

Ndvi2Gif: Análisis multi-estacional mediante Google Earth Engine

García Díaz, Diego ¹

¹ Estacion Biologica de Doñana, España

ORCID: [García Díaz 0000-0002-2757-7112](https://orcid.org/0000-0002-2757-7112)

Correspondencia: diegogarcia@ebd.csic.es

RESUMEN


Google Earth Engine (GEE) es una plataforma de computación en la nube para análisis geoespacial a escala planetaria. Sin embargo, la generación de composites multi-temporales requiere código extenso para filtrado, enmascaramiento de nubes, escalado a reflectividad y agregación temporal. Ndvi2Gif es un paquete Python de código abierto construido sobre GEE y geemap que simplifica enormemente estos flujos de trabajo. El concepto central es la creación de composites estadísticos multi-estacionales mediante organización temporal jerárquica basada en bandas: cada imagen anual contiene bandas temporales que almacenan, para cada píxel, el estadístico seleccionado del índice elegido, calculado sobre todas las imágenes disponibles en ese sub-periodo (estacional, mensual, quincenal, semanal o cualquier división personalizada del año). El paquete proporciona acceso unificado a 7 plataformas satelitales (Sentinel-1/2/3, Landsat 4-9, MODIS) y datos de reanálisis climático (ERA5-Land, CHIRPS), con 52 índices espectrales y radar predefinidos más 48 variables climáticas. Incluye procesamiento ARD de Sentinel-1 con corrección radiométrica del terreno, análisis de series temporales con detección de tendencias y métricas fenológicas, así como clasificación mediante aprendizaje automático.

Palabras clave: *Python, Google Earth Engine, Geemap, Automatización, Series Temporales*

Fecha de recepción: 13 diciembre 2025 · Fecha de aceptación: 5 febrero 2026

Ndvi2Gif: Análisis multi-estacional mediante Google Earth Engine

Diego García Díaz ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Estación Biológica de Doñana (CSIC),  0000-0002-2757-7112, diegogarcia@ebd.csic.es.

Resumen: Google Earth Engine (GEE) es una plataforma de computación en la nube para análisis geoespacial a escala planetaria. Sin embargo, la generación de composites multi-temporales requiere código extenso para filtrado, enmascaramiento de nubes, escalado a reflectividad y agregación temporal. Ndvi2Gif es un paquete Python de código abierto construido sobre GEE y geemap que simplifica enormemente estos flujos de trabajo. El concepto central es la creación de composites estadísticos multi-estacionales mediante organización temporal jerárquica basada en bandas: cada imagen anual contiene bandas temporales que almacenan, para cada píxel, el estadístico seleccionado del índice elegido, calculado sobre todas las imágenes disponibles en ese sub-periodo (estacional, mensual, quincenal, semanal o cualquier división personalizada del año). El paquete proporciona acceso unificado a 7 plataformas satelitales (Sentinel-1/2/3, Landsat 4-9, MODIS) y datos de reanálisis climático (ERA5-Land, CHIRPS), con 52 índices espectrales y radar predefinidos más 48 variables climáticas. Incluye procesamiento ARD de Sentinel-1 con corrección radiométrica del terreno, análisis de series temporales con detección de tendencias y métricas fenológicas, así como clasificación mediante aprendizaje automático.

Palabras clave: Google Earth Engine, índices estacionales, series temporales, fenología, Python.

Ndvi2Gif: Multi-Seasonal Remote Sensing Analysis via Google Earth Engine

Abstract: Google Earth Engine (GEE) is a cloud computing platform for planetary-scale geospatial analysis. However, generating multi-temporal composites requires extensive code for filtering, cloud masking, reflectance scaling, and temporal aggregation. Ndvi2Gif is an open-source Python package built on GEE and geemap that greatly simplifies these workflows. The core concept is the creation of multi-seasonal statistical composites through hierarchical band-based temporal organization: each annual image contains temporal bands that store, for each pixel, the selected statistic of the chosen index, computed over all available images within that sub-period (seasonal, monthly, bi-weekly, weekly, or any custom year division). The package provides unified access to 7 satellite platforms (Sentinel-1/2/3, Landsat 4-9, MODIS) and climate reanalysis data (ERA5-Land, CHIRPS), with 52 predefined spectral and radar indices plus 48 climate variables. It includes Sentinel-1 ARD processing with radiometric terrain correction, time series analysis with trend detection and phenology metrics, as well as machine learning classification.

