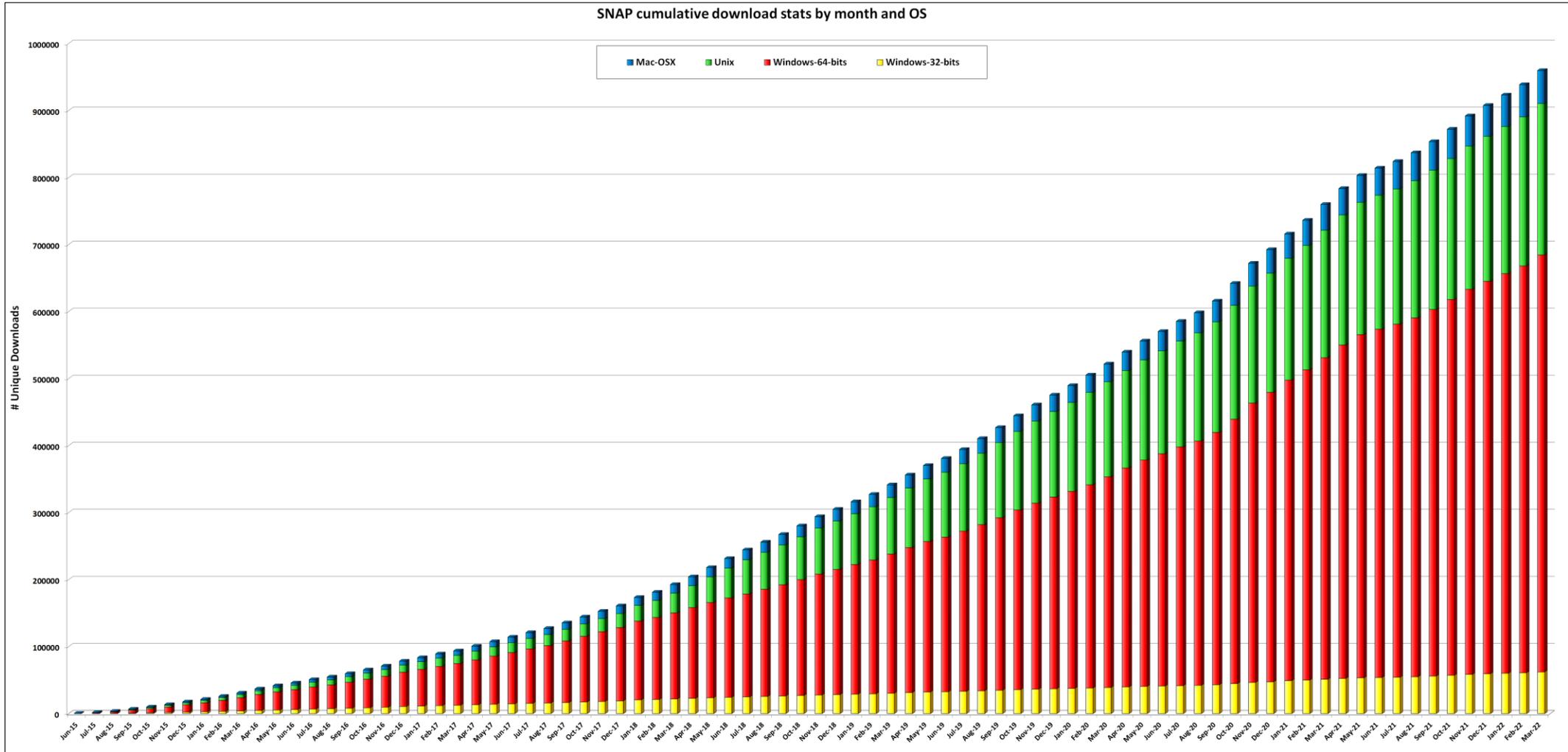


Disponible para descargar
en
step.esa.int

- ✓ Software gratuito y disponible libremente
- ✓ Basado en Java como marco de desarrollo
- ✓ Desarrollo conjunto de la plataforma SNAP para Sentinelas y otras toolboxes
- ✓ Plugins intercambiables Java/Python
- ✓ Portabilidad e infraestructura en la nube
- ✓ Fácil de usar: instalación única, interfaz intuitiva, soporte online, tutoriales, foro de usuarios muy activo



SNAP – SentiNel Application Platform



Recientemente se superaron las 96 000 descargas de SNAP, contadas desde Junio de 2015.

