



Variabilidad de la clorofila a en las aguas costeras de la Península Ibérica entre 1998 y 2007 usando datos de SeaWifs

Autor: Lorena Salgado Costa

Institución: Coordinadora Estatal de Ciencias Ambientales (CECAA)

Resumen

Se ha llevado a cabo un estudio de la concentración de clorofila a a lo largo de toda la costa de la Península Ibérica a partir de datos satelitales comprendidos entre los años 1998 y 2007.

La clorofila a es un indicador de producción primaria, y por lo tanto también lo es de la actividad biológica. Su concentración depende fundamentalmente de la disponibilidad de luz y nutrientes.

Para un mejor estudio del área se ha dividido el territorio peninsular en cuatro zonas diferenciadas, puesto que poseen características muy distintas. Estas zonas se corresponden con el mar Cantábrico, el océano Atlántico, el Estrecho de Gibraltar y el mar Mediterráneo. Se obtienen las concentraciones más altas en la zona atlántica, en el periodo estival, debido al fenómeno de afloramiento que sucede en esta región en dicha época, ya que el afloramiento trae a la superficie aguas frías y ricas en nutrientes y esto favorece el crecimiento del fitoplancton y por lo tanto una mayor concentración de clorofila.

Para observar mejor lo que sucede en relación con el afloramiento también se ha estudiado el viento y el transporte de Ekman, así como la temperatura superficial del mar, obtenidos de nuevo de datos procedentes de satélites. De este modo podemos relacionar la concentración de clorofila con estos factores y ver qué zonas están influenciadas por el afloramiento de aguas profundas.

Puesto que la concentración de clorofila depende en ciertas zonas de la descarga de los ríos debido al aporte de nutrientes que éstos hacen, dicha descarga también se ha tenido en cuenta en el estudio, de manera que se compara con la concentración de clorofila. Se han tenido en cuenta los ríos más importantes: Miño, Mondego, Tajo, Duero y Ebro. Es en este último donde la influencia de la descarga sobre las cantidades de clorofila observadas parece ser mayor que en el resto.

Palabras clave: clorofila; aguas costeras; SeaWifs; fitoplancton

1. Introducción

La clorofila *a* es un pigmento fotosintético presente en el fitoplancton que le da un color verdoso a éste. La concentración de clorofila *a* oceánica permite una estimación de la concentración de fitoplancton y por lo tanto, de la actividad biológica. Es un indicador básico de producción primaria. En ambientes marinos la producción primaria es el resultado del movimiento de las masas de agua y de las condiciones de luz y nutrientes (Picado et al., 2013). De estas condiciones dependerá la concentración de clorofila. La luz del sol más fuerte en primavera, así como los aportes de sedimentos ricos en nutrientes del agua dulce que descargan los ríos, hacen que tengan lugar concentraciones de fitoplancton de gran intensidad durante esta época del año. Además durante el verano debido a las condiciones atmosféricas tiene lugar el fenómeno de afloramiento o upwelling producido por el viento en la costa oeste peninsular, lo que permite el ascenso de aguas frías y ricas en nutrientes, las cuales favorecen el crecimiento de fitoplancton.

Los pigmentos de la clorofila tienen una firma espectral específica y distintiva, pues absorben en las longitudes de onda correspondientes a los colores azul (455-492nm) y rojo (622-700nm) del espectro, así como una reflectancia fuerte en el verde (492-577nm), afectando por lo tanto al color del océano. Las observaciones multiespectrales del océano con sensores espaciales, permiten la observación de estos cambios de color en el océano localizando las áreas de concentración de fitoplancton (Somoza et al., 2007). Observando los datos satelitales y conociendo las áreas con mayor concentración de fitoplancton, se pueden localizar las mejores zonas pesqueras,

puesto que las áreas ricas en fitoplancton son las más activas biológicamente y las más favorables para la pesca.

El fitoplancton está siempre presente en el agua, pero la luz del sol más fuerte en primavera, así como los aportes de sedimentos ricos en nutrientes del agua dulce que descargan los ríos, hacen que tengan lugar concentraciones de fitoplancton de gran intensidad durante esta época del año. Además de los espectaculares *blooms* primaverales también ocurren eventos similares durante el verano cuando, debido a las condiciones atmosféricas, tiene lugar el fenómeno de afloramiento o upwelling producido por el viento. Durante el otoño y el invierno, las variaciones de Chl *a* dependen de factores como el aporte de nutrientes transportados por los ríos o la ocurrencias de temporales en el océano que mezclen las aguas superficiales con las aguas profundas. (Álvarez et al., 2012).

El análisis de la concentración de clorofila llevado a cabo en el presente trabajo abarca toda la costa de la Península Ibérica, por lo que tenemos en cuenta el área comprendida entre las coordenadas 35°N y 45°N, y entre 11°W y 5°E. Para un mejor análisis de la costa, se ha dividido el territorio en 4 zonas bien diferenciadas (Fig. 1.1): la zona correspondiente al Mar Cantábrico, la zona del Océano Atlántico, la del Estrecho de Gibraltar y por último la zona correspondiente al Mar Mediterráneo, ya que estas zonas tienen características muy distintas.

La zona del Atlántico tiene como peculiaridad que es el límite superior del sistema de afloramiento del este del Atlántico Norte (*Eastern North Atlantic Upwelling System*), de manera que en la época estival, las aguas profundas más frías y ricas en nutrientes ascienden y dan lugar a *blooms* de fitoplancton.

Otro importante aporte de nutrientes es el debido a la descarga de los ríos por lo que para considerar el efecto que la descarga fluvial tiene sobre las zonas costeras se han considerado 5 de los principales ríos de la Península Ibérica: Miño, Duero, Mondego, Tajo y Ebro.

El objetivo de este trabajo, es por tanto, el análisis en la costa peninsular de la clorofila *a* y su variabilidad debida a factores como el afloramiento y la descarga fluvial.