Keywords: Google Earth Engine, seasonal indexes, time series, phenology, Python

1. INTRODUCCIÓN

El análisis multi-temporal de datos de teledetección es fundamental para el seguimiento de ecosistemas, la monitorización agrícola y la evaluación de cambios ambientales. *Google Earth Engine* (GEE) ha revolucionado este campo al proporcionar acceso gratuito a *petabytes* de datos satelitales y capacidad de procesamiento en la nube (Gorelick *et al.*, 2017). Sin embargo, la generación de composites multi-temporales en GEE requiere código extenso que incluye filtrado de colecciones, enmascaramiento de nubes, escalado a reflectividad y agregación temporal. Algunos paquetes de Python han extendido GEE para simplificar estos flujos de trabajo: *eemont* (Montero, 2021) proporciona preprocesamiento y cálculo de índices espectrales,

mientras que *wxee* (Zuspan, 2021) permite agregación temporal y exportación a *xarray*. Sin embargo, Ndvi2Gif adopta una estrategia de organización temporal diferente. Mientras *eemont* mantiene la estructura temporal nativa de los objetos *ee.ImageCollection* y *wxee* agrega series temporales en pasos secuenciales (por ejemplo, 480 compuestos mensuales para 40 años), Ndvi2Gif implementa una aproximación jerárquica basada en bandas donde cada imagen representa una unidad temporal con bandas codificando sub-periodos (por ejemplo, 40 imágenes/años con 12, 24 o 52 bandas cada una para compuestos mensuales, quincenales o semanales) al tiempo que mantiene la estructura de una colección de imágenes (*ee.ImageCollection*), lo que permite a su vez, seguir aplicando reductores para obtener un segundo nivel de simplificación estadística.

Sobre esta estructura se integran además tres módulos para análisis de series temporales, extracción de métricas fenológicas y clasificación mediante aprendizaje automático, conformando un flujo de trabajo completo dentro del mismo paquete.

Esta decisión arquitectónica surgió para abordar preguntas de investigación específicas en monitorización ecológica que requieren comparaciones multi-temporales directas a través de ventanas estacionales fijas. Esta organización basada en bandas permite consultas tales como: "¿Cuál es el percentil 95 del índice de cianobacterias (NDCI) en los embalses andaluces en los meses de agosto de los últimos 10 años?", lo cual se puede obtener simplemente con la ejecución de `collection.select('august').mean()`, o "¿En qué semana del año alcanza su máximo la clorofila (índice OCI) en lagos europeos?" mediante `collection.max().bandNames()` en lugar de requerir operaciones de filtrado temporal, agrupación y reducción sobre cientos de imágenes separadas. En la figura 1 se muestra un ejemplo que compara la mediana del percentil 85 del índice FAI (*Floating Algae Index*) de todos los píxeles de Landsat en el embalse de Valdecañas para dos periodos, uno anterior (2000-2005) a la construcción del complejo urbanístico y otro reciente (2020-2025) con el complejo ya construido y habitado. Este tipo de análisis es el que Ndvi2Gif permite hacer de manera muy ágil, con el añadido de que es aplicable, al estar montado sobre *Google Earth Engine*, a cualquier lugar del planeta y de que replicarlo cambiando de índice, estadístico o *dataset* es tan sencillo como cambiar una sola palabra a la hora de ejecutar la herramienta.

