

# Potencial del producto SEVIRI/MSG GPP en la detección de zonas afectadas por estrés hídrico

Martínez, B. <sup>\*</sup>, Sánchez-Ruiz, S., Campos-Taberner, M., García-Haro, F.J., Gilabert, M.A.

*UV-ERS, Departament de Física de la Terra i Termodinàmica, Universitat de València, 46100 Burjassot, València, España.*

---

**Resumen:** Se presenta el nuevo producto de producción primaria bruta (GPP) de EUMETSAT derivado a partir de datos del satélite geoestacionario SEVIRI/MSG (MGPP LSA-411) y se evalúa su potencial para detectar zonas afectadas por estrés hídrico (*hot spots*). El producto GPP se basa en la aproximación de Monteith, que modela la GPP de la vegetación como el producto de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) incidente, la fracción de PAR absorbida ( $f_{\text{APAR}}$ ) y un factor de eficiencia de uso de la radiación ( $\epsilon$ ). El potencial del producto MGPP para detectar *hot spots* se evalúa, utilizando un periodo corto de tres años, a escala local y regional, comparando con datos *in situ* derivados de medidas en torres *eddy covariance* (EC) y con datos GPP derivados de satélite (producto de 8 días MOD17A2H.v6 a 500 m y producto de 10 días GDMP a 1 km). Los resultados preliminares sobre el uso del producto MGPP en la evaluación de la respuesta del ecosistema a posibles eventos de déficit de agua ponen de manifiesto que este producto, calculado íntegramente a partir de datos MSG (EUMETSAT), ofrece una alternativa prometedora para detectar y caracterizar zonas afectadas por sequía a través de la incorporación de un coeficiente de estrés hídrico.

**Palabras clave:** MSG, MGPP, Monteith, *hot spots*, estrés hídrico.

## Capability assessment of the SEVIRI/MSG GPP product for the detection of areas affected by water stress

**Abstract:** This study aims to introduce a completely new and recently launched 10-day GPP product based on data from the geostationary MSG satellite (MGPP LSA-411) and to assess its capability to detect areas affected by water stress (*hot spots*). The GPP product is based on Monteith's concept, which models GPP as the product of the incoming photosynthetically active radiation (PAR), the fractional absorption of that flux ( $f_{\text{APAR}}$ ) and a light-use efficiency factor ( $\epsilon$ ). Preliminary results on the use of the MGPP product in the assessment of ecosystem response to rainfall deficit events are presented in this work for a short period of three years. The robustness of this product is evaluated at both site and regional scales across the MSG disk using eddy covariance (EC) GPP measurements and Earth Observing (EO)-based GPP products, respectively. The EO-based products belong to the 8-day MOD17A2H v6 at 500 m and the 10-day GDMP at 1 km. The results reveal the MGPP product, derived entirely from MSG (EUMETSAT) products, as an efficient alternative to detect and characterize areas under water scarcity by means of a coefficient of water stress.

**Key words:** MSG, MGPP, Monteith, *hot spots*, detection, water stress.

---

**To cite this article:** Martínez, B., Sánchez-Ruiz, S., Campos-Taberner, M., García-Haro, F.J., Gilabert, M.A. 2020. Capability assessment of the SEVIRI/MSG GPP product for the detection of areas affected by water stress. *Revista de Teledetección*, 55, 17-29. <https://doi.org/10.4995/raet.2020.13285>

\* Corresponding author: [beatriz.martinez@uv.es](mailto:beatriz.martinez@uv.es)

## 1. Introducción

La necesidad de una mayor comprensión del sistema climático terrestre es actualmente evidente. En el caso concreto de la biosfera, el seguimiento continuo de la variabilidad espacio-temporal en la producción primaria bruta (GPP, *gross primary production*) de los ecosistemas terrestres es esencial para avanzar en nuestro conocimiento del ciclo global del carbono y evaluar la respuesta al cambio climático actual (Zhang et al., 2014).

La GPP, i.e., el carbono fijado por la vegetación a través de la fotosíntesis por unidad de tiempo y de área, está directamente vinculada con la cantidad de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, así como con algunas variables climáticas esenciales (ECVs, *Essential Climate Variables*) atmosféricas y terrestres (Bojinski et al., 2014).

La red LSA SAF (*Land Surface analysis for Satellite Application Facility*) perteneciente a la organización europea EUMETSAT (*European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites*) (<http://lsa-saf.eumetsat.int>) se encarga de desarrollar e implementar algoritmos para producir productos operacionales de interés para el seguimiento de la biosfera terrestre. Estos productos están basados en datos de los diferentes satélites de EUMETSAT, como el sensor SEVIRI (*Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager*) a bordo de la plataforma MSG (*Meteosat Second Generation*) o el sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) a bordo del sistema EPS (*EUMETSAT Polar System*). Desde 2008 se dispone de los productos: índice de superficie foliar (LAI, *leaf area index*), la fracción de radiación fotosintéticamente activa que es absorbida por la vegetación ( $f_{\text{APAR}}$ , *fraction of absorbed photosynthetically active radiation*) y la fracción de cubierta vegetal (FVC, *fractional vegetation cover*) basado en datos SEVIRI/MSG (García-Haro et al., 2019). Este conjunto de datos se completa con los recientes productos de vegetación derivados a partir del sistema polar AVHRR/EPS (García-Haro et al., 2018).

Recientemente, EUMETSAT ha empezado a proporcionar un nuevo producto, la GPP de los ecosistemas terrestres, con una resolución temporal de 10 días. La denominación oficial del mismo es MGPP (LSA-411). Su principal característica es que solo depende de productos EUMETSAT

derivados en la cadena LSA SAF a partir de datos SEVIRI/MSG. MGPP se une a una serie de productos operacionales de GPP basados en datos de observación de la Tierra (EO, *Earth Observation*), cuyo liderazgo continúa siendo para el primero disponible públicamente de forma regular, el MOD17 (Zhao et al., 2011) obtenido a partir de datos del sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*). Este producto corresponde a un compuesto GPP global de 8 días a 1 km (versión 5.5) y a una resolución espacial de 500 m (versión 6) (Running y Zhao, 2015). Además, se dispone de otros productos de GPP operacionales, como por ejemplo el producto de 10 días de productividad de materia seca (GDMP, *Gross Dry Matter Content*) a 1 km (CGLOPS1, 2018) del servicio Copernicus (CGLS, *Copernicus Global Land Service*) o el producto de carbono de nivel 4 (L4\_C) derivado del sensor SMAP (*Soil Moisture Active Passive*) a 9 km (Jones et al., 2017) de la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*).

La calidad y robustez del producto MGPP se ha evaluado a escala local y global en todo el disco MSG utilizando datos GPP de torres *eddy covariance* (EC) y productos GPP basados en datos EO (Martínez et al., 2018; Martínez et al., 2020), respectivamente. Los diferentes estudios han demostrado que MGPP es un producto de alta confianza que permitirá a los usuarios utilizarlo en diferentes aplicaciones relacionadas con los ecosistemas terrestres.

