

# Estudio de una floración tóxica de *Pseudonitzschia* spp. en las costas de Galicia usando una imagen MERIS y datos *in situ*

A. Mosquera\*, J. M. Torres\*, L. González-Vilas\*, G. Martínez-Iglesias\* y Y. Pazos\*\*  
jesu@uvigo.es

\* Universidad de Vigo (UV). Facultad de Ciencias. Dpto. de Física Aplicada

\*\* Centro para el Control del Medio Marino (CCCMM). Vilaxoán

## RESUMEN

Las floraciones periódicas de *Pseudo-nitzschia* spp. en las áreas costeras de Galicia han provocado prácticamente el cierre de ecosistemas acompañado con graves impactos económicos. El objetivo de este trabajo es el análisis de la correlación de los valores de radiancia de diferentes bandas de MERIS con datos *in situ* de concentración de clorofila-a y con el número de células por litro de *Pseudo-nitzschia* spp. proporcionado por el Centro de Control del Medio Marino de Vilaxoán (CCCMM) durante un periodo de estudio asociado a floraciones tóxicas de *Pseudo-nitzschia* spp. relacionadas a eventos de afloramiento (Mayo-Junio de 2003). Este trabajo intenta establecer la base para el futuro desarrollo de algoritmos para el estudio de la biomasa fitoplanctónica y la identificación de floraciones tóxicas de *Pseudo-nitzschia* spp. en aguas costeras usando el gran potencial de los productos de alta resolución (FR, Full Resolution) de MERIS, con alta resolución espacial y espectral. Los resultados obtenidos muestran una buena correlación entre el logaritmo neperiano del ratio entre las bandas a 443 y 560 nm de la imagen MERIS y el número de células por litro de *Pseudo-nitzschia* spp. y la concentración de clorofila-a obtenida *in situ* del programa de observación. Este estudio forma parte del proyecto de la ESA AO623.

**PALABRAS CLAVE:** floración, *Pseudo-nitzschia*, algoritmo, MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer).

## ABSTRACT

Periodic blooms of *Pseudo-nitzschia* spp. in Galician coastal areas have caused virtual closing of ecosystems with accompanying serious economic impacts. The aim of this work is the analysis of the correlation of radiance values of different bands of MERIS with *in situ* data of chlorophyll-a concentration and with the number of cell per litre of *Pseudo-nitzschia* spp. provided by the Marine Environment Quality Control Centre of Vilaxoan (CCCMM) during a study period associated to *Pseudo-nitzschia* spp. toxic blooms related to coastal upwelling events (May-June 2003). This work tries to establish the foundations for the future development of algorithms for the study of the phytoplanktonic biomass and the identification of *Pseudo-nitzschia* spp. toxic blooms in coastal waters making use of the great potential of the FR (Full Resolution) MERIS products, with high spatial and spectral resolution. The obtained results show a good correlation between the natural logarithm of the band ratio at 443 and 560 nm MERIS ratio and the number of cells per litre of *Pseudo-nitzschia* spp. and the concentration of chlorophyll-a obtained *in situ* from the monitoring program. The study is a part of the ESA project AO623.

**KEY WORDS:** bloom, *Pseudo-nitzschia*, algorithm, MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer).

## INTRODUCCIÓN

En España el cultivo del mejillón se realiza casi exclusivamente en Galicia, con una producción total que oscila alrededor de 200,000 toneladas por año (Durán *et al.* 1990). La alta productividad de las costas gallegas es una consecuencia de los vientos estacionales del norte que generan intensos afloramientos de agua fría rica en nutrientes en el periodo que va de Mayo a Septiembre (Fraga 1981, Blanton *et al.*,

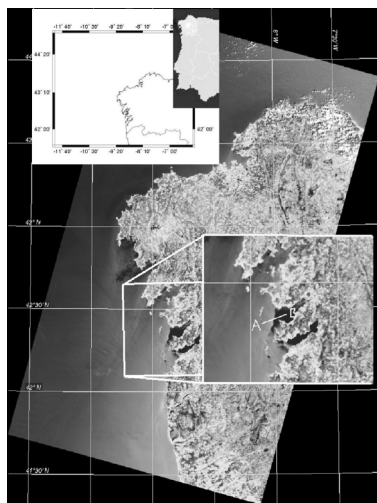
1984). Varias especies del género *Pseudo-nitzschia*, tales como *P. multiseriata* y *P. australis*, han sido asociadas con el Envenenamiento Amnésico por Moluscos (ASP) (Bates *et al.* 1989, Fritz 1992). En las aguas costeras de Galicia, han sido detectadas poblaciones de *Pseudo-nitzschia* spp. desde 1994 como agente causante de incidentes de ASP, afectando muchas áreas de moluscos en las Rías Gallegas (Mínguez *et al.* 1996). Debido a la importancia económica de la acuicultura, se ha organizado un programa de

A. Mosquera, J. M. Torres, L. González-Vilas, G. Martínez-Iglesias y Y. Pazos

observación de floraciones de algas nocivas (HAB) en las aguas de Galicia, en donde las proliferaciones masivas de *Pseudo-nitzschia* se forman durante la estación de afloramientos (Figueiras y Pazos 1991).

Es posible medir la concentración de clorofila por medio de técnicas de teledetección usando ratios entre las bandas a 430 y 530 nm, aunque la longitud de onda exacta variará dependiendo de las características del sensor (Muller-Karger *et al.*, 1990; McClain y Yeh 1994; Evans y Gordon 1994; Aiken *et al.*, 1995; Mitchell y Kahru, 1998). La utilización de este ratio se basa en el espectro de absorción de clorofila, el cual presenta altas absorciones en la parte azul del espectro visible, con un máximo en 430,3 nm, y bajas en el verde, con una absorción casi nula a 550 nm, y que es independiente de la radiación incidente y por lo tanto de las condiciones de iluminación solar.

