

## SEGUIMIENTO DE LA CUBIERTA VEGETAL EN LA PENÍNSULA IBÉRICA A PARTIR DE SENSORES DE NUEVA GENERACIÓN Y SU INTERRELACIÓN CON VARIABLES CLIMÁTICAS

F. J. García-Haro (\*), A. Moreno (\*), A. Pérez-Hoyos (\*), M. Amparo Gilabert (\*), J. Meliá (\*),  
F. Belda (\*\*), D. Poquet (\*\*\*), B. Martínez (\*) y A. Verger (\*).

(\*) *Unidad de Investigación de Teledetección, Facultad de Física, Universitat de Valencia,  
Dr. Moliner 50, 46100. Burjassot, Valencia, Spain.*

(\*\*) *Delegación Territorial en Murcia. AEMET, Libertad 11, 30107, Guadalupe, Murcia, Spain.*

(\*\*\*) *Delegación Territorial en Valencia. AEMET, Botánico Cavanilles 3, 46071 Valencia, Spain.*

### RESUMEN

El objetivo principal del proyecto DULCINEA ha sido el desarrollo de una metodología multi-sensor para estimar parámetros biofísicos de la cubierta vegetal. La metodología desarrollada ha proporcionado estimaciones precisas de variables biofísicas de la vegetación (FVC, LAI) que han mostrado ser adecuadas para observar las variaciones inter- e intra-anales de la cubierta en la Península Ibérica durante un periodo de 9 años (2000-2008). Los parámetros biofísicos obtenidos han permitido evaluar la vulnerabilidad de la vegetación ante condiciones ambientales extremas a nivel de la Península Ibérica. Un paso previo ha consistido en la elaboración de mapas detallados de parámetros climáticos y tipos de cubierta dominantes en la zona. Los modelos estadísticos aplicados han evidenciado una correlación significativa entre las variables biofísicas extraídas y algunas variables meteorológicas e índices de sequía operacionales. Esta interrelación es muy dependiente del tipo de cubierta y de las características climáticas de cada región. Se han encontrado correlaciones entre las anomalías de la cobertura vegetal y el SPI especialmente significativas para el caso de las regiones más secas, con valores típicos de  $R^2$  entre 0.4 y 0.7 durante los meses de Mayo y Junio.

### ABSTRACT

The main objective of the DULCINEA project is to provide coherent estimates of bio-physical variables such as fractional vegetation cover (FVC) and leaf area index (LAI) at regional to global scales. One of the goals of the project is to assess the potential of derived biophysical variables in the field of drought conditions monitoring. The aim was to analyse the vulnerability of natural ecosystems against the effects of climate fluctuations like drought and extreme events in the Iberian Peninsula, from the inter-correlation between the retrieved parameters and drought indices such as the Standardized Precipitation Index (SPI). The climatic disturbances affected both the growing season and the total amount of vegetation. Strong correlations have been found between SPI and satellite-derived vegetation products, which are particularly significant in semi-arid regions.

**Palabras clave:** sensores de nueva generación, fracción de cubierta vegetal (FVC), parámetros climáticos, sequía.

### INTRODUCCIÓN

Este trabajo se ha desarrollado en el contexto del proyecto DULCINEA, cuyo objetivo principal es obtener estimaciones precisas de variables biofísicas de la vegetación tales como la fracción de cobertura vegetal (FVC) y el índice de superficie foliar (LAI). Estas variables son adecuadas para observar la dinámica de la cubierta a escala regional y global y se consideran prioritarias para estudiar los ciclos de carbono y agua, los cambios en el uso de suelo, la variabilidad climática, la predicción meteorológica y numerosas aplicaciones de la biosfera. Nuestro primer objetivo ha sido la elaboración de una serie multi-anual de imágenes de sensores de última generación a una resolución espacial baja (1-3 km) (SEVIRI/MSG,

VEGETATION/SPOT) y media (250-300 m) (MODIS/EOS, MERIS/ENVISAT). Para la estimación de variables biofísicas de las cubiertas vegetales, se ha partido de la metodología que hemos desarrollado en el contexto de LSA SAF, la cual es específica de los datos SEVIRI/MSG (García-Haro et al. 2008a). Se han introducido mejoras sustanciales en esta metodología para adaptar los parámetros del modelo a las condiciones de la escena, que han aportado un valor añadido para el seguimiento de la dinámica de la cubierta vegetal en la Península Ibérica. Dada la gran variedad de tipos de cubierta y condiciones climáticas que existen en ella, se requiere disponer de una adecuada representación de la misma. Por ello, se ha realizado una caracterización de las cubiertas vegetales con el objetivo de estratificar el paisaje en zonas

homogéneas, y mejorar así la interpretabilidad de las interacciones entre vegetación y clima. Finalmente, se ha realizado un análisis estadístico de la interrelación entre las variables biofísicas y las variables climáticas.

## ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS DE LA CUBIERTA

El algoritmo modela la reflectividad de la superficie a partir de la contribución de la señal de interés (vegetación) y del suelo de fondo. Ambas componentes vienen caracterizadas de una forma estadística a partir de una suma de funciones gaussianas. Aunque esta metodología se ha aplicado sobre datos MODIS (con una resolución espacial de 1 km), se han integrado datos de varias fuentes diferentes y con una resolución mayor para proporcionar una descripción más detallada y precisa de la superficie: (i) compuestos mensuales de reflectividad MERIS-FR TOAVEG proporcionados por POSTEL (ESA/GLOBCOVER), y (ii) la clasificación *CORINE Land Cover* (CLC2000). Esta información sub-píxel nos ha permitido refinar la metodología con el fin de: (1) aumentar la calidad y representatividad de las áreas puras seleccionadas y (2) introducir información *a priori* en el cálculo de la probabilidad de las distintas subclases espectrales en cada zona de la imagen. Se recoge así de una forma más adecuada la variabilidad de cada variedad vegetal y tipo de suelo presente en la escena. Otro aspecto metodológico de interés ha consistido en utilizar información temporal, para extraer las fechas con mayor presencia de suelo y vegetación en cada píxel. Cada estimación incluye una incertidumbre asociada a las condiciones específicas (calidad de los *inputs*, error teórico del algoritmo, etc.). La metodología desarrollada se ha aplicado para obtener una serie temporal de parámetros biofísicos de la cubierta (FVC, LAI) de la Península Ibérica durante un periodo de 9 años (Febrero 2000- Enero 2009). Los mapas se han generado a una resolución espacial de 1 km con una frecuencia de 16 días (23 observaciones/año).

Se han utilizado distintas técnicas para la reconstrucción de los ciclos anuales de la vegetación y extracción de parámetros fenológicos de la cubierta. Estas incluyen métodos basados en el análisis de Fourier (García-Haro et al. 2008b), análisis multi-resolución wavelets (Martínez et al. 2009) y métodos basados en el uso de filtros (Savitzky-Golay, LOESS) para la detección/interpolación de observaciones erróneas y reducción de ruido en las estimaciones. La reconstrucción se basa en un proceso iterativo, en el que cada observación tiene asociada un peso que es

una función de sus errores iniciales y los errores de reconstrucción.

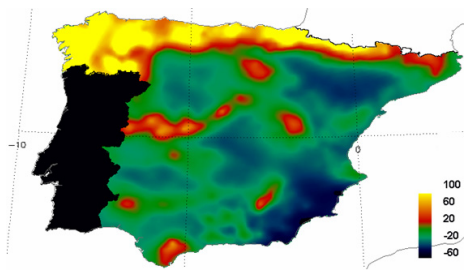
La validación científica ha consistido en determinar la calidad del producto mediante su comparación directa con medidas *in-situ* y la intercomparación con productos derivados de los algoritmos operacionales (Verger et al. 2009). A partir de las medidas *in-situ* se han obtenido mapas de alta resolución a diferentes escalas utilizando técnicas de *upsampling* multi-resolución (García-Haro et al. 2008b). Los mapas obtenidos son consistentes con los productos operacionales actualmente disponibles (MODIS, VGT, MERIS, SEVIRI).

## ELABORACIÓN DE MAPAS DETALLADOS

Una aplicación directa de las variables biofísicas obtenidas ha sido la discriminación de las cubiertas principales en la Península utilizando técnicas de clasificación basadas en la trayectoria anual de la FVC. El resultado ha sido una clasificación altamente consistente con los productos de cobertura disponibles (CLC2000, GLC200 y GLOBCOVER) (Pérez-Hoyos et al., este volumen).