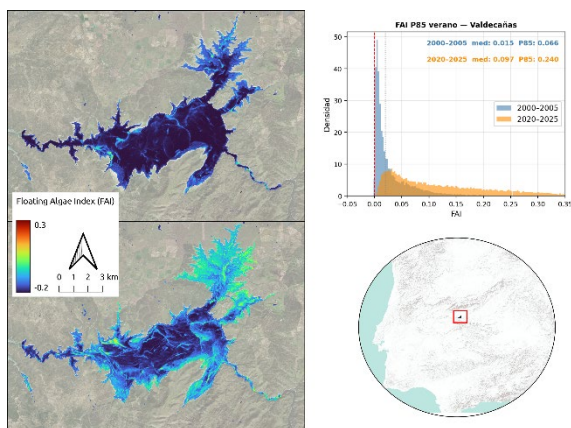


Figura 1. Comparativa de la Mediana del percentil 85 para los meses de verano en el embalse de Valdecañas entre los periodos 2000/05 y 2020/25.

El objetivo de este trabajo no es presentar un caso de aplicación específico de la herramienta, sino mostrar las capacidades y herramientas de la librería, con el fin de demostrar cómo Ndvi2Gif es capaz de simplificar enormemente el análisis multi-temporal de datos de teledetección.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Arquitectura del software

Ndvi2Gif está construido sobre la API de Python de GEE y *Geemap* (Wu, 2020), heredando de este último las capacidades de visualización interactiva. El módulo principal `ndvi2gif` se engloba en torno a la clase *NdviSeasonality*, que encapsula todo el flujo de trabajo: selección de sensor y región de interés, filtrado temporal, enmascaramiento de nubes, escalado a reflectividad (Landsat collection 2) y agregación estadística.

El método `get_year_composite` devuelve una *ee.ImageCollection* donde cada imagen representa un año con bandas nombradas según el periodo temporal (por ejemplo, `periods=12` genera bandas *january, february, march, april, ... december*; `periods=4` genera como bandas *winter, spring, summer, autumn*). Los estadísticos de agregación disponibles incluyen máximo, media, mediana, suma, mínimo y percentiles configurables, permitiendo adaptarse a diferentes aplicaciones: máximo para detección de picos de vegetación, mediana para robustez frente a nubes residuales, o percentiles específicos para análisis de sequía. Además se cuenta con un método `get_stats` que permite extraer estadísticas zonales directamente sobre polígonos sin necesidad de procesamiento SIG externo. El flujo de trabajo completo y capacidades de la librería se muestra en la Figura 2.

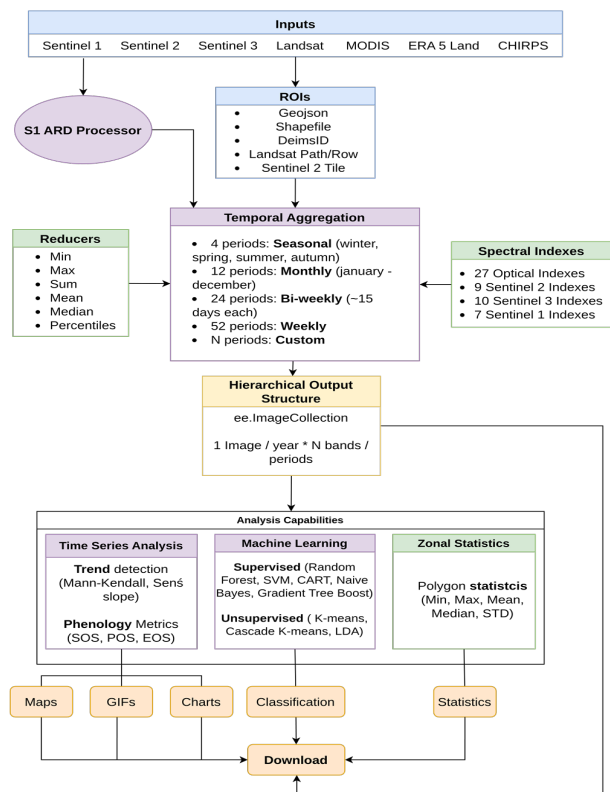


Figura 2. Esquema de la librería Ndvi2Gif. En azul datos de entrada, en verde procesos, en morado módulos principales y en naranja productos disponibles para descarga.