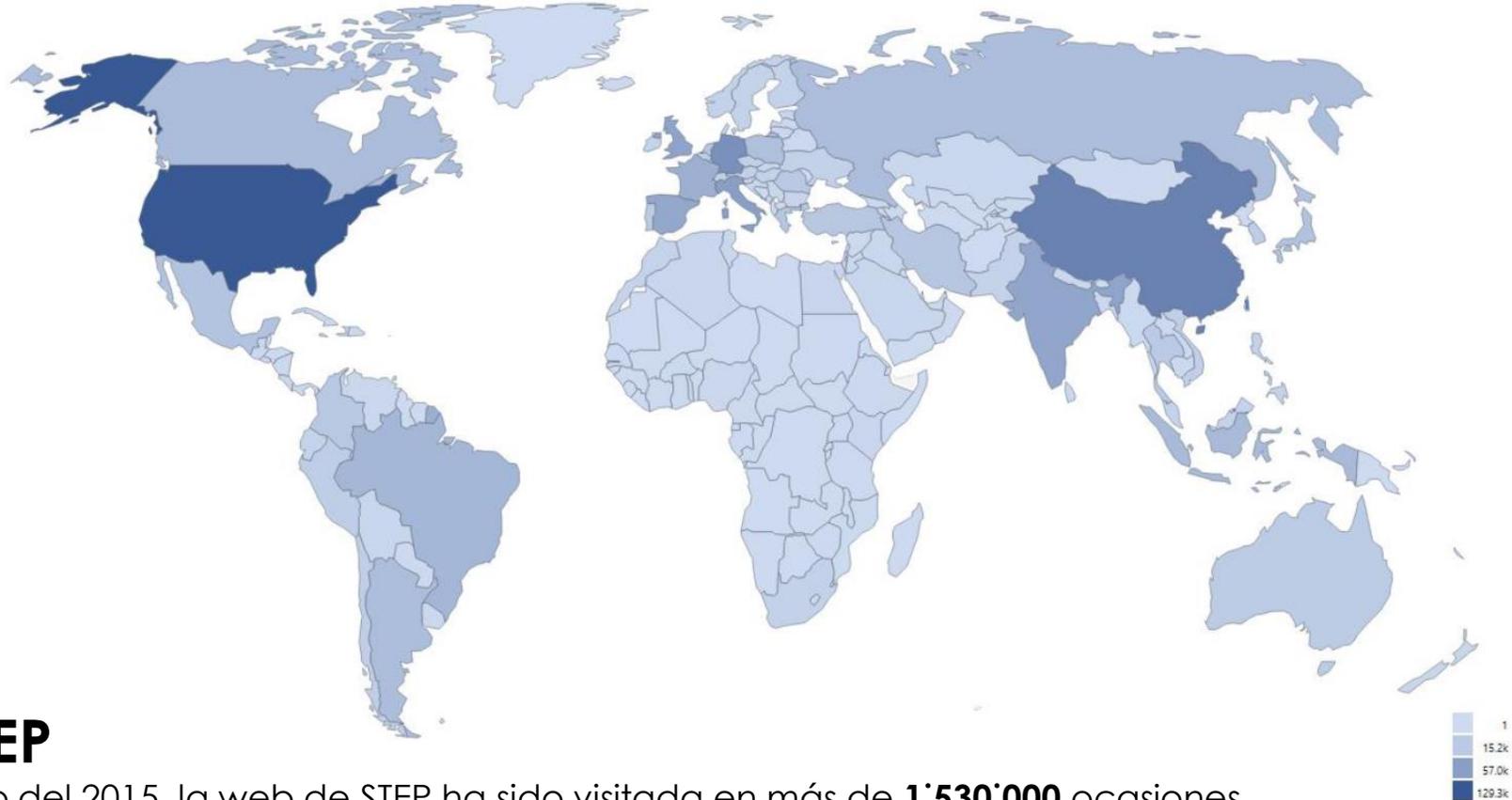


STEP – Scientific Toolbox Exploitation Platform



STEP es la plataforma comunitaria de la ESA que permite acceder al software y a su documentación, comunicarse con otros desarrolladores, usuarios expertos, la comunidad científica, así como promover resultados y logros, y promover tutoriales y materiales educativos para científicos que usen sus Toolboxes.