Una de las características del producto MGPP es su capacidad para mostrar la disminución de la productividad debido a la escasez de agua por medio del coeficiente de estrés hídrico ( $C_{\text{ws}}$ ), el cual puede ser de gran importancia para una variedad de problemas relacionados, por ejemplo, con la detección y seguimiento de la sequía a más largo plazo. En este contexto, el objetivo principal de este estudio consiste en presentar los resultados preliminares sobre el potencial de este nuevo producto MGPP de 10 días como un indicador de la respuesta del ecosistema durante un periodo corto (2015-2017) en áreas donde la disponibilidad de agua limita el crecimiento de las plantas. El estudio se ha realizado para la zona de Europa y África y se ha combinado con datos de precipitación para calcular el índice estandarizado de precipitación (SPI, *Standardized Precipitation index*), que

permite cuantificar el déficit de precipitación en base al concepto de sequía meteorológica. Los resultados obtenidos se han comparado a escala local con estimaciones de GPP obtenidas de torres EC y a escala regional con dos productos de observación de la Tierra operacionales, el producto MODIS de 8 días (MOD17A2.v6) de la NASA y el producto de 10 días GDMP de Copernicus.

## 2. Algoritmo MGPP

El producto MGPP se calcula cada diez días a partir del valor medio de un producto intermedio de GPP diario (MDGPP), obtenido internamente en el sistema LSA SAF. El MDGPP se obtiene a partir de la aproximación clásica de Monteith (1972), la cual permite el cálculo de la GPP diaria ( $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) a partir del uso de tres variables: la radiación incidente fotosintéticamente activa diaria, PAR ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ), la fracción de PAR absorbida por la cubierta vegetal,  $f_{\text{APAR}}$  (adimensional), y la eficiencia en el uso de la radiación,  $\varepsilon$  ( $\text{g MJ}^{-1}$ ), que tiene en cuenta además la conversión de unidades de energía a masa:

$$\text{GPP} = \varepsilon f_{\text{APAR}} \text{PAR} \quad (1)$$

La  $\varepsilon$ , a su vez, se considera igual al producto de una eficiencia máxima,  $\varepsilon_{\text{max}}$  ( $\text{g MJ}^{-1}$ ), dependiente del tipo de cubierta vegetal (asociada a su funcionamiento óptimo) y de un escalar adimensional que cuantifica la reducción en la eficiencia máxima debida al déficit hídrico. Dicho escalar recibe el nombre de coeficiente de estrés hídrico,  $C_{\text{ws}}$ . En circunstancias de déficit de agua, la planta cierra estomas y disminuye su actividad fotosintética. Se introduce así una variabilidad interanual que ha de ser tenida en cuenta para una estimación precisa de los flujos de carbono.

Atendiendo a los valores que proponen Garbulsky et al. (2010) para distintos tipos de ecosistemas, así como resultados de estudios previos (Martínez et al., 2018), los valores que se han asignado a la  $\varepsilon_{\text{max}}$  son:  $1,8 \text{ g MJ}^{-1}$  (bosque frondoso caducifolio),  $1,7 \text{ g MJ}^{-1}$  (bosque frondoso perenne),  $1,5 \text{ g MJ}^{-1}$  (coníferas) y  $1,2 \text{ g MJ}^{-1}$  (resto de cubiertas).

$C_{\text{ws}}$  se suele obtener a partir de un balance hídrico entre la evapotranspiración real y potencial, AET (mm) y PET (mm), respectivamente, y así se ha aplicado satisfactoriamente en España (Gilbert

et al., 2015; Sánchez-Ruiz et al., 2017), Euroafrica (Martínez et al., 2018) y a escala global (Martínez et al., 2020). En el caso del producto MGPP, se calcula a partir de la evapotranspiración de referencia,  $ET_0$  (mm), en vez de la PET, tal como se describe en Martínez et al. (2020):

$$C_{\text{ws}} = 0,6 + 0,4 (\text{AET}/ET_0) \quad (2)$$

En la expresión anterior,  $C_{\text{ws}}$  toma valores de 1 (no existe disminución de fotosíntesis por déficit hídrico, e.g. cultivo de regadío) a 0,6 (se supone una reducción máxima de la eficiencia del 60%).

La MDGPP se calcula a partir de las ecuaciones 1 y 2 utilizando como datos de entrada los productos diarios de EUMETSAT diseminados dentro del sistema LSA SAF: MDFAPAR (LSA-425), DIDSSF (LSA-203), DMET (LSA-302) y DMETREF (LSA-303), para  $f_{\text{APAR}}$ , PAR, AET y  $ET_0$ , respectivamente. El producto de 10 días, MGPP, se obtiene a partir de MGPP promediando sus valores en cada decena en particular. Este producto consiste en cuatro capas, el valor medio de la GPP para 10 días, su error y dos capas más que proporcionan información sobre el número de imágenes de MDGPP utilizadas en el cálculo de la media y el número de imágenes del  $f_{\text{APAR}}$  que presentan baja incertidumbre a lo largo del periodo de 10 días. Se puede encontrar información más detallada sobre el algoritmo y el producto en Martínez et al. (2020).

## 3. Datos

### 3.1. GPP MSG

Este estudio se realizó durante la fase pre-operacional del producto MGPP para el periodo temporal 2015-2017 con el objetivo de evaluar la inclusión del  $C_{\text{ws}}$  en dicho producto. El producto MGPP está disponible operacionalmente en el sistema LSA SAF desde marzo de 2018. Los datos de entrada requeridos por el modelo para obtener MDGPP en este trabajo solo estaban disponibles para los integrantes de la red LSA SAF y correspondía al periodo de tiempo más largo disponible de este producto en dicha fase pre-operacional. El producto MGPP se calculó a partir del producto diario MDGPP, como ya se ha mencionado.

La Figura 1 muestra, a modo de ejemplo, el valor medio del producto MGPP para los meses de enero,

