

# Extracción de los principales modos de variabilidad espacio-temporal de la clorofila-a en el Golfo de Vizcaya

Y. Sagarmínaga  
ysagarminaga@pas.azti.es

*AZTI - Tecnalia. Unidad de Investigación Marina  
Herrera kaia portualdea z/g. 20110 Pasaia. Gipuzkoa*

## RESUMEN

En este estudio se han analizado las evoluciones espacial y temporal de la concentración de clorofila-a en el Golfo de Vizcaya (43-48°N, 11-1°W) desde 1998 hasta el 2004, utilizando las imágenes semanales del sensor SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor) de 9 km de resolución espacial.

Tras reconstruir la base de datos histórica mediante el algoritmo EM "regularized Expectation Maximization", se han extraído mediante funciones empíricas ortogonales (EOFs) los patrones de variabilidad espacial y temporal más relevantes: como resultado se han retenido 4 componentes principales que explican el 92% de la variabilidad espacio-temporal de la zona de estudio.

Cada patrón retenido se ha proyectado espacialmente y se ha representado gráficamente su serie temporal, para ofrecer una interpretación preliminar que sirva de marco para futuros análisis cuantitativos sobre los fenómenos claves que generan los sucesos y dinámicas observadas en este estudio.

**PALABRAS CLAVE:** fitoplancton, SeaWiFS, Golfo de Vizcaya, funciones empíricas ortogonales, dinámica espacio-temporal.

## ABSTRACT

The temporal and spatial evolution of the chlorophyll-a concentration in the Bay of Biscay (43-48°N, 11-1°W) from 1998 to 2004 was investigated using SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor) weekly 9 km spatial resolution images.

After a dataset reconstruction using the regularized expectation maximization (EM) algorithm, spatial patterns of variability, their time variation and a measure of their importance have been extracted for the whole area, by means of the Empirical Orthogonal Functions (EOF) method. As a result, four principal components have been retained which explain 92% of the spatio-temporal variability in the area.

For each of the patterns retained, a projection of their spatial and temporal patterns has been made and a preliminary interpretation of these results has been made in order to guide future analysis for quantitatively explain the driving forces of the different events and dynamics outlined.

**KEY WORDS:** phytoplankton, SeaWiFS, Bay of Biscay, empirical orthogonal functions, spatio-temporal dynamics.

## INTRODUCCIÓN

En los ecosistemas marinos de las zonas templadas situadas en latitudes medias, la producción primaria total, presenta una variabilidad muy marcada. La intensidad, duración y localización espacio-temporal de los sucesos de producción son generadas por una multitud de factores físicos y ecológicos.

La variabilidad espacio-temporal de la producción primaria en esta zona se han descrito en diversos proyectos y estudios: El proyecto JGOFS-NABE (North-Atlantic Bloom Experiment), las campañas ECOFER (Ecosystem of Cap Ferret Can-

yon), numerosos estudios costeros sobre la plataforma y el talud (Tréguer *et al.*, 1979; Valencia *et al.*, 1989; Herbland *et al.*, 1998; Lambert, 2001; García-Soto y Pingree, 1998). Todos estos estudios ofrecen información con un gran nivel de detalle para zonas muy localizadas dentro del Golfo de Vizcaya.

En este contexto, este estudio persigue utilizar metodologías estadísticas avanzadas que ofrezcan resultados sinópticos de escala regional sobre la dinámica general de la concentración de clorofila-a. Estos resultados podrán ser utilizados como marco regional por estudios locales de detalle sobre producción primaria en distintas áreas del Golfo.

## MATERIAL Y METODOS

Los datos analizados corresponden al producto SeaWiFS de nivel 3 semanal (8 días) de 9 Km de resolución espacial, que estima la concentración de clorofila subsuperficial mediante el algoritmo bioóptico OC4 (O'Reilly *et al.*, 1998).

La ventana geográfica utilizada se sitúa entre 43-48°N y 11-1°W, y el rango temporal incluye los años entre 1998 y 2004.