2.1.1. Datasets e Inputs soportados

El paquete proporciona acceso unificado a múltiples plataformas satelitales (tabla 1) y a dos *datasets* de reanálisis climático: Sentinel-2, Sentinel-3, Landsat 4-9, MODIS, Sentinel-1 GRD, ERA5-Land y CHIRPS. Actualmente hay predefinidos 52 índices y 48 variables climáticas. Respecto al nivel de procesado de los mismos, todos los sensores ópticos (Sentinel 2, MODIS y Landsat) se utilizan a nivel de reflectividad en superficie (SR), a excepción de Sentinel-3 OLCI, que proporciona radiancia en el techo de la atmósfera (TOA). Sentinel-1 trabaja en retrodispersión SAR (GRD). Los modelos de reanálisis climático ERA5-Land (ECMWF, ~11 km, desde 1950) y CHIRPS (~5,5 km, desde 1981) se incorporan como variables de contexto ambiental, permitiendo combinar en un mismo flujo de trabajo índices de teledetección con variables climáticas como temperatura, humedad del suelo o precipitación.

Tabla 1. Datasets soportados

Dataset	Resolución espacial	Año de inicio
Sentinel 1	10 m	2014
Sentinel 2	10-20 m	2017
Sentinel 3 OLCI	300 m	2016
MODIS	500 m	2000
Landsat 4-9	30 m	1984
ERA 5 Land	11 km	1950
CHIRPS	5.5 km	1981

Respecto a las regiones de interés (ROI) admitidas, Ndvi2Gif soporta múltiples formatos de ROI: geometrías nativas de GEE (ee.Geometry), *shapefiles* y *GeoJSON* locales, dibujo interactivo sobre el mapa, identificadores de sitios eLTER de DEIMS-SDR ('deimsid:'), códigos de teselas Sentinel-2 MGRS ('s2:') y códigos path-row de Landsat WRS ('wrs:').

2.2 Módulos especializados

Junto al módulo principal, se han elaborado otros tres módulos que añaden funcionalidades para trabajar de forma más precisa con datos radar, hacer análisis de series temporales (tendencias y fenología) y realizar clasificaciones basadas en los compuestos estacionales generados.

2.2.1. S1ARDProcessor implementa un *pipeline* completo de datos Analysis Ready Data (ARD) para Sentinel-1 basado en Vollrath *et al.* (2020). Incluye corrección radiométrica del terreno mediante el ángulo local de incidencia, con dos modelos de dispersión configurables: VOLUME para vegetación y SURFACE para suelo desnudo o agua. El módulo soporta cuatro DEMs (Copernicus 30/90m, SRTM 30/90m) y cinco algoritmos de filtrado de *speckle*: Refined Lee, Lee, Gamma MAP, Lee Sigma y Boxcar, con tamaño de *kernel* configurable. La salida puede generarse en escala lineal o decibelios.

2.2.2. TimeSeriesAnalyzer extrae series temporales para puntos o promedios zonales y proporciona herramientas de análisis temporal. La detección de

tendencias incluye el test de Mann-Kendall, pendiente de Sen y regresión lineal con test de significancia. Para la extracción de métricas fenológicas ofrece tres métodos (umbral, derivada y ajuste logístico) que calculan: inicio (SOS), pico (POS) y fin de estación (EOS), duración, amplitud, valor máximo, tasas de crecimiento y senescencia, y área bajo la curva. Incluye suavizado Savitzky-Golay configurable, comparación inter-anual con detección de anomalías mediante *z-scores*, y visualización mediante *dashboards* multi-panel. Permite también la generación de rasters de tendencia (*slope*, *intercept* y *magnitude*).