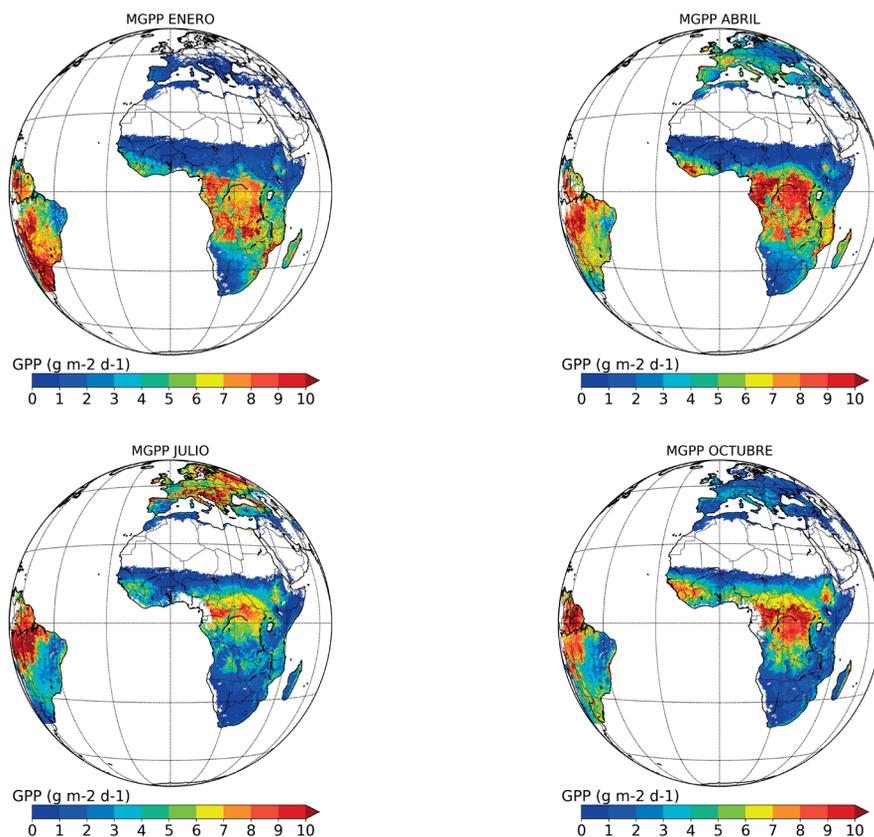
abril, julio y octubre en el periodo de tres años. Las zonas en blanco corresponden a píxeles donde el producto MGPP no proporciona valores válidos (e.g. píxeles de agua y nieve o píxeles con valores de entrada no válidos). En general, el producto MGPP muestra un patrón espacial consistente para los cuatro meses. Se observan valores de GPP más altos en los bosques (e.g., regiones de selva tropical y píxeles ubicados en latitudes de alrededor de 50° a 60°N), mientras que se obtiene valores de GPP bajos en zonas semiáridas (e.g. sur de España, región del Sahel, África oriental y Sudáfrica).

### 3.2. Otros datos de GPP

Para el análisis global y regional, se han escogido dos productos de GPP derivados de satélite: (i) el producto de 8 días MOD17A2H.v6 a 500 m y, (ii) el producto de 10 días GDMP a 1 km de Copernicus. Se trata de dos productos globales operacionales derivados también a partir de la

aproximación clásica de Monteith, pero con diferencias respecto al MGPP, principalmente en relación a la parametrización de la  $\epsilon$ . Ambos productos se han remuestreado a la proyección del producto MGPP y a su resolución espacial. Detalles sobre estos productos se pueden encontrar en Martínez et al. (2020).

Para el análisis local, se han escogido tres torres EC de la red FLUXNET localizadas en zonas que suelen estar afectadas por estrés hídrico y que tienen datos disponibles para el periodo considerado. En concreto: (i) la torre ES-LMa, localizada en las Majadas (39,94° N, -5,77° E), un área de dehesas en la provincia de Cáceres (España), (ii) la torre SN-Dhr, localizada en una zona de cultivos en Dahra, Senegal (15,40° N, -15,43° E), y (iii) la torre ZA-Kru, en Skukuza, Sudáfrica (-25,02° N, 31,50° E), localizada en una región de la sabana en el parque nacional Kruger al noroeste de Sudáfrica.



**Figura 1.** Valor medio del producto MGPP para los meses de enero, abril, julio y octubre en el periodo analizado (2015-2017).

### 3.3. Datos de precipitación

Para el cálculo del SPI se han utilizado los datos de precipitación de la misión TRMM (*Tropical Rainfall Measurement Mission*) proporcionados por la NASA (Liu et al., 2012) para el periodo 1998-2019. Entre los diferentes productos que ofrece esta misión, el TRMM/TMPA 3B43 proporciona la precipitación a partir de sensores que miden en el visible, infrarrojo y microondas (Simpson et al., 1988) a una resolución temporal mensual y espacial de  $0,25^\circ$  (<http://trmm.gsfc.nasa.gov/>). Diferentes estudios (Kummerow et al., 2000; Flaming, 2004) han demostrado la calidad de dicho producto.

El producto de precipitación TRMM 3B43 cubre las zonas del globo terrestre comprendidas entre  $-50^\circ$  N y  $50^\circ$  N. Se ha calculado el SPI para todo el periodo disponible (1998-2019) a la resolución de  $0,25^\circ$  en el sistema geodésico de coordenadas geográficas WGS-84. El SPI representa la probabilidad de ocurrencia de precipitación comparada con la climatología para un periodo de referencia. Su valor numérico proporciona el número de desviaciones estándar de la precipitación, para un periodo de acumulación determinado, que se desvían de la media para un periodo de tiempo dado. En particular, el SPI se ha calculado a partir de los datos mencionados de precipitación de satélite utilizando el método desarrollado por McKee et al., (1993). Los valores negativos representan un déficit de precipitación mientras que los valores positivos indican un superávit de precipitación. Una vez obtenidas las imágenes de SPI a  $0,25^\circ$ , se han remuestreado para que coincidan con la proyección del producto MGPP y con su resolución espacial.

### 4. Procedimiento experimental

La detección de zonas potenciales con déficit hídrico se ha llevado a cabo a partir de la desviación inter-anual que presenta la GPP de cada año respecto al valor medio del periodo. Se ha calculado para los tres productos EO con el propósito de comparar y evaluar el potencial del producto MGPP a escala regional respecto a los otros dos productos operacionales (*i.e.*, MODIS y GDMP). Además, se presenta un breve análisis de la respuesta del producto MGPP a la precipitación a escala local con las estimaciones de GPP en las tres torres EC descritas anteriormente.

Se ha comprobado si la desviación inter-anual de la GPP presenta correlación con el índice SPI acumulado a 12 meses. En este análisis se considera que la precipitación media anual desempeña un papel importante en la respuesta inter-anual de la vegetación a episodios donde el régimen de la precipitación se ha alterado (Chamaillé-Jammes y Fritz., 2009). Las correlaciones se han calculado desplazando la serie de SPI dos meses respecto del periodo de máximo desarrollo de la vegetación debido al patrón temporal general que muestra la respuesta de la vegetación con la precipitación (Malo y Nicholson, 1990; García-Haro et al., 2014; Chen et al., 2020).