El algoritmo OC4, está especialmente adaptado para las aguas claras de tipo 1 donde la mayor parte de la radiancia de superficie se debe a la clorofila del fitoplancton. Sin embargo, para zonas y/o situaciones de alta turbidez, este algoritmo sobreestima claramente la concentración de clorofila (Gohin *et al.*, 2002). Por tanto, para limitar los errores de sobreestimación excesiva principalmente en zonas costeras y de plataforma, se han eliminado los valores que exceden 3 desviaciones estándar climatológicas de la concentración de clorofila media climatológica en el mismo píxel.

El primer paso previo al análisis de estos datos consistió en la reconstrucción de la base de datos para rellenar los huecos debidos a la cobertura nubosa. En la ventana geográfica analizada, estos huecos representan aproximadamente un 20% de los datos totales. La presencia de huecos se produce especialmente durante los meses de otoño-invierno, y en algunos años los huecos son relativamente grandes. Por tanto, en lugar de aplicar interpolaciones lineales simples que en algunas zonas de la base de datos proporcionarían niveles de significancia bajos, se ha optado por aplicar métodos que tengan en cuenta las covarianzas espaciales y temporales del resto de la base de datos para estimar los valores de los huecos. En concreto el método utilizado ha consistido en la aplicación del algoritmo de maximización de la esperanza (EM) propuesto por Schneider, 2001. Este algoritmo re-estima de manera iterativa la medias y las matrices de covarianza hasta llegar a un valor aceptable de error cuadrático medio de los valores interpolados (en este caso 0.005) obtenido a partir del test de validación cruzada.

Una vez reconstruida la base de datos, se ha realizado un análisis con funciones empíricas ortogonales (EOFs). Este método consiste en estimar los patrones de variabilidad espacial (modos empíricos principales) y su variabilidad temporal asociada (coeficientes de expansión) que explican la mayor parte de la varianza contenida en una matriz espacio/tiempo de un parámetro (Bjornsson *et al.*, 1997). El cómputo de

los modos empíricos, se basa en el cálculo de valores propios y vectores propios a partir de la matriz de covarianzas de los datos y es similar al análisis de componentes principales, aunque algunos autores definen ambos métodos de manera distinta (Richman 1985 *quoted by* Bjornsson *et al.*, 1997).

Una vez estimados los modos empíricos principales y sus coeficientes de expansión, se han proyectado espacialmente y se han representado gráficamente sus series temporales asociadas, para ofrecer una interpretación preliminar que sirva de marco para futuros análisis cuantitativos sobre los fenómenos claves que generan los sucesos y dinámicas observadas en este estudio.

Asimismo se han generado unos periodogramas que representan la potencia (eje de ordenadas) de las diferentes frecuencias temporales (abscisas). Estos valores son obtenidos mediante la aplicación de una transformada discreta de fourier a los vectores temporales de los coeficientes de expansión.

Estos periodogramas han servido para una identificación preliminar de las señales cíclicas (estacionales o plurianuales) dentro de la evolución temporal de los modos empíricos estimados.

## RESULTADOS

La reconstrucción de la base de datos llegó a convergencia tras 20 iteraciones. El resultado obtenido fue una matriz de 319 columnas (serie temporal para cada píxel) y 7200 líneas correspondientes a cada uno de los píxeles de la ventana del golfo de Vizcaya (120 x 60 píxeles).

Tras realizar el análisis EOF se retuvieron cuatro modos empíricos que explican el 92% de la varianza total de los datos (cf. Figura 1).

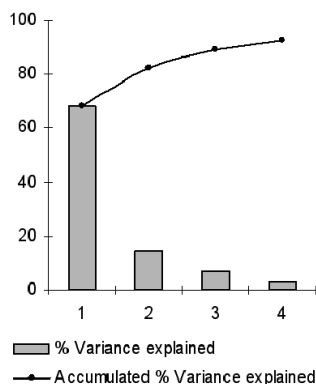


Figura 1. Valores de porcentaje explicado por los cuatro primeros modos empíricos retenidos.