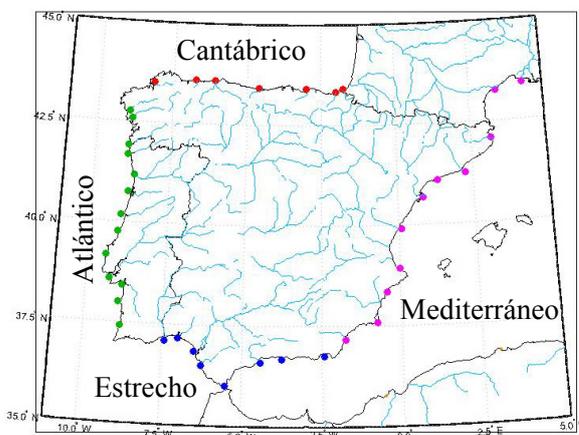


Fig. 1.1. Mapa del área de estudio. Se muestran las cuatro zonas costeras consideradas: Cantábrico, Atlántico, Estrecho de Gibraltar y Mediterráneo. Los puntos en los que se mide la concentración de clorofila y las desembocaduras de los ríos analizados: Miño, Duero, Mondego, Tajo y Ebro.

Center (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/SeaWiFS/>), los cuales han sido "agrupados" espacialmente en celdas de 9 km de resolución que abarcan todo el mundo y temporalmente en periodos de 8 días entre 1998 y 2007.

Los datos de temperatura superficial del mar han sido obtenidos del radiómetro AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), con una resolución espacial de 4 km y temporal de 8 días para el periodo 1998-2007.

La base de datos escogida para obtener el viento a 10 m de altura es el Reanálisis NCEP Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) para el periodo 1998-2007 (<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/climate-forecast-system-reanalysis-cfsr>), contando con una resolución espacial de 0.5°.

También se han utilizado datos del caudal de los principales ríos que desembocan en la Península Ibérica. (Miño, Duero, Mondego, Tajo y Ebro). Éstos han sido obtenidos a partir de diferentes bases de datos. Los correspondientes al río Miño han sido proporcionados por la Confederación Hidrográfica Miño-Sil (<http://www.chminosil.es>). Los datos del Duero, Mondego y Tajo fueron extraídos del Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (<http://www.snirh.pt/>). Y por último, los pertenecientes al río Ebro se obtuvieron de la Red Nacional de Estaciones de Aforo (<http://hercules.cedex.es/anuarioaforos/default.asp>).

2. Datos y procedimiento

Para el análisis de la concentración de clorofila *a* se utilizaron los datos del satélite OrbView-2 proporcionados por el sensor SeaWiFS. En este caso se han considerado los datos proporcionados por la NASA's Goddard Space Flight

2.1. Procedimiento

Para considerar la distribución mensual de la concentración de clorofila *a*, calculamos la media mensual para el periodo 1998-2007 a partir de los datos

obtenidos de SeaWiFS. A partir de las medias mensuales, se calcularon las medias anuales para el periodo en las cuatro áreas en las que se dividió la Península Ibérica.

Las series fueron suavizadas llevando a cabo una media móvil a 5 vecinos. También se calcularon las anomalías mensuales de concentración de clorofila para cada una de las zonas. La anomalía mensual resulta de restarle a la concentración media de clorofila del mes objeto de cálculo la concentración media de dicho mes para el periodo 1998-2007 (1.a). Valores positivos del indicador indican concentraciones superiores a las normales en ese mes mientras que valores negativos denotan concentraciones inferiores a las normales.

$$A[Chl_a]_{mes} = [Chl_a]_{mes} - \overline{[Chl_a]_{mes}} \quad (1.a)$$

donde $A[Chl_a]_{mes}$ es la anomalía de la concentración de clorofila del mes, $[Chl_a]_{mes}$ la concentración media mensual de clorofila del mes y $\overline{[Chl_a]_{mes}}$ la concentración media de clorofila del mes en el periodo 1998-2007.

Con las series de anomalías obtenidas se ha calculado la tendencia de concentración de clorofila en el periodo 1998-2007 para las 4 regiones de estudio.

De entre los múltiples métodos que permiten determinar la tendencia se ha elegido el de mínimos cuadrados. En este método una vez representada la serie, se ajustará por mínimos cuadrados a la línea más conveniente,

hallándose también la medida de la bondad o representatividad del ajuste correspondiente.

En las series temporales, haremos el siguiente cambio de variable (pues los valores de t son correlativos):

Si el número de valores de t es impar: $t' = t - Ot$ (donde Ot es el valor central de la serie de valores de t). Si el número de valores de t es par: $t' = 2 \times (t - \bar{Ot})$ (donde \bar{Ot} es la media de los dos valores centrales de la serie de valores de t).

En ambos casos, el sistema de ecuaciones normales para ajustar una recta serían:

$$y = a + bt' \begin{cases} \sum y_i = aN \\ \sum t'_i y_i = b \sum t_i'^2 \end{cases} \quad (1.b)$$

N = número de observaciones

Con los datos de descarga de los principales ríos de cada una de las áreas de estudio se calculó el régimen fluvial de los mismos (comportamiento del caudal de agua en promedio que lleva un río en cada mes a lo largo del año). Estos datos se compararon con la concentración de clorofila en la desembocadura de dichos ríos a lo largo del año.

3. Resultados

El promedio mensual de la concentración de clorofila a lo largo del litoral peninsular para el periodo 1998-2007 muestra una pronunciada variabilidad estacional (Figura 3.1).