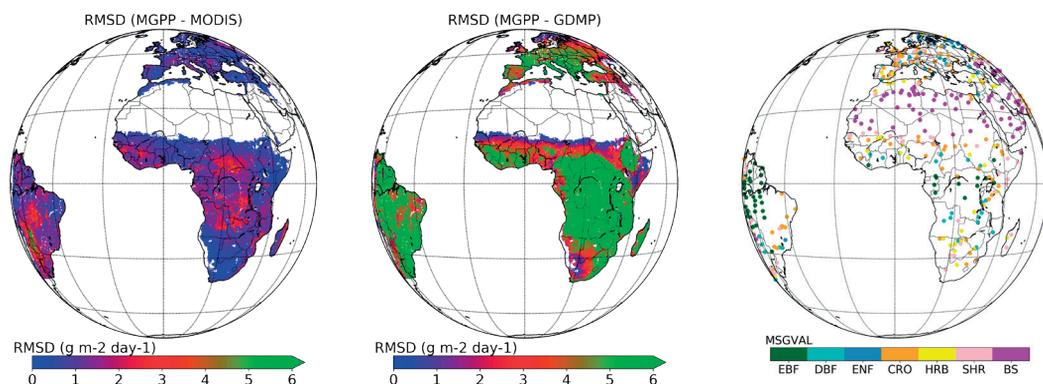
En particular, se han analizado dos clases de cubiertas de vegetación natural muy vulnerables al aporte hídrico, herbáceas y zonas arbustivas. Diferentes estudios sugieren que las clases de vegetación natural son muy sensibles a sequías de corta duración, sobre todo en zonas áridas y semi-áridas (Vicente-Serrano, 2015; Liu et al., 2017). Para ello, se ha utilizado la clasificación *Global Land Cover 2000* (GLC2000) adaptada a la proyección SEVIRI/MSG (Bartholome y Belward, 2005).

## 5. Resultados y discusión

### 5.1. Diferencias entre productos

En este apartado se resumen las diferencias encontradas entre los productos MGPP, MODIS y GDMP para el periodo considerado. En Martínez et al. (2020) se puede encontrar una discusión más detallada. La Figura 2 muestra la diferencia del valor cuadrático medio (RMSD) entre el producto MGPP y MODIS (izquierda) y el producto MGPP y GDMP (centro). En general, se observa un mayor acuerdo de MGPP con MODIS ( $\text{RMSD} < 3 \text{ g m}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ) que con GDMP. En el último caso se encuentran diferencias de hasta  $6 \text{ g m}^{-1} \text{ d}^{-1}$  en la mayor parte del continente africano, Europa central y América del Sur. Las diferencias entre productos se atribuyen principalmente a (Martínez et al., 2020): (i) la parametrización del factor  $\varepsilon$ , (ii) el valor de  $\varepsilon_{\text{max}}$  asignado a diferentes tipos de cubiertas y (iii) la resolución temporal y el filtrado de los píxeles con presencia de nubes o nieve.

Por otra parte, las diferencias entre los tres productos se han analizado por tipos de cubiertas para



**Figura 2.** Diferencia del valor cuadrático medio (RMSD) entre el producto MGPP y MODIS (izquierda) y el producto MGPP y GDMP (centro). La imagen de la derecha muestra las localizaciones de la red MSGVAL utilizada para comparar los productos en diferentes tipos de cubiertas.

487 localizaciones (Figura 2, derecha) definidas por la red de datos MSGVAL (Fuster et al., 2017; Martínez et al., 2020). Los valores para los diferentes tipos de cubiertas se presentan en la Tabla 1. El mayor desacuerdo se encuentra para las cubiertas de bosques, donde se alcanzan diferencias de hasta 12,2 g m<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup> entre los productos MGPP y GDMP. Sin embargo, la mayoría de las diferencias observadas entre los productos MGPP y MODIS se sitúan por debajo del umbral intermedio (*target value*) establecido por los requerimientos de los usuarios (< 2 g m<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>) y solo las cubiertas de bosques se acercan al umbral máximo (*threshold value*) de 3 g m<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>.

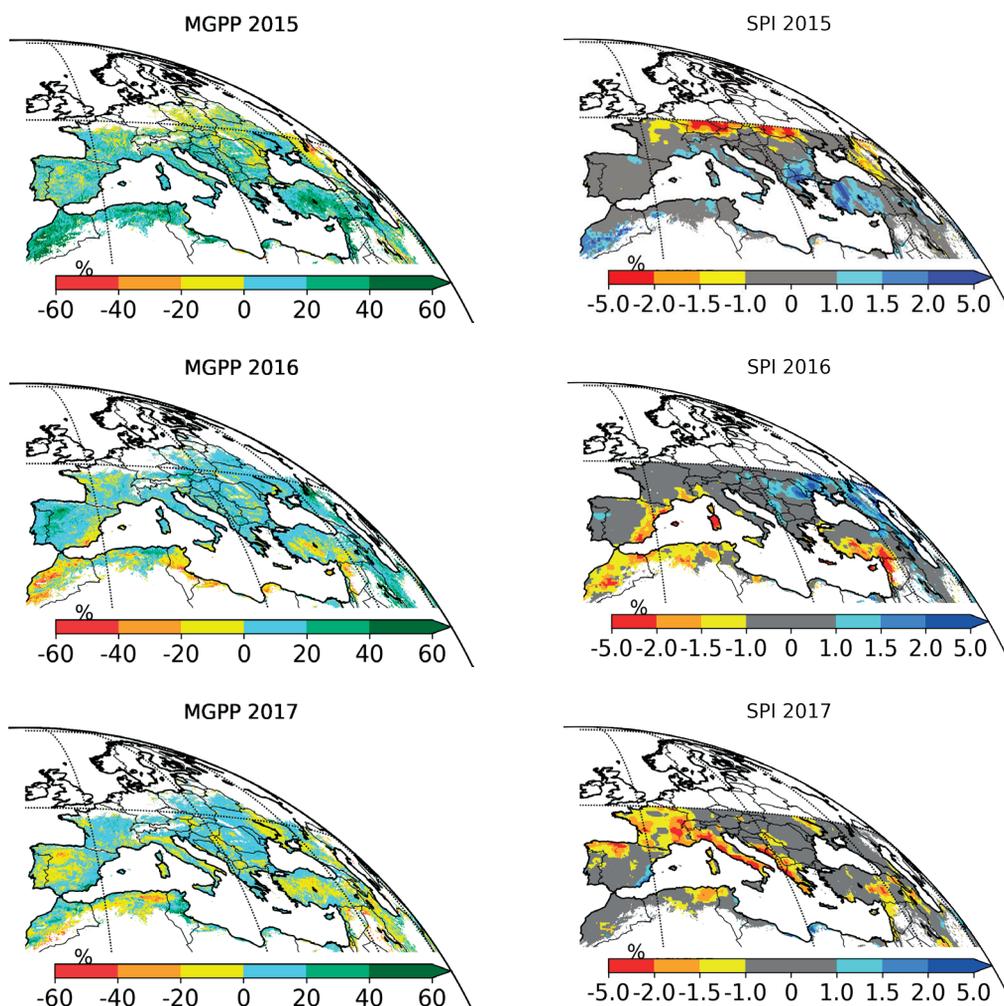
### 5.2. Escala regional

Las Figuras 3 y 4 muestran la desviación anual de la GPP para Europa y la cuenca mediterránea y para África, respectivamente (izquierda), así como el SPI para el periodo 1998-2019 (derecha).