Los patrones espaciales derivados de las cuatro primeras componentes se muestran en la figura 2. Las series temporales de los coeficientes de expansión de cada modo se muestra en la figura 3.

Estas series muestran una gran variabilidad interanual y a simple vista no presentan una estacionalidad clara. Los periodogramas generados para cada una de estas series ayudan a identificar posibles señales cíclicas que pueden ser relevantes para identificar los procesos responsables de la dinámica de cada modo.

La primera componente (68%) es predominante en las zonas profundas en el centro del golfo de Vizcaya y parece estar caracterizada por un suceso cíclico principal situado en una frecuencia de 9.5 meses y un ciclo secundario en 7.1 meses.

La segunda componente (14%) muestra sucesos de producción que ocurren en el talud del mar celtico y en la parte central de la plataforma Armoricana entre las desembocaduras de los ríos Garona y Loira. Su serie temporal, con potencias espectrales de un orden de magnitud inferiores a las del modo 1, indica un pico en 8.5 meses. Este modo parece estar muy relacionado con acontecimientos registrados en el 2001.

El tercer modo (7%) muestra sucesos situados en la plataforma interna francesa y la plataforma noroeste española. El periodograma indica un pico principal en la frecuencia de 10.6 meses y dos picos secundarios en 5.7 y 7.7 meses. Existe un cambio notable de dinámica temporal de este modo entre el periodo 1998-2000 y 2001-2004. La plataforma cantábrica oriental está fragmentada entre los modos 1 (relacionado con la dinámica de zonas profundas) y el modo 3 (relacionado con zonas costeras).

Finalmente el cuarto modo (último retenido que explica el 3% de la varianza) se muestra en tres zonas: costa gallega, plataforma media en frente del Garona y plataforma media en frente del Loira. Este modo registra valores de potencia espectral alta en frecuencias bianuales (12.2 meses). A este modo contribuyen de manera más relevante acontecimientos de finales de año en el periodo 1998-2000.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este trabajo se ha alcanzado a sintetizar y describir de manera sinóptica la variabilidad espacio-temporal de la concentración de clorofila-a en el Golfo de Vizcaya, utilizando métodos estadísticos avanzados cuya principal ventaja es que conjugan

las dimensiones espacial y temporal en lugar de tratarlas por separado. Además, estos métodos sintetizan toda la información en un número limitado de modos que explican la gran mayoría de la variabilidad contenida en los datos.

Estos resultados, aunque preliminares, ponen de manifiesto que en el golfo de Vizcaya la dinámica de la producción de clorofila-a es altamente variable tanto espacial como temporalmente, de modo que cualquier resultado de carácter "local" no debe ser extrapolado a otras áreas o épocas sin los análisis oportunos. La siguiente etapa de este trabajo consistirá en identificar cuales son los factores que rigen esta variabilidad analizando la relación entre los modos puestos de manifiesto en este estudio y las condiciones meteorológicas de la zona de estudio (condiciones de luz, turbulencia por forzamiento de vientos), oceanográficas (mezcla vertical, transporte de nutrientes, afloramientos, remolinos, aporte fluvial...) y biológicas (sucesiones de población, herbivorismo...). Además, los periodos plurianuales parecen indicar que existen factores de carácter climático (índices de teleconexión, influencia de corrientes generales, etc.) que pueden afectar de manera significativa los ritmos de producción primaria de la zona.

Estos análisis permitirán definir hasta qué punto, los modos empíricos encontrados efectivamente representan procesos físicos ó biológicos, o son un mero producto estadístico.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente realizado en el marco del proyecto "Dinámica de las Proliferaciones de Fitoplancton de Primavera en la costa Cantábrica (DINAPROF)" financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia Ref. MEC: REN2003-09549-C03-02. Los datos SeaWiFS han sido cedidos por el "SeaWiFS Project NASA/Goddard Space Flight Center".