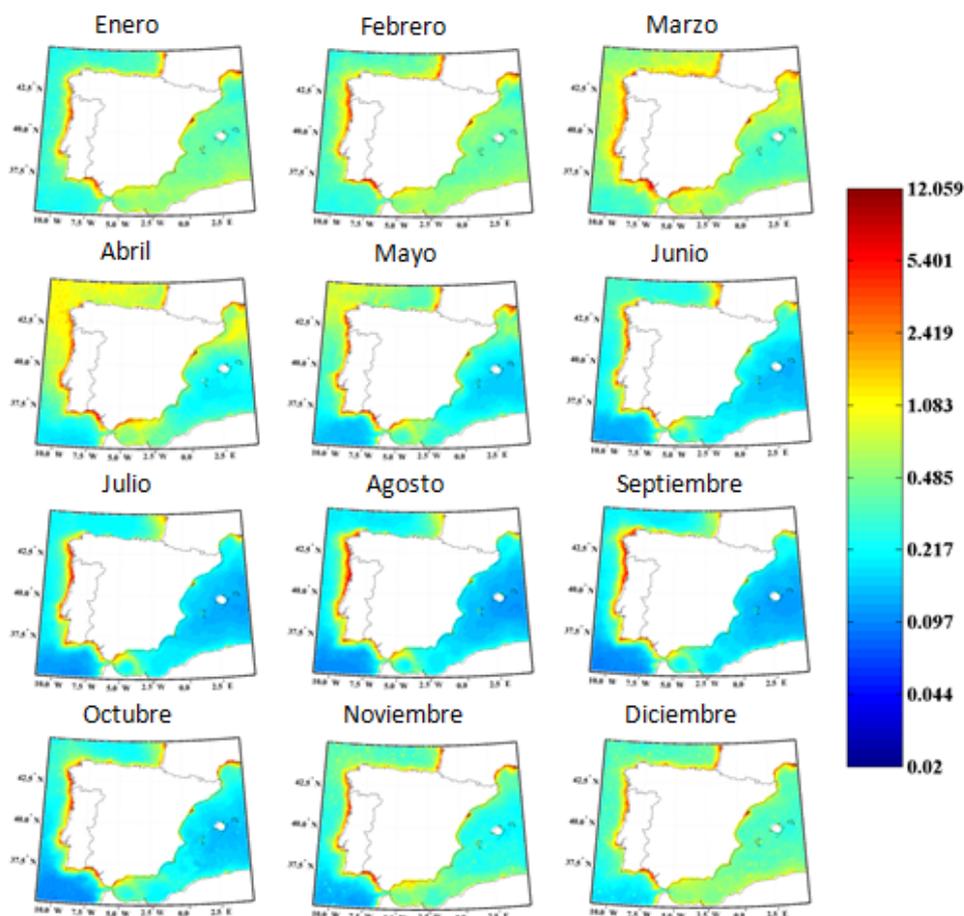


Fig. 3.2. Distribución mensual de la concentración de clorofila Chl a (mg m^{-3}) para el periodo 1998 a 2007 a lo largo de la Costa de la Península Ibérica. Los colores corresponden a la concentración de Chl a en escala logarítmica.

En las cuatro áreas de estudio, se observa un máximo de concentración, más o menos intenso, en los meses de primavera que coincide con el *bloom* de fitoplancton característico de esta época del año. Sin embargo, dependiendo del área observada podemos encontrar otros máximos secundarios relacionados con los fenómenos de afloramiento producidos por las condiciones atmosféricas o por periodos de intensa descarga fluvial. Los máximos debidos a condiciones de afloramiento por efecto de los vientos propiciados por las

condiciones atmosféricas, por regla general ocurren durante los meses de verano, y tienen lugar principalmente en el litoral Atlántico, que forma parte del sistema de afloramiento que se extiende a lo largo de la costa este del Atlántico Norte desde aproximadamente 7.5°N hasta 44°N . (Wooster et al., 1976). Este comportamiento se observa más claramente al representar el ciclo anual de concentración de clorofila a lo largo de cada una de las zonas costeras analizadas (Figura 3.2.).

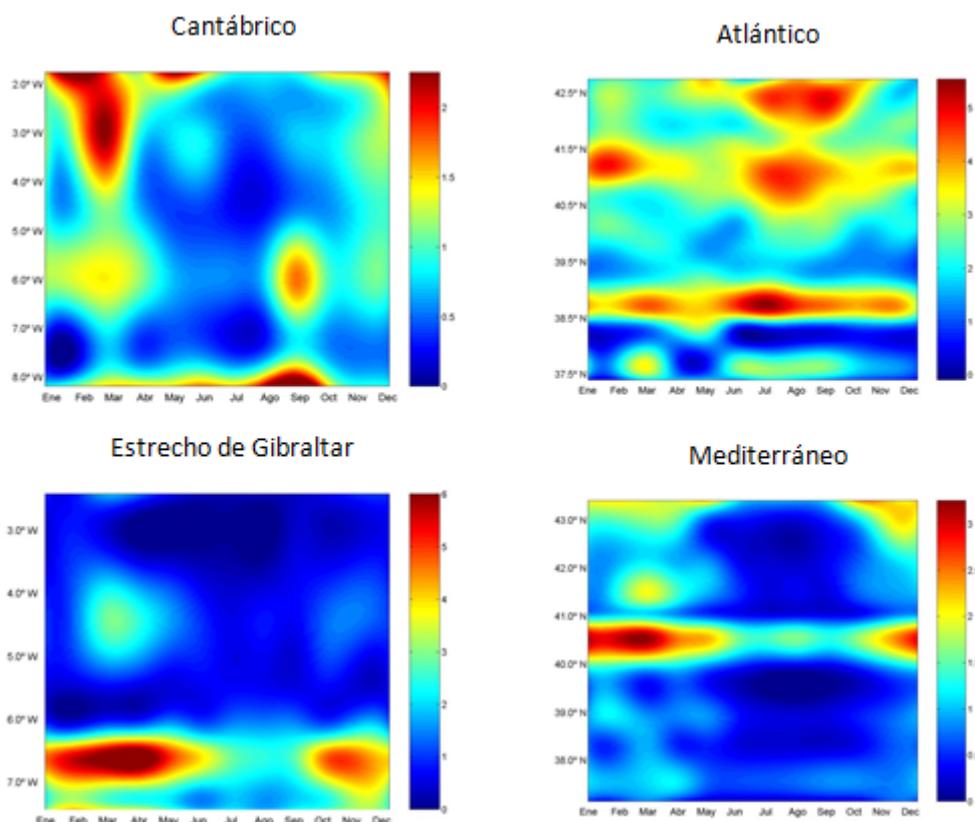


Fig. 3.2. Ciclo anual de la concentración de clorofila Chl a (mg m^{-3}) desde 1998 a 2007 en las cuatro regiones de estudio.

En la zona cantábrica destacan dos máximos, el primero en el Golfo de Vizcaya cercano a la costa de la Bretaña francesa durante el periodo de primavera como consecuencia del bloom de fitoplancton primaveral y el segundo en el litoral cantábrico gallego durante los meses de finales de verano principios de otoño como consecuencia del afloramiento.