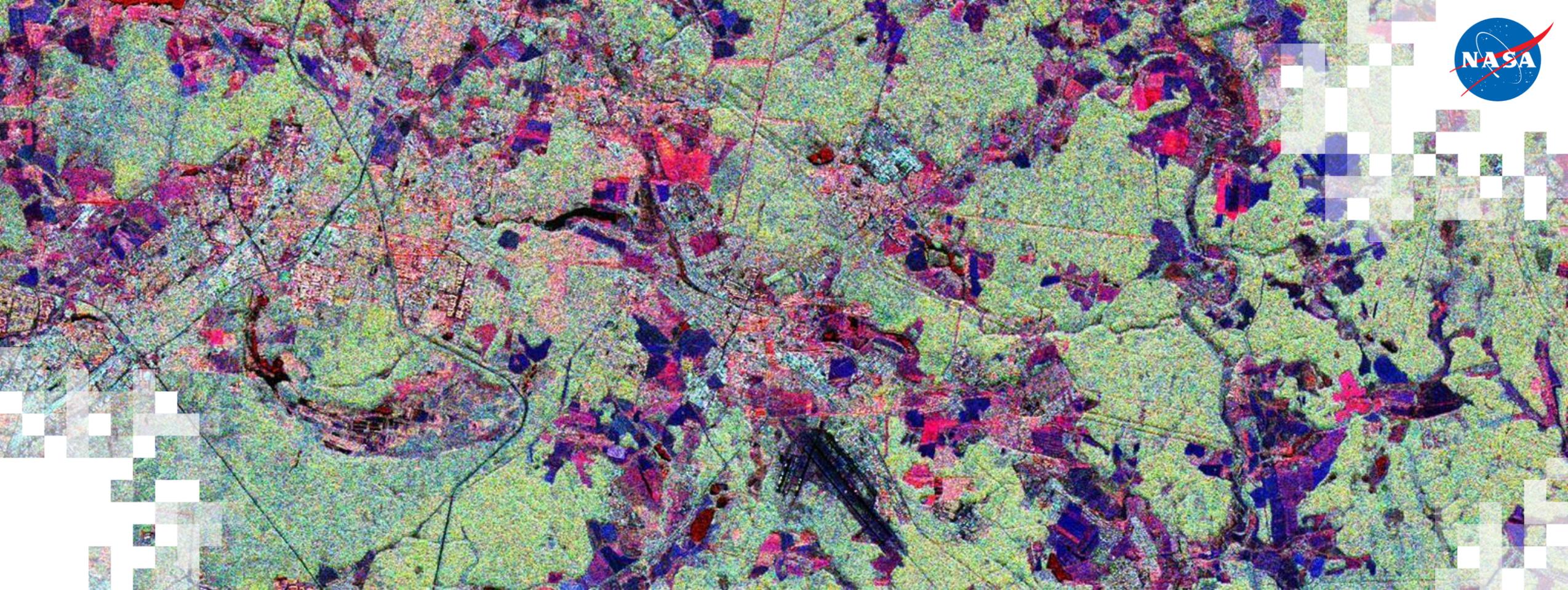
1.2m visits



Foro de STEP

- ✓ Desde Junio del 2015, la web de STEP ha sido visitada en más de **1'530'000** ocasiones
- ✓ **Se han creado 11'432** temas de discusión, con un total de **78'794** posts desde 15/06/2015