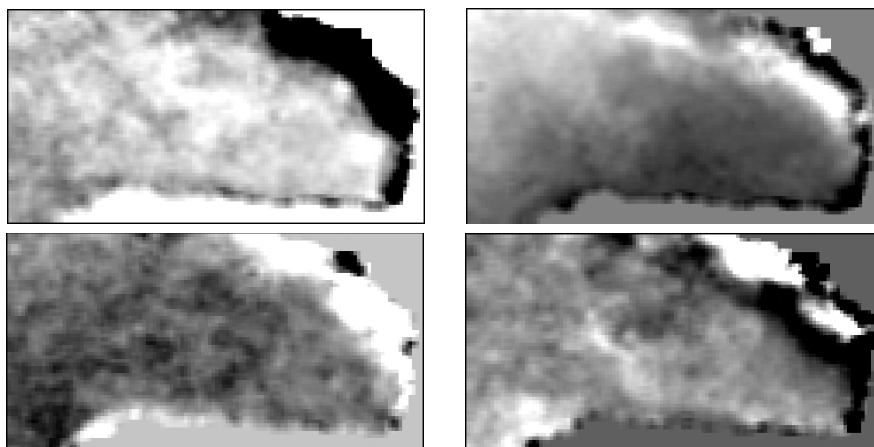
## BIBLIOGRAFÍA

BJORNSSON, H. y VENEGAS, S. A. 1997. A manual for EOF and SVD analyses of climatic data, Technical Report from Department of Atmospheric and Oceanic Sciences and Center for Climate and Global Change Research, McGill University, Canada.

Y. Sagarmínaga

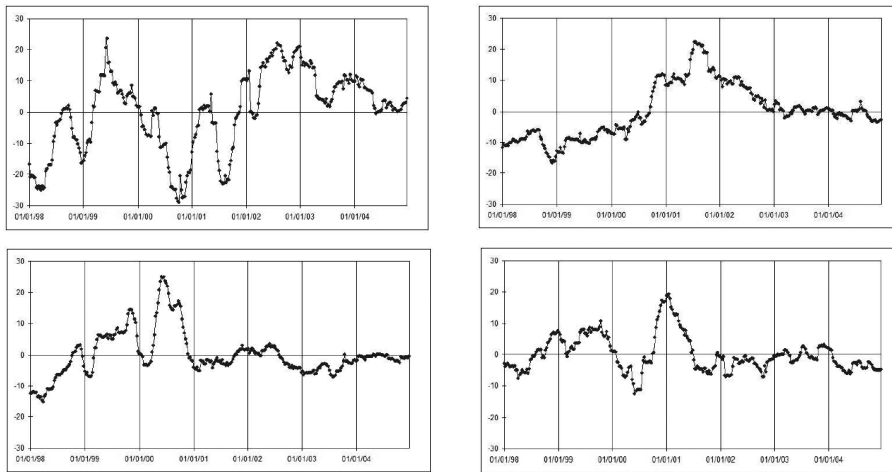
- GARCIA-SOTO, C. y PINGREE R. D. 1998. Late autumn distribution and seasonality of chlorophyll *a* at the shelf-break/slope region of the Armorican and Celtic Shelf. *J. Mar. Biol. Assoc. UK* 78: 17-33.
- GOHIN, F., DRUON, J. N., y LAMPERT, L. 2002. A five channel chlorophyll concentration algorithm applied to SeaWiFS data processed by SeaDAS in coastal waters. *Int. J. Rem Sens.* 23: 1639-1661.
- HERBLAND, A., DELMAS, D., LABORDE, P., SAUTOUR, B. y ARTIGAS, F. 1998. Phytoplankton spring bloom of the Gironde plume waters in the Bay of Biscay: early phosphorus limitation and food-web consequences. *Oceanol. Acta* 21 (2):279-291.
- LAMBERT, L. 2001. Dynamique saisonnière et variabilité pigmentaire des populations phytoplanctoniques dans l'Atlantique Nord (Golfe de Gascogne). Tesis Doctoral. Université de Bretagne Occidentale, France.
- LOYER, S., LAMBERT, L., MENESGUEN, A., CANN P. y LABASQUE T. 2006. Seasonal evolution of the nutrient pattern on Biscay Bay continental shelf over the years 1999-2000. *Sci. Mar.* 70 (1), 31-46.
- O'REILLY, J. E., MARITORENA, S., MITCHELL, B. G., SIEGEL, D. A., CARDER, K. L. y GARVER, S. A. 1998. Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS. *J. Geophys. Res.* 103, 24937-24953.
- SCHNEIDER, T. 2001: Analysis of incomplete climate data: Estimation of mean values and covariance matrices and imputation of missing values. *J. Climate* 14, 853-871.
- TRÉGUER, P., LE CORRE, P. y GRALL, J. R. 1979. The seasonal variations of nutrients in the upper waters of the Bay of Biscay region and their relation to phytoplankton growth. *Deep-Sea Res. Part II* 26: 1121-1152.
- VALENCIA, V., MOTOS, L. y URRUTIA, J. 1989. *Estudio de la variación temporal de la hidrografía y el plancton de la zona nerítica frente a San Sebastián*. Informes Técnicos de Departamento de Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco 20, 81 pp.