El litoral atlántico es el que mayores niveles de concentración presenta, con un máximo de afloramiento durante los meses de verano más elevado y extendido. El máximo característico del bloom de primavera también muestra valores más intensos que los observados en el resto de las zonas analizadas.

En el litoral sur de la Península se observa que los máximos de concentración tienen lugar principalmente en los meses de primavera, coincidiendo con el *bloom* primaveral, y en los de invierno debido al mayor caudal de los ríos. En cuanto a los primeros cabe destacar un máximo muy intenso de concentración de clorofila localizado en la región occidental del litoral en el golfo de Cádiz y otro de menor intensidad pero de valores significativamente mayores que los de su alrededor en el mar de Alborán. Los máximos de invierno se encuentran fundamentalmente localizados en las zonas de descarga de ríos como el Guadiana y el Guadalquivir. En la zona del Mediterráneo, el máximo principal se localiza a la altura del río Ebro, esto explica que su intensidad sea

mayor durante los meses de mayor descarga fluvial. En el resto de la costa mediterránea peninsular apenas se observan variaciones importantes en la concentración de clorofila.

La representación de las series temporales de clorofila para todo el periodo de estudio, (Figura 3.3) muestra que no se observan tendencias uniformes en la concentración de clorofila. En esta figura también se observa que la costa oeste es la que presenta valores de mayor intensidad sobre todo debidos a la contribución de los episodios de afloramiento de verano. Las regiones del Estrecho y del Mediterráneo muestran una pronunciada periodicidad debida a los afloramientos de primavera, mientras que en el Cantábrico y en el Atlántico esa periodicidad es más irregular como consecuencia de los periodos de afloramientos de verano y otoño.

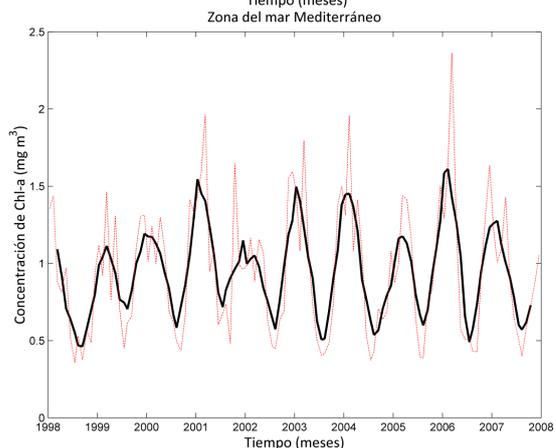
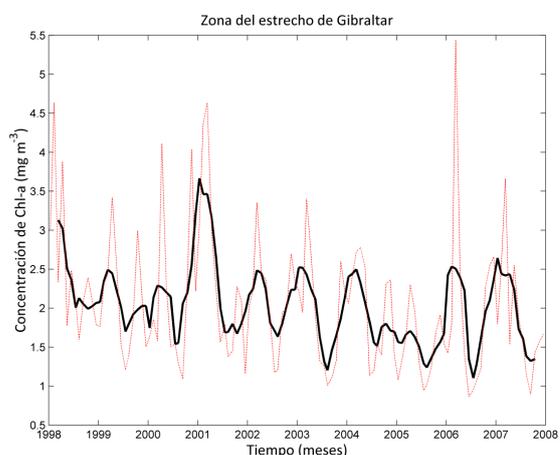
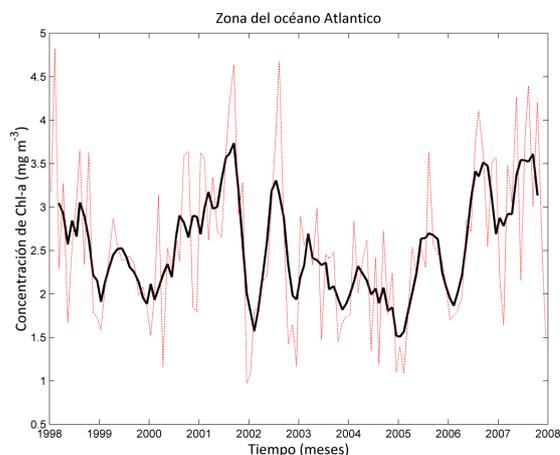
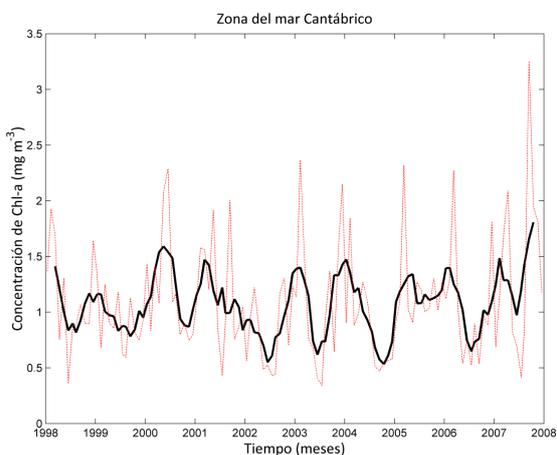


Fig. 3.3. Series temporales y media móvil a 5 vecinos de la concentración de clorofila-a desde 1998 a 2007 en las cuatro regiones de estudio. (Media móvil en negro y serie mensual en rojo).

Dado que el comportamiento de la concentración de clorofila difiere según la estación del año, se ha dividido el periodo anual en dos estaciones, una propia de fenómenos de afloramiento, que engloba la primavera y el verano y otra caracterizada por la no presencia de dichos eventos, otoño-invierno (Tabla 3.1.). El análisis de la tendencia de concentración de clorofila en estos dos periodos para las cuatro áreas estudiadas, confirman la aleatoriedad de las tendencias para el periodo estudiado. Únicamente en el área del Estrecho de Gibraltar parece que se observa una disminución significativa de la concentración de clorofila durante los meses de primavera-verano. En el resto de zonas o bien no hay una tendencia significativa o se da un aumento en la concentración de clorofila durante los meses de otoño-invierno lo que podría asociarse a una mayor descarga fluvial por parte de los ríos. Necesitaríamos series más largas de datos para evidenciar la existencia o no de tendencias significativas.