Como tan solo se analiza la GPP de tres años, dichas figuras solo sirven para identificar los píxeles que presentan en cada año los valores por encima o por debajo de la media. A grandes rasgos, se observa una gran correspondencia entre las zonas donde el SPI indica una precipitación por debajo o por encima de la normal y las zonas donde la GPP presenta valores inferiores y superiores al

**Tabla 1.** Diferencia en el valor medio (MBD), valor medio absoluto (MAD), valor cuadrático medio (RMSD) y coeficiente de correlación (*r*) entre los tres productos de GPP considerados para diferentes tipos de cubiertas y en las localizaciones definidas por la red MSGVAL. Las cubiertas analizadas corresponden a vegetación de hoja perenne ancha (EBF), vegetación de hoja caduca ancha (DBF), vegetación de hoja perenne de aguja (ENF), herbáceos (HRB), vegetación arbustiva (SHR), cultivos (CRP) y suelo desnudo (BS).

Tipo de cubierta	Productos GPP	MBD	MAD	RMSD	r
EBF	MGPP-MODIS	0,3	1,9	2,5	0,54
	MGPP-GDMP	-11,0	11,0	12,2	0,50
DBF	MGPP-MODIS	1,2	1,8	2,6	0,73
	MGPP-GDMP	-6,6	6,7	8,2	0,79
ENF	MGPP-MODIS	-0,8	1,4	1,7	0,76
	MGPP-GDMP	-7,5	7,5	8,8	0,83
HRB	MGPP-MODIS	0,1	0,9	1,3	0,83
	MGPP-GDMP	-5,5	5,5	7,2	0,84
SHR	MGPP-MODIS	0,3	0,8	1,1	0,78
	MGPP-GDMP	-3,5	3,6	4,9	0,85
CRP	MGPP-MODIS	0,4	0,9	1,3	0,83
	MGPP-GDMP	-2,7	2,9	4,6	0,88
BS	MGPP-MODIS	0,6	0,7	0,9	0,88
	MGPP-GDMP	-1,2	1,3	2,1	0,84



**Figura 3.** Desviación inter-anual (en %) que presenta la GPP anual de cada año (MGPP) respecto al valor medio del periodo 2015-2017 para Europa y norte de África.

valor medio. Por ejemplo, en 2015 (Figura 3, superior) el SPI indica la presencia de estrés hídrico en una banda que comienza en centro Europa y se extiende hasta Ucrania. La GPP en dichas zonas se muestra sensible a la escasez de agua y presenta valores por debajo de la media. Sin embargo, el mismo año para Marruecos se cataloga como año húmedo según el SPI, y así lo muestra también la GPP con valores por encima de la media.

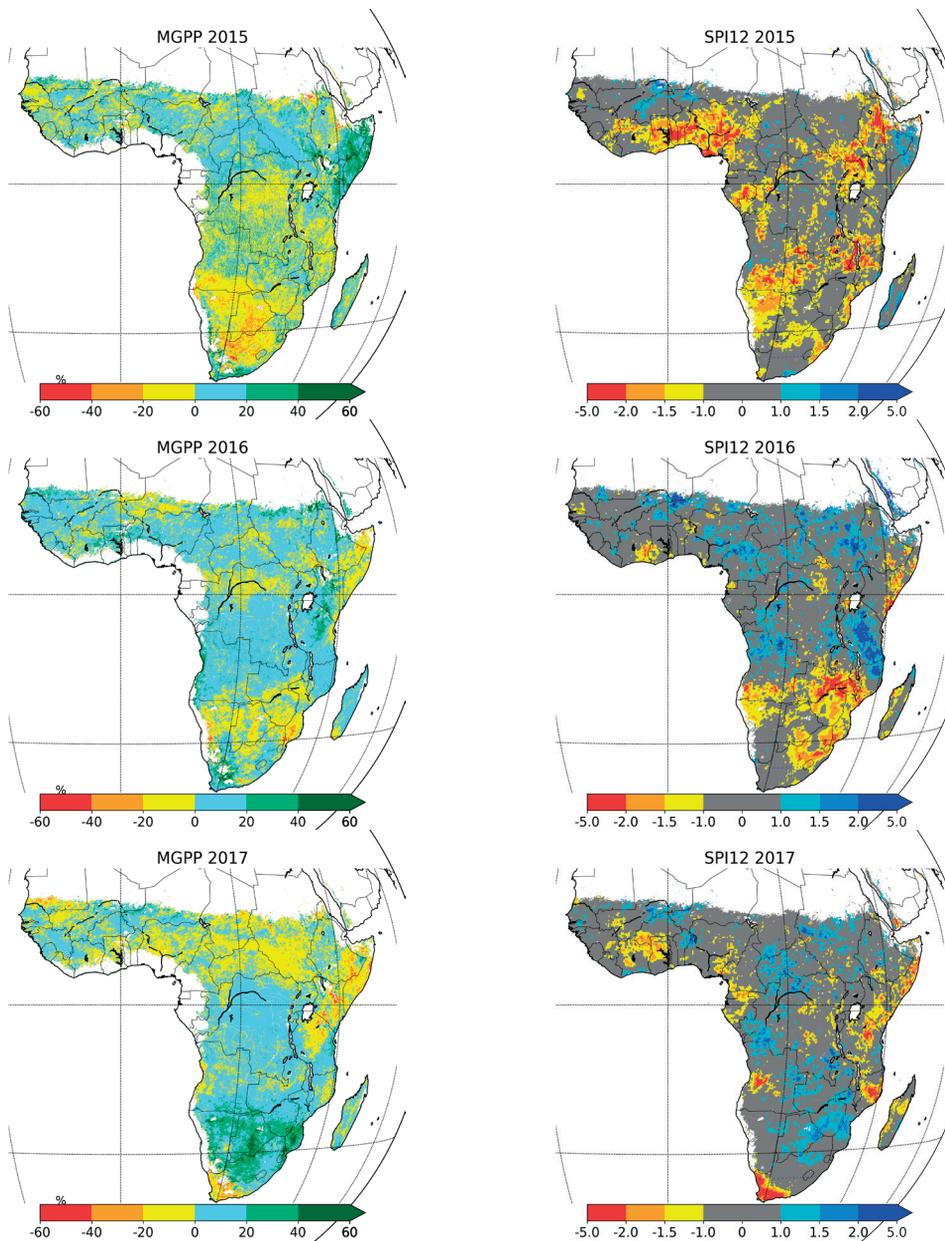
La disminución observada en la GPP en 2016 (Figura 3, centro) en la cuenca mediterránea concuerda también con los valores del SPI negativos para dicha región. Destacan las zonas semi-áridas del norte de África y sureste de España, afectadas

por estrés hídrico tal como se muestra en Vicente-Serrano et al. (2019). En 2017, el SPI presenta valores negativos evidenciando la presencia de estrés hídrico en el NO de la península Ibérica, Francia, Italia, Grecia y el centro de Turquía. En todos los casos, la GPP presenta valores por debajo de la media en el periodo de estudio. El mismo año se presenta como húmedo, sin embargo, en la costa mediterránea española, a lo largo de la Comunidad Valenciana, Murcia y Almería, con valores de GPP en este caso superiores a la media.