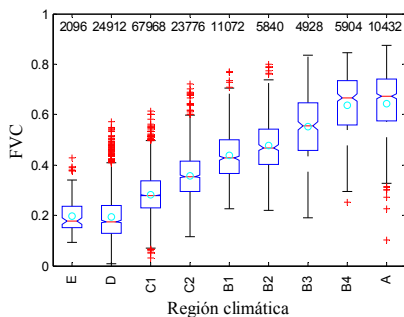
La caracterización climática se ha realizado utilizando datos registrados por todas las estaciones meteorológicas de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMet) durante el periodo 1950-2008. La red de observatorios repartidos por todo el territorio nacional está compuesta esencialmente por estaciones pluviométricas y observatorios principales. Para la construcción de nuestra base de datos de imágenes se utilizó el kriging ordinario como método de interpolación (García-Haro et al. 2008c).

A partir de la temperatura media mensual durante el periodo de estudio se ha obtenido asimismo la evapotranspiración potencial (ETP) utilizando el método empírico Thornthwaite et al. (1948). El balance anual entre ETP y la precipitación nos ha permitido obtener los índices de humedad y aridez anuales. La combinación lineal de ellos da lugar al índice hídrico anual (ver Figura 1). Este índice permite distinguir 9 regiones de humedad en España, que van desde el clima muy húmedo en el norte al árido en el sureste. Una limitación de esta clasificación es que no tiene en cuenta la orografía, la cual juega un papel esencial en la precipitación. Ello se ha demostrado en la regionalización de España a partir de variables climáticas y parámetros topográficos (Poquet et al. 2008).



**Figura 1.-** Valor medio del índice hídrico anual en la Península Ibérica correspondiente al periodo 1950-2008. Se pueden distinguir diferentes regiones de humedad. A: muy húmedo (>100); B: húmedo [20,100]; C: subhúmedo [-20,20], D:semiárido, [-20,-40]; E: árido (<-40).

La Figura 2 muestra la distribución de valores de FVC media anual para las distintas regiones de humedad. Se observa una fuerte relación lineal entre la cobertura vegetal y el nivel de humedad, que pone de manifiesto una fuerte interrelación entre la vegetación y el clima en España.



**Figura 2.-** Distribución de la FVC media para las regiones climáticas de España. Cada caja cubre el intervalo entre los percentiles 25 y 75; el segmento central corresponde a la mediana y el círculo al valor medio. Valores anómalos aislados se identifican por el símbolo (+). La cifra en la parte superior indica el número de píxeles en cada clase.

#### Caracterización del estrés hídrico

Para caracterizar la sequía hemos utilizado índices operacionales basados en datos de precipitación y temperatura, como el SPI y la diferencia P-ETP, que nos proporcionan una información directa y homogénea de las condiciones climáticas en cada momento:

1) El SPI (*Standardized Precipitation Index*) se basa en el concepto de sequía meteorológica, y permite

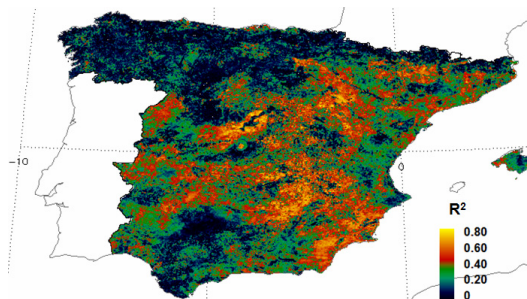
cuantificar el déficit de precipitación para múltiples escalas de tiempo (McKee *et al.* 1993).

2) El estrés hídrico, obtenido a partir de la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración potencial de Thornthwaite, P-ETP, nos ha permitido cuantificar el estado de humedad de la superficie.

#### INTERRELACIÓN ENTRE VEGETACIÓN E ÍNDICES DE SEQUÍA

Se ha implementado un modelo de regresión lineal entre las series temporales de anomalías de las variables biofísicas extraídas (p.ej. FVC) y los índices de estrés hídrico. Dado que estas relaciones tienen un carácter estacional muy marcado, el análisis se centra en ventanas temporales (3-5 meses), con el fin de identificar periodos en los que la vegetación es más vulnerable a la sequía. Además, se han introducido variables categóricas (*“dummy”*), para considerar las diferencias mensuales en los coeficientes del modelo lineal.