	Chl <i>a</i> (mg m ⁻³ década ⁻¹)		
	Otoño- Invierno	Primavera- Verano	Año Completo
Cantábrico	0.29***	-0.19	0.12
Atlántico	-0.06	0.41	0.21
Estrecho de Gibraltar	-0.26	-0.88***	-0.58***
Mediterráneo	0.21**	-0.01	0.10**

Tabla 3.1. Tendencias de Chl *a* calculadas usando los valores de las anomalías mensuales para el periodo 1998-2007 en las cuatro regiones de estudio. (** $p < 0.05$. *** $p < 0.01$.)

Para ver qué papel juegan los principales ríos de la península en la concentración de Chl *a* observada en las

zonas costeras de la península se han escogido 5 ríos, 4 en la zona atlántica y uno en el litoral mediterráneo y comparamos su régimen fluvial con la concentración anual de Chl *a* que se observa cerca de su desembocadura (Figura 3.4).

Se ve que en la región mediterránea la concentración de clorofila está fuertemente condicionada por el régimen fluvial, con valores mínimos en la época de estiaje y máximos en el otoño y el periodo primaveral del deshielo. En la zona atlántica, sin embargo, los mayores valores de concentración de clorofila no ocurren en la época de mayor caudal de los ríos sino que tienen lugar en las épocas de estiaje, lo que confirma que dichos máximos de concentración de clorofila son consecuencia de los fenómenos de afloramiento provocados por los vientos propiciados por las condiciones atmosféricas que se dan en verano en dicha región. En la región del Estrecho de Gibraltar el comportamiento es muy similar al observado en el costa mediterránea, pues no se observa el máximo de afloramiento de verano y solo se detectan los picos del *bloom* de primavera, que coinciden también con el periodo de mayor caudal de los ríos del sur peninsular.

Un comportamiento similar es observado en la zona Cantábrica donde la descarga de los ríos también afecta a la concentración de Chl *a* en las zonas costeras de la desembocadura (Novoa et al., 2012).

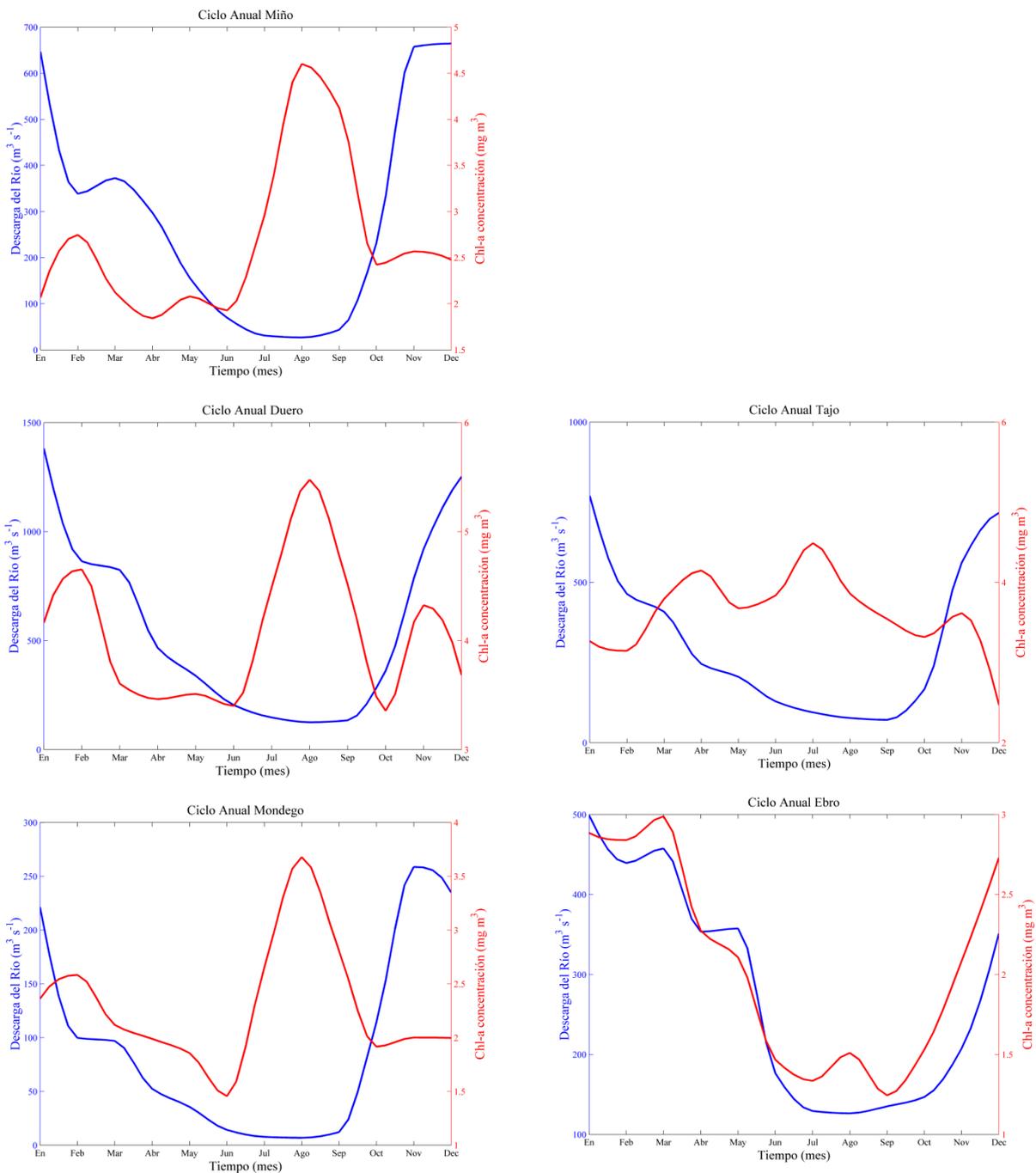


Fig. 3.4. Concentración de clorofila Chl a (mg m^{-3}) desde 1998 a 2007 en la desembocadura de los ríos y descarga del respectivo río ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$).

También se estudió la existencia de tendencias en la concentración de Chl *a* observada en las desembocaduras de los ríos considerados en este estudio.