2.2.3. LandCoverClassifier proporciona flujos de trabajo de clasificación supervisada y no supervisada sobre los compuestos estacionales generados. Los algoritmos supervisados incluyen *Random Forest*, *SVM*, *CART*, *Gradient Tree Boost* y *Naive Bayes*; los no supervisados incluyen *K-means* y *Cascade K-means*. El módulo construye automáticamente una imagen multi-banda combinando los compuestos de cada año y periodo temporal, a la que opcionalmente se añaden estadísticas inter-anales (media, desviación típica, máximo y mínimo) y normalización al rango [0,1]. La evaluación de precisión genera matriz de confusión, exactitud global, coeficiente kappa, y exactitudes del productor y usuario por clase. Para *Random Forest* se incluye análisis de importancia de variables.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este trabajo no pretende mostrar una aplicación concreta, sino dar a conocer una librería de *Python* de utilidad para la comunidad teledetectora. Ndvi2Gif es una herramienta de uso habitual para la resolución de consultas en el Laboratorio de SIG y Teledetección de la Estación Biológica de Doñana, y ha sido aplicado en estudios de calibración y validación de productos de observación de la Tierra para fenología y monitorización de aguas superficiales en el Espacio Natural de Doñana (Díaz-Delgado & García-Díaz, 2025).

4. CONCLUSIONES

La principal aportación de Ndvi2Gif es su organización temporal basada en bandas que sintetizan estadísticamente los píxeles en base a ventanas estacionales fijas (quincenas, meses, estaciones, u otros periodos definidos), facilitando el análisis de cambio a largo plazo sin procesamiento adicional. Sobre esta base, los tres módulos especializados *S1ARDProcessor*, *TimeSeriesAnalyzer* y *LandCoverClassifier* extienden las capacidades hacia el preprocesamiento ARD de Sentinel-1, la extracción automatizada de métricas fenológicas y la clasificación mediante aprendizaje automático, cubriendo así los flujos de trabajo más habituales en teledetección aplicada a la monitorización ambiental. Otro aspecto a resaltar es que al tratarse de código abierto (*PyPI*, *conda-forge*), cualquier usuario puede coger el código e incorporar, y compartir, nuevos *datasets*, índices o funcionalidades. La documentación completa, incluyendo tutoriales de uso, está disponible en la siguiente página web, que se actualiza de forma frecuente con nuevos tutoriales: <https://digdgeo.github.io/Ndvi2Gif/intro.html>.

5. AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al equipo de *Google Earth Engine*, y a Qiusheng Wu por *Geemap*, base de las capacidades interactivas de *Ndvi2Gif*, así como por su incalculable labor en el desarrollo y difusión del software libre geoespacial.

6. REFERENCIAS

- Díaz-Delgado, R., & García-Díaz, D. (2025). In-situ validation of Land Surface Phenology, Land Surface Temperature and Surface Water derived from Earth Observation products: Doñana protected area as a potential cal/val supersite. *Recent Advances in Remote Sensing*, 2(9). <https://doi.org/10.62880/rars25009>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Montero, D. (2021). eemont: A Python package that extends Google Earth Engine. *Journal of Open Source Software*, 6(62), 3168. <https://doi.org/10.21105/joss.03168>
- Vollrath, A., Mullissa, A., & Reiche, J. (2020). Angular-based radiometric slope correction for Sentinel-1 on Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 12(11), 1867. <https://doi.org/10.3390/rs12111867>
- Wu, Q. (2020). geemap: A Python package for interactive mapping with Google Earth Engine. *Journal of Open Source Software*, 5(51), 2305. <https://doi.org/10.21105/joss.02305>
- Zuspan, A. (2021). wxee: A Python interface between Earth Engine and xarray [Software]. GitHub. <https://github.com/aazuspan/wxee>