A pesar del periodo corto analizado, estos resultados están de acuerdo con los resultados observados en el SPI acumulado a 12 meses a

partir de datos TRMM y el SPI propuesto por el Observatorio Europeo de Sequía (*European Drought Observatory*, EDO del JRC (<http://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2>)). En África Central y Sudáfrica, las diferencias del valor de GPP anual para cada año respecto al valor medio en todo el periodo ponen de manifiesto una disminución de la producción en las regiones de Sudáfrica (2015) y Somalia (2016 y 2017).

Ambas zonas se han visto afectadas por el fenómeno de El Niño durante diferentes momentos del periodo, causando en la zona de Sudáfrica un importante déficit durante el periodo 2015/2016 (precipitación de 185 mm frente al promedio, 550 mm), comparable a otros episodios importantes como los de 1933 y 1982 (Anyamba et al., 2018, Bahta et al., 2016). Sin embargo, desde finales de 2016 hasta mediados del 2017 el sur



**Figura 4.** Desviación inter-anual (en %) que presenta la GPP anual de cada año (MGPP) respecto al valor medio del periodo 2015-2017 para África central y sur de África.

**Tabla 2.** Coeficiente de correlación entre la GPP y el SPI acumulado a 12 meses obtenido con los productos MGPP, MODIS y GDMP. Se proporciona el coeficiente de correlación para las cubiertas de herbáceas y arbustivas para cada año (2015 / 2016 / 2017).

Cubiertas	MGPP			MODIS			GDMP								
Herbáceas	0,63	/	0,60	/	0,65	0,74	/	0,66	/	0,70	0,72	/	0,62	/	0,46
Arbustivas	0,48	/	0,52	/	0,55	0,41	/	0,50	/	0,69	0,43	/	0,60	/	0,52
Herbáceas & Arbustivas	0,57	/	0,52	/	0,60	0,60	/	0,56	/	0,70	0,59	/	0,60	/	0,51

de África experimentó una mayor precipitación y vegetación, posiblemente como respuesta a la influencia combinada de la relativamente débil La Niña y las cálidas aguas en el Océano Índico. Las altas precipitaciones y su efecto en la producción fueron particularmente notables a principios de 2017 en las regiones de Botswana, Zimbabwe y el centro y norte de Sudáfrica, tal y como se observa en la Figura 4 para el año 2017.

Por el contrario, las condiciones secas a principios de 2016 asociadas con La Niña se desarrollaron en África oriental y la productividad disminuyó rápidamente. Las precipitaciones negativas generalizadas y las anomalías de la vegetación persistieron desde octubre de 2016 hasta mayo de 2017, observándose en la Figura 4, para el 2016 y 2017, valores extremos en las anomalías tanto de la GPP como del SPI.

El análisis de la correlación entre los tres productos de GPP (*i.e.*, MGPP, MODIS y GDMP) y el SPI para las cubiertas herbáceas y arbustivas (tabla 2), muestra que el producto MGPP, a pesar de su menor resolución espacial (3,1 km en nadir frente a 500 m de MODIS y 1 km de GDMP), es tan sensible como el resto de productos a la disminución del aporte hídrico en la zona de estudio. La correlación entre la producción y la precipitación es más alta cuando se consideran solo las cubiertas herbáceas, obteniéndose correlaciones significativas ( $p < 0,05$ ) superiores a 0,6 para los tres años y todos los productos.

### 5.3. Escala local

La Figura 5 muestra la evolución del producto MGPP (rojo) en tres píxeles donde se ubican las tres torres EC mencionadas, junto con los valores de GPP estimados en la torre EC (negro) y los de otros productos de GPP de satélite considerados (MODIS en verde, GDMP en azul). En barras de color amarillo se ha representado el SPI acumulado

a 12 meses para todo el periodo. Aunque se observan diferencias con respecto al valor de la GPP de referencia (EC), los píxeles seleccionados son tres ejemplos donde el producto MGPP responde favorablemente a condiciones ambientales de falta de aporte hídrico.

En el píxel donde se ubica la torre ZA-Kru (Figura 5, superior), se observa que para todo el periodo se obtienen valores de SPI negativos, caracterizándose tanto el 2015 como el 2016 como años severamente secos, con valores de SPI entre  $-1,5$  y  $-2$ . En general, los tres productos de satélite muestran valores bajos de la GPP durante el periodo de déficit de precipitación severo (2015-2016). Las medidas de la torre EC muestran que en el año 2017 la producción se recupera (tonos verdes en 2017). Los productos de satélite (el MGPP incluido) reflejan este aumento de la GPP. Aunque, el GDMP (azul) es el único que reproduce los valores máximos de la torre EC en la época de mayor producción, no reproduce tan fielmente la disminución de la GPP debida a los periodos de escasez de aporte hídrico, situándose en la mayoría de los casos por encima de los valores de la torre EC.

La Figura 5 presenta también dos ejemplos donde la cubierta se ve afectada por largos periodos con el régimen de precipitaciones por debajo de la media. Es el caso de las torres EC de Dahra (SN-Dhr) y Las Majadas (ES-LMa), en Senegal y España, respectivamente. Los productos MGPP, MODIS y GDMP muestran la disminución en la producción en los meses de verano y presentan un buen acuerdo con el valor de GPP *in situ* ( $RMSE_{ES-LMa} = 1,1 \text{ g m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ,  $1,7 \text{ g m}^{-2}\text{d}^{-1}$  y  $4,1 \text{ g m}^{-2}\text{d}^{-1}$ , respectivamente; y  $RMSE_{SN-Dhr} = 1,7 \text{ g m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ,  $2,7 \text{ g m}^{-2}\text{d}^{-1}$  y  $1,6 \text{ g m}^{-2}\text{d}^{-1}$ , respectivamente). En estos dos casos, el producto GDMP presenta los valores más altos de la GPP (azul) en los periodos estivales, con diferencias que superan ( $RMSE = 4,1 \text{ g m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ), en la torre de Las Majadas, el límite máximo establecido por los requerimientos de los usuarios ( $< 3 \text{ g m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ).