Ríos	Chl <i>a</i> (mg m ⁻³ década ⁻¹)		
	Otoño-Invierno	Primavera-Verano	Año Completo
Miño	-0.40	-0.52	-0.44
Duero	0.82	1.08**	0.97***
Mondego	0.53	-1.09**	-0.21
Tajo	-0.22	0.73**	0.19
Ebro	0.04	-0.41**	-0.22

Tabla 3.2. Tendencias de Chl *a* calculadas usando los valores de las anomalías mensuales de concentración de clorofila en la desembocadura de los cinco ríos considerados.

No parece darse un acuerdo en las tendencias de clorofila. Mientras en la desembocadura del Duero se observa un aumento de Chl *a* que también parece darse en la desembocadura del Tajo durante el periodo de primavera-verano. En el río Mondego y en el Ebro la tendencia parece ser la contraria, es decir la concentración de clorofila tiende a disminuir. Dichas tendencias podrían estar relacionadas con los programas establecidos de control de la contaminación en los ríos y que han mejorado notablemente la calidad del agua de los estuarios durante los últimos años. Otra razón para la disminución de Chl *a*, podría ser el aumento de materia en suspensión relacionada con el aumento de caudal de los ríos, lo que podría haber causado una disminución de la claridad del agua y, por tanto, afectado el crecimiento del fitoplancton (Iriarte y Purdie 2004; Butrón et al. 2009). Lo que se necesita para analizar mejor este comportamiento variable son series más largas de puntos y contrastar

los resultados con medidas in situ de clorofila.

Para analizar mejor las condiciones oceánicas se han analizado los promedios mensuales de la temperatura de la superficie del mar (SST). Podemos ver dichos promedios en la figura 3.5. La SST presenta una alta variabilidad anual. En invierno (diciembre-marzo) las temperaturas más frías se encuentran en la mitad norte Peninsular. En enero se observa un filamento de agua más cálida que las aguas costeras y que las aguas oceánicas girando hacia el este en el Cabo de Finisterre. Esta agua corresponde a la Iberian Poleward Current (IPC) que llega al Cantábrico cada invierno. Estas aguas de origen subtropical se caracterizan por ser más cálidas y salinas que las aguas de la zona Cantábrica que son de origen subpolar (García-Soto et al., 2002; deCastro et al., 2011).

En febrero se observa cerca de la costa oeste una lengua de aguas más frías. Puede ser debida a algún evento de afloramiento o también por las aguas más frías provenientes de las plumas de los ríos más activos en esta época del año. Lo que explicaría la concentración de Clorofila observada en febrero (figuras 3.1 y 3.2).

Marzo se caracteriza por la llegada de aguas más cálidas provenientes de latitudes más bajas. Esto se mantiene en abril y mayo. Durante este periodo es cuando se observa el *bloom* primaveral que afecta a toda la costa peninsular (Figura 3.1 y 3.2).

De junio a septiembre las temperaturas más elevadas se observan en la costa mediterránea seguidas del litoral sur y la zona más oriental del Golfo de Vizcaya, localizado en la costa Cantábrica (Gomez-Gesteira et al., 2008). En la

costa atlántica se observa un gradiente longitudinal de temperatura con aguas costeras más frías que las oceánicas. Esto es debido a los intensos vientos de componente norte que afectan esta costa durante el verano y que producen condiciones favorables de afloramiento debido al viento (figura 3.6), esto explica las concentraciones altas de clorofila observadas en este periodo.

Octubre marca la transición al otoño, con un fuerte enfriamiento en todo el litoral. En noviembre y diciembre se observa una banda de aguas más frías próxima a la costa Atlántica, esto puede ser atribuido a la presencia de algún evento de afloramiento invernal o de nuevo a las plumas de los ríos que presenta una mayor descarga durante estos meses.

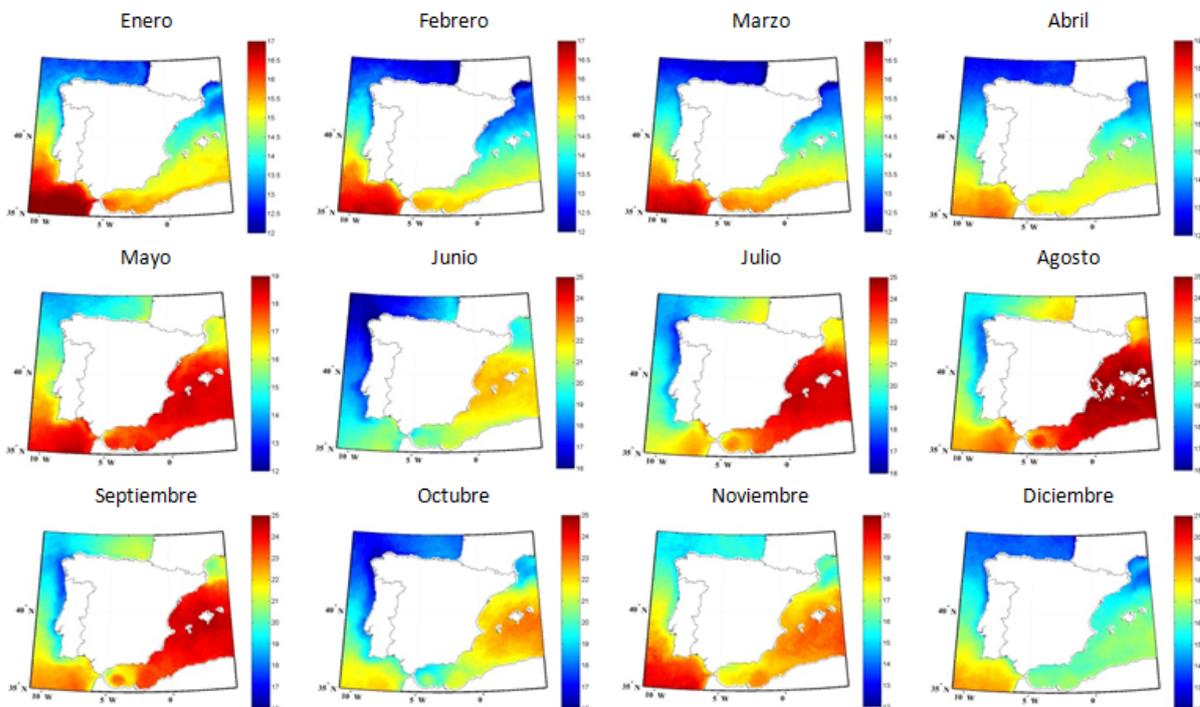


Fig. 3.5. Distribución mensual de la temperatura superficial del mar (SST) en °C para el periodo 1998 a 2007 a lo largo de la Costa de la Península Ibérica.