## Anexos

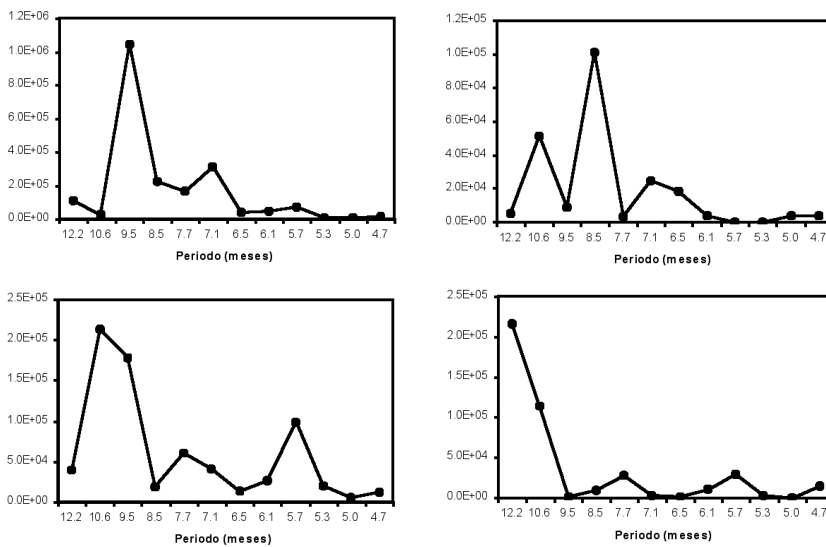


**Figura 2.** Proyección espacial de los cuatro primeros modos empíricos: arriba-izquierda EOF1, arriba-derecha EOF2, abajo-izquierda EOF3, abajo-derecha EOF4.

Extracción de los principales modos de variabilidad espacio-temporal de la clorofila-a en el Golfo de Vizcaya



**Figura 3.** Proyección temporal de los cuatro primeros modos retenidos (Expansion Coefficients EC): arriba-izquierda EC1, arriba-derecha EC2, abajo-izquierda EC3, abajo-derecha EC4. Las barras verticales separan los periodos anuales en el periodo 1998-2004.



**Figura 4.** Periodogramas de los cuatro primeros coeficientes de expansión (EC): arriba-izquierda EC1, arriba-derecha EC2, abajo-izquierda EC3, abajo-derecha EC4. Las abscisas representan valores de periodos en número de meses. El intervalo retenido –en función del número de muestras (7 años) y frecuencia de muestreo (8 días)– va desde 4.7 a 12.2 meses.