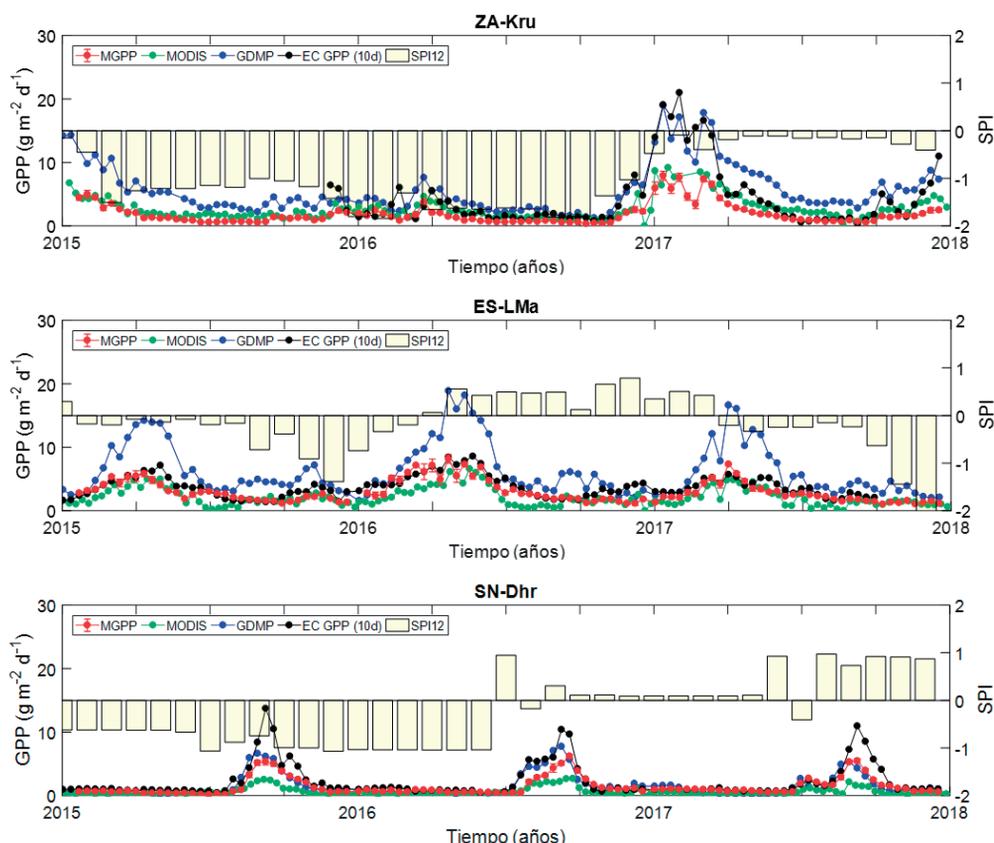
Estas diferencias se atribuyen principalmente a la parametrización de la eficiencia en el uso de la radiación (Martínez et al., 2020). De Martínez et al. (2020) se deriva que, aunque el producto GDMP presenta valores más altos de  $\epsilon$  en comparación con los productos GDMP y MODIS, las diferencias entre los productos durante los periodos de menor aporte hídrico se atribuyen a la falta de un factor específico que considere la disminución de la fotosíntesis.

Los errores medios obtenidos en el caso del producto MGPP se encuentran dentro del umbral intermedio establecido por los requerimientos de los usuarios de productos GPP ( $<2,0 \text{ g m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ) (Martínez et al., 2020). Sin embargo, en el caso de la torre ZA-Kru los valores exceden este límite para los tres productos ( $\text{RMSE}_{\text{ZA-Kru}} = 3,9 \text{ g m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ,  $3,3 \text{ g m}^{-2}\text{d}^{-1}$  y  $2,5 \text{ g m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ).

## 6. Conclusiones

Este trabajo ha evaluado el potencial del nuevo producto operacional de GPP derivado a partir de datos del sensor SEVIRI/MSG (MGPP, LSA-411) de 10 días como un indicador de la respuesta del ecosistema en áreas afectadas por un déficit en el régimen hídrico durante un periodo corto (2015-2017). El estudio se ha realizado para la zona de Europa y África y se ha combinado con datos de precipitación para calcular el SPI.

Evidentemente, con solo tres años no se pueden extraer tendencias significativas por ejemplo de la degradación que pueda estar experimentando una zona sujeta a un déficit hídrico prolongado. Pero no era ese el objetivo del trabajo. Tan solo se pretendía mostrar que este nuevo producto de GPP es sensible a tal estrés y, por lo tanto, será potencialmente útil para la detección de las consecuencias de procesos meteorológicos extremos



**Figura 5.** GPP proporcionada por los productos MGPP (rojo), MODIS (verde) y GDMP (azul) junto con los datos de torre EC (negro) para las zonas ZA-Kru, ES-LMa y SN-Dhr. Las barras amarillas representan el índice SPI calculado para un periodo de 12 meses.

como la sequía. En base a los resultados obtenidos se puede afirmar que el producto MGPP es al menos tan sensible como el resto de productos de GPP operacionales (i.e., MODIS y GDMP): la GPP de las cubiertas de vegetación natural, como las herbáceas y matorral arbustivo, refleja adecuadamente la disminución de actividad fotosintética que tiene lugar en periodos de sequía por el cierre estomático.

A pesar de la menor resolución espacial del producto MGPP (3,1 km en nadir frente a 500 m de MODIS y 1 km de GDMP), se pone de manifiesto su utilidad para estudiar zonas áridas y semi-áridas localizadas en la cuenca mediterránea y en el continente africano, pudiéndose sacrificar la resolución espacial ( $\approx 3$  km) a costa de tener un mayor campo de observación cuando se requiera un estudio global. La detección de *hot spots* a nivel regional proporciona una respuesta eficaz en Europa y, sobre todo, en África, caracterizada por amplias extensiones de sabana, pastos y vegetación herbácea fácilmente identificables a resolución espacial baja. A escala local, el producto MGPP ha mostrado un buen acuerdo con las estimaciones de torres EC para las tres localizaciones propuestas, comparable al presentado por el producto MODIS. Además, se ha observado la capacidad del MGPP para detectar la recuperación de la producción después de una disminución notable de la precipitación llegando a caracterizar el lugar como moderadamente y severamente seco (valores de SPI de  $-2$  a  $-1$ ).

Como se ha mencionado previamente, después de este estudio pre-operacional, el algoritmo que calcula la GPP del producto MGPP incluye el coeficiente de estrés hídrico (mostrado en la Ecuación 2). Este producto MGPP, disponible en fase operacional desde marzo de 2018, se presenta así como una alternativa complementaria a los satélites de órbita polar. A medida que dispongamos de una serie temporal más larga se podrá extender el estudio y derivar resultados con mayor significancia estadística.

## Agradecimientos

Trabajo financiado por los proyectos LSA SAF (EUMETSAT) y ESCENARIOS (CGL2012–35831). Agradecemos a los responsables de las torres EC la cesión de los datos de GPP.