Para comprender la aparición y variabilidad de la concentración de Clorofila a lo largo de la costa también se han analizado las condiciones

atmosféricas con la ayuda del transporte de Ekman (Figura 3.6).

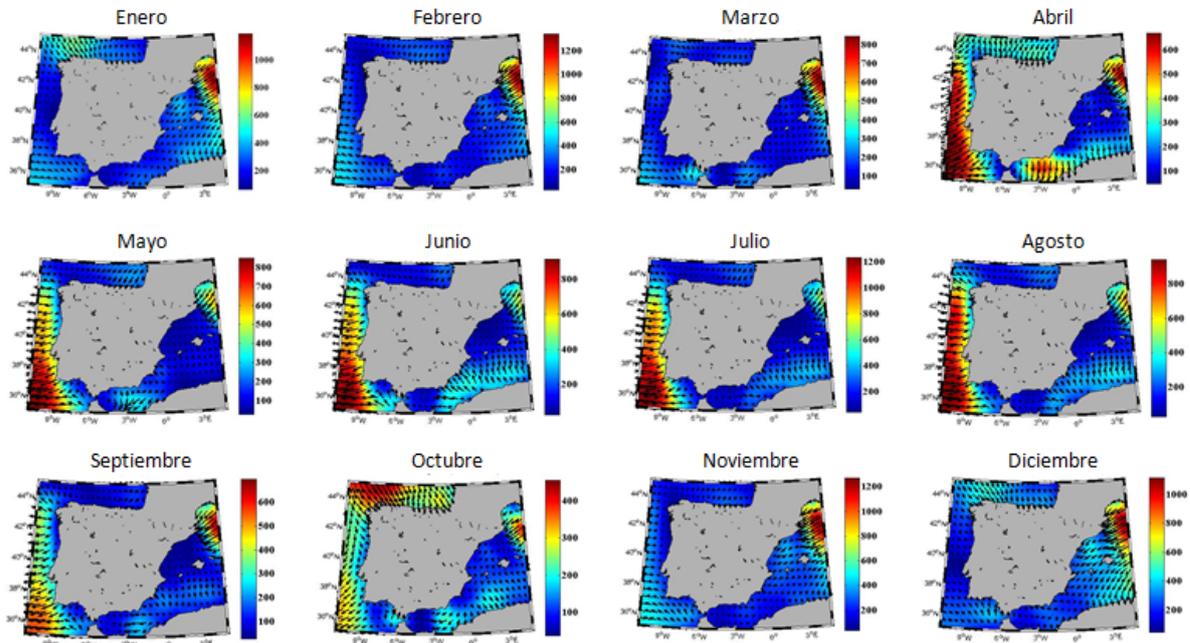


Fig. 3.6. Distribución mensual del transporte de Ekman ($\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{km}^{-1}$) para el periodo 1998 a 2007 a lo largo de la Costa de la Península Ibérica.

Durante los meses de primavera-verano en la costa atlántica, se presentan unas condiciones más favorables a la ocurrencia de fenómenos de afloramiento debidos al viento por ser los meses de mayor intensidad en dicha zona y además viento norte, lo que da lugar un transporte de Ekman favorable al afloramiento. En los meses de invierno, los vientos de componente norte son menos intensos y aparecen vientos de componente oeste y sur que dificultan la aparición de un transporte de Ekman favorable para la ocurrencia de fenómenos de afloramiento.

El litoral cantábrico también presenta una componente norte acusada en verano que hace que en la zona oeste del litoral se produzcan eventos de afloramiento debidos al viento aunque no tan intensos ni persistentes como los que ocurren en el litoral atlántico. El resto del año los vientos varían manteniendo una componente oeste.

La zona del estrecho de Gibraltar es un área compleja debido a que se encuentra influenciada por el océano Atlántico y el mar Mediterráneo. Los vientos que dominan en el Estrecho son de levante y de poniente. El viento de levante sopla con gran frecuencia en el mar de Alborán hacia el estrecho de Gibraltar y suele darse entre los meses de abril a octubre. El viento de poniente afecta sobre todo al golfo de Cádiz y se da entre noviembre y marzo. No se observa afloramiento en los meses de verano, curiosamente al contrario de lo que ocurre en la costa oeste. Las menores concentraciones de clorofila se dan en esta época para esta región.

Por último en la costa mediterránea podemos considerar dos regímenes de viento distintos, uno se corresponde con el periodo comprendido entre noviembre y marzo, en el que nos encontramos vientos del noroeste en todo el litoral, los cuales son mucho más intensos en el norte, junto a la costa francesa. El otro

se corresponde con los meses de abril a octubre, en los que nos encontramos vientos del noreste en el sur, pero se mantiene la dirección anterior en el norte, aunque con menor intensidad. En ninguno de los casos se observa un transporte de Ekman favorable a la ocurrencia de eventos de afloramiento debidos al viento. Esto explica la inactividad con respecto a la concentración de clorofila de esta costa en relación a las demás. Tan sólo destacan los picos debidos a las plumas de los ríos en sus periodos de máxima descarga (figura 4.1 y 4.4).

4. Conclusiones

Se puede concluir que la mayor concentración de Chl *a* se encuentra en la costa atlántica en verano debido al afloramiento. En la costa cantábrica nos encontramos con dos máximos, el primaveral situado en el Golfo de Vizcaya y el estival causado por el afloramiento en la parte occidental. En el Estrecho de Gibraltar destaca el bloom primaveral y está influenciado por la descarga de los ríos. El máximo de concentración en el Mediterráneo se encuentra en la desembocadura del Ebro.

Las tendencias no son significativas salvo las negativas en el Estrecho y desembocadura del Mondego y del Ebro. Y las positivas en las zonas de descarga del Duero y del Tajo.

El afloramiento de la costa atlántica y cantábrica permite el desarrollo de especies muy apreciadas en pesca, mientras que el resto del litoral peninsular tiene unas características particulares en las que se desarrollan ecosistemas de gran importancia biológica.