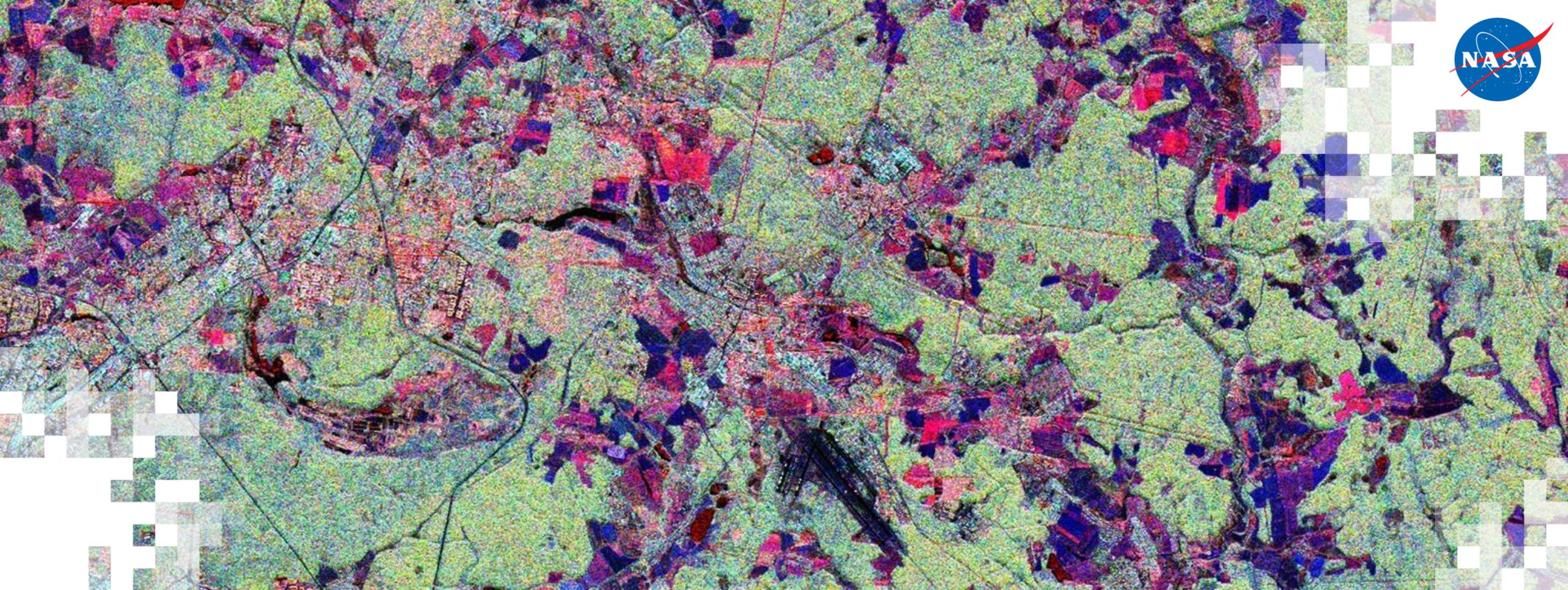
Sección 3: Análisis de series temporales de LAI específicas para cultivos para la supervisión del crecimiento (Jupyter Notebook)

- Control de calidad de las series temporales del LAI mediante QGIS
- Análisis de series temporales de LAI específicas para cada cultivo
- Evaluación de la heterogeneidad inter e intraparcelsaria para todos los campos de maíz

Mas información

- Descarga de SNAP <http://step.esa.int/main/download/snap-download/>
- Web de STEP <http://step.esa.int/main/>
- Foro de los usuarios de SNAP <https://forum.step.esa.int/>
- Copernicus Open Access Hub (descarga de datos de Sentinel) <https://scihub.copernicus.eu/>
- NASA ARSET Clasificación de Cultivos Agrícolas con Radar de Apertura Sintética y Teledetección Óptica, Sesión 5: Obtención de Variables Biofísicas Usando Imágenes Ópticas para Apoyar Prácticas de Monitoreo Agrícola <https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/spanish/arset-clasificacion-de-cultivos-agricolas-con-radar-de-apertura>
- 'Advanced training course on Land remote sensing with the focus on Agriculture' que tuvo lugar en Louvain-la-Neuve, Belgica, del 16-20 September 2019
<https://eo4society.esa.int/resources/advanced-training-course-on-land-remote-sensing-with-the-focus-on-agriculture/>





Sección 4: Preguntas y respuestas

Introduzca sus preguntas en el cuadro de preguntas y respuestas.

Las responderemos en el orden en que se hayan recibido.

Publicaremos las preguntas y respuestas en el sitio web de formación una vez concluido el seminario web.

Contactos

- Instructores:
 - Fabrizio Ramoino fabrizio.ramoino@esa.int
 - Pr. Pierre Defourny pierre.defourny@uclouvain.be
 - Amalia Castro Gómez Amalia.castro.Gomez@esa.int (para consultas en Español)
- Web del curso: https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/english/arset-mapping-crops-and-their-biophysical-characteristics?utm_source=announcement&utm_medium=email&utm_campaign=CropMapping-II-22
- Web de la ESA (EO4Society): <https://eo4society.esa.int/training-education/>
- Twitter: [@EOOpenScience](https://twitter.com/EOOpenScience)





Gracias!