## Referencias

- Anyamba, A., Glennie, E., Small, J. 2018. Teleconnections and Interannual Transitions as Observed in African Vegetation: 2015–2017. *Remote Sensing*, 10, 1038. <https://doi.org/10.3390/rs10071038>
- Bahta, Y.T., Jordaan, A., Muyambo, F. 2016. Communal Farmers' perception of drought in South Africa: policy implication for drought risk reduction. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 20, 39–50. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.10.007>
- Bartholome, E. Belward, A.S. 2005. GLC2000: a new approach to global land cover mapping from Earth observation data. *International Journal of Remote Sensing*, 26(9), 1959–1977. <https://doi.org/10.1080/01431160412331291297>
- Bojinski, S., Verstraete, M., Peterson, T.C., Richter, C., Simmons, A., Zemp, M. 2014. The concept of essential climate variables in support of climate research, applications, and policy. *American Meteorological Society*, 95(9), 1431–1443. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00047.1>
- CGLOPS1. 2018. Copernicus Global Land Operations 'Vegetation and Energy' Product User Manual for Dry Matter Productivity (DMP) and Gross Dry Matter Productivity (GDMP). Collection 1 km, version 2- CGLOPS1\_PUM\_DMP1km-V2, February 2018, 47 pp.
- Chamailé-Jammes, S. Fritz, H. 2009. Precipitation-NDVI relationships in eastern and southern African savannas vary along a precipitation gradient. *International Journal of Remote Sensing*, 30(13), 3409–3422. <https://doi.org/10.1080/01431160802562206>
- Flaming, G.M. 2004. Measurement of global precipitation. In: *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. 9, Anchorage, AK, EUA.
- Fuster, B., Sánchez-Zapero, J., Camacho, F., García-Haro, F.J., Campos-Taberner, M. 2017. Validation of the Climate Data Record of EUMETSAT LSA SAF SEVIRI/MSG LAI, FAPAR and FVC products. *Proceedings of the V RAQRS conference*, Torrent, September 2017. pp. 191–196.
- Garbulsky, M.F., Peñuelas, J., Papale, D., Ardo, J., Goulden, M.L., Kiely, G., et al. 2010. Patterns and controls of the variability of radiation use efficiency and primary productivity across terrestrial ecosystems. *Global Ecology and Biogeography*, 19, 253–267. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00504.x>

- García-Haro, F.J., Campos-Taberner, M., Sabater, N., Belda, F., Moreno, A., Gilabert, M.A., Martínez, B., Pérez-Hoyos, A., Meliá, J. 2014. Vulnerabilidad de la vegetación a la sequía en España. *Revista de Teledetección*, 42, 29-37. <https://doi.org/10.4995/raet.2014.2283>
- García-Haro, F.J., Campos-Taberner, M., Muñoz-Mari, J., Laparra, V., Camacho, F., Sánchez-Zapero, J., Camps-Valls, G. 2018. Derivation of global vegetation biophysical parameters from EUMETSAT polar system. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 139, 57-74. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.03.005>
- García-Haro, F.J., Camacho, F., Martínez, B., Campos-Taberner, M., Fuster, B., Sánchez-Zapero, J., Gilabert, M.A. 2019. Climate Data Records of Vegetation Variables from Geostationary SEVIRI/MSG Data: Products, Algorithms and Applications. *Remote Sensing*, 11, 2103. <https://doi.org/10.3390/rs11182103>
- Gilabert, M.A., Moreno, A., Maselli, F., Martínez, B., Chiesi, M., Sánchez-Ruiz, S., et al. 2015. Daily GPP estimates in Mediterranean ecosystems by combining remote sensing and meteorological data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 102, 184-197. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.01.017>
- Jones, L.A., Kimball, J.S., Reichle, R.H., Madani, N., Glassy, J., Ardizzone, J.V., et al. 2017. The SMAP level 4 carbon product for monitoring ecosystem land-atmosphere CO<sub>2</sub> exchange. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55(11), 6517-6532. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2017.2729343>
- Kummerowa, C., Simpson, J., Thielea, O., Barnes, W., Changa, A.T.C., Stockera, E., 2000. The Status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit. *Journal of Applied Meteorology*, 39, 1965-1982.
- Liu, Z., Ostrenga, D., Teng, W., Kempler, S. 2012. Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Precipitation Data and Services for Research and Applications. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93, 1317-1325. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00152.1>
- Liu, N., Harper, R. J., Dell, B., Liu, S., Yu, Z. 2017. Vegetation dynamics and rainfall sensitivity for different vegetation types of the Australian continent in the dry period 2002–2010. *International Journal of Remote Sensing*, 17, 2761-2782. <https://doi.org/10.1002/eco.1811>
- Malo, A.R. Nicholson, S.E. 1990. A study of rainfall and vegetation dynamics in the African Sahel using normalized difference vegetation index. *Journal of Arid Environments*, 19, 1-24. [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(18\)30825-5](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(18)30825-5)
- Martínez, B., Sánchez-Ruiz, S., Gilabert, M.A., Moreno, A., Taberner, M.C., García-Haro, F.J., et al. 2018. Retrieval of daily gross primary production over Europe and Africa from an ensemble of SEVIRI/MSG products. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 65, 124-136. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.10.011>
- Martínez, B., Gilabert, M.A., Sánchez-Ruiz, S., Taberner, M.C., García-Haro, F.J. 2020. Evaluation of the LSA-SAF gross primary production product derived from SEVIRI/MSG data (MGPP). *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 159, 220-236. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.11.010>
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, K. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California, 17–22 January 1993. Boston, American Meteorological Society, 179-184.
- Monteith, J. L. 1972. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of Applied Ecology*, 9, 747-766. <https://doi.org/10.2307/2401901>
- Running, S.W., Zhao, M. 2015. Daily GPP and Annual NPP (MOD17A2/A3) Products NASA Earth Observing System MODIS Land Algorithm. User's Guide. Version 3.0 For Collection 6.
- Sánchez-Ruiz, S., Moreno, A., Piles, M., Maselli, F., Carrara, A., Running, S., Gilabert, M.A. 2017. Quantifying water stress effect on daily light use efficiency in Mediterranean ecosystems using satellite data. *International Journal of digital Earth*, 10(6), 623-638. <https://doi.org/10.1080/17538947.2016.1247301>
- Simpson, J., Adler, R., North, G.A. 1988. Proposed tropical rainfall measuring mission (TRMM) satellite. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 69(3), 278-295. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1988\)069%3C0278:APTRMM%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1988)069%3C0278:APTRMM%3E2.0.CO;2)
- Vicente-Serrano, S.M., Azorín-Molina, C., Peña-Gallardo, M., Tomas-Burguera, M., Domínguez-Castro, F., et al. 2015. A high-resolution spatial assessment of the impacts of drought variability on vegetation activity in Spain from 1981 to 2015. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 19, 1189-1213. <https://doi.org/10.5194/nhess-19-1189-2019>

Zhang, Y., Yu, G., Yang, J., Wimberly, M.C., Zhang, X., Tao, J., et al. 2014. Climate driven global changes in carbon use efficiency. *Global Ecology and Biogeography*, 23, 144-155. <https://doi.org/10.1111/geb.12086>

Zhao, M., Running, S.W., Heinsch, F.A., Nemani, R.R. 2011. *MODIS derived terrestrial primary production. Land Remote Sensing and Global Environmental Change*. Springer, New York, pp. 635-660. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6749-7\\_28](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6749-7_28)