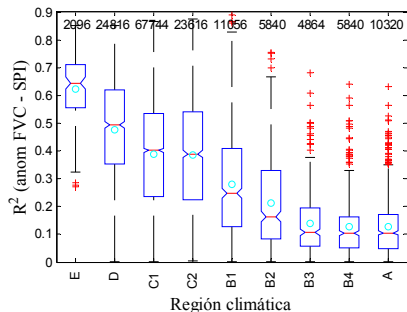
Se ha observado una correlación significativa entre las magnitudes consideradas para diferentes retrasos (*lags*) y periodos temporales. Con el fin de mejorar las predicciones, se han considerado sólo variables significativas (es decir,  $p < 0.05$ ). La Figura 3 muestra la distribución espacial del coeficiente de determinación  $R^2$  entre SPI-3 meses y FVC, correspondiente al periodo Mayo-Agosto.



**Figura 3.-** Coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de la regresión lineal con variables *dummy* entre SPI-3 meses (retardado 1 mes) y anomalía mensual de FVC del periodo Mayo-Agosto a lo largo de 9 años (2000-2008).

En este periodo se obtuvieron correlaciones muy significativas en numerosas regiones entre las anomalías en la vegetación y el SPI, que sin embargo depende fuertemente del tipo de cubierta y del régimen de precipitaciones. Ello puede verse más claramente en la Figura 4. La correlación entre

las anomalías en la vegetación y el SPI es muy significativa para el caso de las regiones áridas, y semiáridas (con valores típicos de  $R^2$  entre 0.4 y 0.7). Dicha relación lineal es, sin embargo, poco significativa en el caso de las regiones más húmedas. Ello indica claramente que las zonas más secas son las que presentan una mayor sensibilidad al estrés hídrico.



**Figura 4.-** Distribución de los valores de  $R^2$  correspondientes a la figura xx, para las regiones climáticas de España.

## BIBLIOGRAFIA

García-Haro, F.J., F. Camacho and J. Meliá, 2008, Product User Manual (PUM) of *Land Surface Analysis Vegetation products (SAF/LAND/UV/PUM\_VEGA/2.1)*, 53 pp.

García-Haro, F. J., Belda, F., Gilabert Navarro, M.A., Meliá, J., Moreno, A., Poquet, D., Pérez-Hoyos, A., Segarra, S. 2008, Monitoring drought conditions in the Iberian Peninsula using moderate and coarse resolution satellite data, In *Proc. of the '2nd MERIS / (A)ATSR User Workshop'*, ESA SP-666, European Space Agency, Noordwijk, The Netherlands, ISBN 978-92-9221-230-8, 7 pp.

García-Haro, F.J., F. Belda and D. Poquet, 2008, Estimation of climatological variables in Spain during the 1950-2008 period using geostatistical

techniques, *8th Annual Meeting of the EMS / 7th ECAC EMS8/ECAC7 Abstracts*, Vol. 5, EMS2008-A-00319, 2008.

McKee, T.B., N. J. Doesken, and J. Kliest, 1993, The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference of Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA*. American Meteorological Society, Boston, MA. 179-184.

Poquet, D. Belda, F. García-Haro, F.J. 2008. Regionalización de la sequía en la península ibérica desde 1950 hasta 2007 a partir del SPI y una modelización digital terreno, *XXX Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española "Agua y Cambio Climático", IX Encuentro Hispano-Luso de Meteorología y XII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología, Zaragoza (España)*, 5-7 de mayo, 5 pp.

Martínez, B. and Gilabert, M.A., 2009, Vegetation dynamics from NDVI time series analysis using the wavelet transform, *Remote Sensing of Environment*, accepted.

Thornthwaite, C. W., 1948 An approach toward a rational classification of climate. *The Geographical Review*, vol. 38, pp. 55-94.

Verger, A., B. Martínez, F. Camacho-de Coca, & F. J. García-Haro 2009, Accuracy assessment of fraction of vegetation cover and leaf area index estimates from pragmatic methods in a cropland area. *International Journal of Remote Sensing*. In press.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca en el proyecto DULCINEA (CGL2005-04202) y ha contado además con el soporte del proyecto ARTEMIS (CGL2008-00381). Los datos climáticos han sido proporcionados por AEMet.