Referencias

Barnston, A. G. and R. E., Livezey, 1987. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Mon. Wea. Rev.* 115, 1083-1126.

Folland, C., Parker, D., Karl, T., Vinnikov, K., 1990. Observed climate variations and change. In: Houghton, J., Jenkins, G., Ephraums, J. (Eds.), *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, pp. 195–238.

Álvarez Fernández, M. I. (2005) Hidrografía e hidrodinámica de los estuarios gallegos bajo la influencia de forzamientos externos. Tesis doctoral. Universidade de Vigo.

Álvarez, I., Lorenzo, M.N., deCastro, M. (2012). Analysis of chlorophyll *a* concentration along the Galician coast: seasonal variability and trends. *ICES Journal of Marine Science*, 69 (5), 728-738.

Anadón, R., Duarte, C.M., Fariña, A. C. (2005). Impactos sobre los ecosistemas marinos y el sector pesquero.

Cifuentes Lemus Juan Luis, Torres-García Pilar y Frías M. Marcela. (1997) *La ciencia para todos* ISBN 968-16-5247-9

Bode, A., M.T. Álvarez-Ossorio, N. González, J. Lorenzo, C. Rodríguez, M. Varela, and M.M. Varela. 2005. Seasonal variability of plankton blooms in the Ria de Ferrol (NW Spain): II. Plankton abundance, composition and biomass. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 63: 285-300.

- Butrón A., A. Iriarte, and J. Madariaga. 2009. Size-fractionated phytoplankton biomass, primary production and respiration in the Nervión-Ibaizabal estuary: A comparison with other nearshore and estuarine ecosystems from the Bay of Biscay. *Continental Shelf Research* 29: 1088-1102.
- Cebrián, J. and I. Valiela. 1999. Seasonal patterns in phytoplankton biomass in coastal ecosystems. *Journal of Plankton Research* 21:429-444.
- Cloern, J. E. 1996. Phytoplankton bloom in coastal ecosystems: A review with some general lessons from sustained investigation of San Francisco Bay, California. *Reviews of Geophysics* 34: 127-168.
- Cloern, J.E. 2001. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine Ecology Progress Series* 210: 223-253
- deCastro, M., Gomez-Gesteira, M., Alvarez, I., and Crespo, A. J. C. 2011. Atmospheric modes influence on Iberian Poleward Current variability. *Continental Shelf Research*, 31: 425–432.
- Gameiro, C., and V. Brotas. 2010. Patterns of Phytoplankton Variability in the Tagus Estuary (Portugal). *Estuaries and Coasts* 33: 311-323.
- Garcia-Soto, C., Pingree, R. D., and Valdes, L. 2002. Navidad development in the southern Bay of Biscay: climate change and swoddy structure from remote sensing and in situ measurements. *Journal of Geophysical Research*, 107: 3118.
- Gomez-Gesteira, M., deCastro, M., Alvarez, I., and Gomez-Gesteira, J. L. 2008. Coastal sea surface temperature warming trend along the continental part of the Atlantic Arc (1985–2005). *Journal of Geophysical Research*, 113: C04010.
- Iriarte A. and D.A. Purdie. 2004. Factors controlling the timing of major spring bloom events in a UK south coast estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 61: 679-690.
- MAGRAMA 2009. Informe de España sobre la aplicación de la gestión integrada de las zonas costeras en España.
- Muyllaert, K., R. Gonzales, M. Franck, M. Lionard, C. Van der Zee, A. Cattrijsse, K. Sabbe, L. Chou, and W. Vyverman. 2006. Spatial variation in phytoplankton dynamics in the Belgian coastal zone of the North Sea studied by microscopy, HPLC-CHEMTAX and underway fluorescence recordings. *Journal of Sea Research* 55: 253-265.
- Novoa, S., Chust, G., Sagarmínaga, Y., Revilla, M., Franco, J., Valencia, V., Borja, Á., 2012. Chlorophyll-a variability within Basque coastal waters and the Bay of Biscay, between 2005 and 2010, using MODIS imagery. *Revista de Investigación Marina, AZTI-Tecnalia*, 19(5): 92-107
- Picado, A., Alvarez, I., Vaz, N., and Dias, J.M. (2013). Chlorophyll concentration along the northwestern coast of the Iberian Peninsula vs. atmosphere-ocean-land conditions. In: Conley, D.C., Masselink, G., Russell, P.E. and

- O'Hare, T.J. (eds.), Proceedings 12th International Coastal Symposium (Plymouth, England), Journal of Coastal Research, Special Issue No. 65, pp. 2047-2052, ISSN 0749-0208.
- Platt T, Hoepffner N, Stuart V, Brown C (eds.) 2008. Why Ocean Colour? The Societal Benefits of Ocean-Colour Technology. IOCCG. Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group. No. 7, IOCCG. Darmouth, Canada. 141 pp.
- Rojas Acuña, J., Paredes Peñafiel, R. I., Quezada García, M. G., Carrillo Gómero, F. (2011). Variabilidad Espacial y Temporal de la Concentración de Clorofila-a en el mar peruano usando imágenes MODIS – AQUA. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Revista de Investigación de Física 14, 111402404.
- Romacho Romero, M.J., Capel Molina, J.J. La dinámica atmosférica en el flanco suroccidental de Europa. Nimbus: Revista de climatología, meteorología y paisaje, ISSN 1139-7136, Nº 7-8, 2001 , págs. 5-20.
- Saha, Suranjana, and Coauthors, 2010: The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. Bull. Amer. Meteor. Soc., 91, 1015–1057. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/2010BAMS3001.1>
- Somoza, R.D., Kampel, M., Buss Souza, R. (2007). Variabilidad de la concentración de clorofila a en las aguas adyacentes a la plataforma cubana y su relación con las pesquerías de langosta (*Panulirus argus*). Anais XIII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE p. 4699-4706.
- Taboada, I. (2007). Estudio del transporte de Ekman a lo largo de la costa gallega a partir de datos de viento obtenidos con el modelo MM5. Universidade de Vigo.
- Wooster, W. S., Bakun. A. and McClain, D.R. (1976). The seasonal upwelling cycle along the Eastern boundary of the north Atlantic, Journal of Marine Research 34, 131-141.