Para facilitar los estudios, en teledetección se clasifican las aguas en dos categorías en función de su contenido (Morel y Prieur 1977): aguas del Caso 1 en las que el fitoplancton y todo el material de origen biológico que co-varía con él es el principal agente responsable de las variaciones en las propiedades ópticas del agua, y aguas del Caso 2 en las que el color también es influenciado por sustancias que varían independientemente del fitoplancton, especialmente partículas inorgánicas en suspensión y sustancias amarillas. Normalmente, las aguas de Caso 1 son aguas oceánicas y las del Caso 2 son costeras.



**Figura 1.** Mapa de localización del área de estudio que incorpora una imagen MERIS RGB usando las bandas 5, 7 y 1. En la parte derecha de la imagen se muestra un zoom en el que se puede ver la transición de las aguas interiores de las Rías y las exteriores de la plataforma. A y B son los puntos utilizados para la representación del espectro de radiancia en la Figura 3.

## METODOLOGIA

En este trabajo se procesó una imagen del Medium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS) de alta resolución junto con datos de un muestreo en un caso de afloramiento del 26 de Mayo de 2003, durante una floración de *Pseudo-nitzschia* spp., como se muestra en la Figura 1. Las muestras fueron recogidas por el Centro Gallego para el Control de la Calidad del Medio Marino (CCMM) localizado en Vilaxoán (Pontevedra) obtenida a bordo de barcos de investigación oceanográfica en treinta localizaciones en las Rías Bajas, y los datos de la imagen fueron correlacionados con datos de observación local. La Figura 1 también muestra el mapa de localización del área de estudio.

Los datos de MERIS proporcionados por la ESA son de Nivel-1b, que corresponden a radiancias calibradas de las 15 bandas espectrales en la parte superior de la atmósfera (TOA), y de la resolución espacial más alta (FR) de este sensor, es decir, de 300 m. Se utilizó el procesador estándar de la ESA y todos los grupos de datos fueron examinados con la "Basic Envista AATSR and MERIS Toolbox" (BEAM), que la ESA pone a disposición como software libre. El software proporciona características útiles para los análisis y la presentación de grupos de datos MERIS.

El MERIS mide la luz del Sol reflejada usando un CCD (Charge-Coupled Device). Las medidas espectrales de cada píxel a lo largo de una línea de la imagen se hacen por su propio grupo de sensores del CCD. Esto provoca pequeñas variaciones de la longitud de onda espectral para cada píxel en la imagen lo que se conoce como "smile effect".

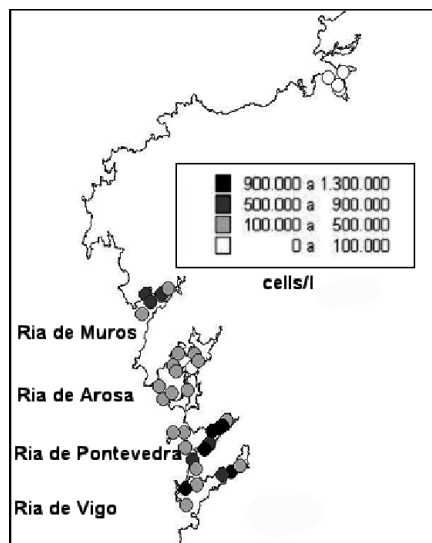
La corrección del "smile effect" es la suma de dos términos: la corrección de irradiancia y la corrección de reflectancia. La corrección de irradiancia corrige la variación de la irradiancia solar, que es diferente entre la longitud de onda del píxel y la longitud de onda de referencia. Mientras que la corrección de reflectancia interpola a lo largo de la pendiente de la reflectancia ente las longitudes de onda adyacentes para el pixel-longitudes de onda a la longitud de onda de referencia.

El algoritmo de clorofila de MERIS usa alternativamente tres polinomios diferentes para calcular la concentración de clorofila de los ratios 443/560 nm, 490/560 nm o 510/560 nm (McClain y Fargion, 1999). Para este estudio de las costas gallegas, en las que encontramos aguas tanto de Caso 1 como de Caso 2, se ha escogido el ratio 443/560 nm, correspondiente a la división de las bandas 2 y 5 del

MERIS. El logaritmo neperiano de ese ratio fue representado frente a las concentraciones de clorofila-a y *Pseudo-nitzschia* spp. con la finalidad de encontrar alguna relación entre las medidas *in situ* y los datos de MERIS.

## RESULTADOS

La Figura 2 muestra una representación gráfica de los datos de concentración de *Pseudo-nitzschia* del CCCMM procedentes de las muestras del programa de observación, que son la concentración media en  $\mu\text{g/l}$  a dos rangos de profundidad: de 0 a 5 m y de 5 a 10 m. Se pueden observar altos valores de concentración de *Pseudo-nitzschia*, con valores máximos de alrededor medio millón de células por litro en las Rías de Muros, y sobre un millón en las Rías de Vigo y Pontevedra. La composición de color con las bandas 7, 5 y 1 del MERIS (Figura 1) muestra valores de reflectancia más pequeños dentro de las Rías de Muros, Pontevedra y Vigo.



**Figura 2.** Distribución de *Pseudo-nitzschia* spp. (en células/l) proporcionada por el programa de observación del CCCMM en Vilaxoán. Los valores máximos observados son mayores de  $>1 \times 10^6$  células/l correspondientes a las Rías de Vigo y Pontevedra.

Los datos de radiancia para las 15 bandas del MERIS de los pixels A y B presenta señales de fluorescencia altas y bajas (Figura 3). También se representa la diferencia de los valores de radiancia

en las 15 bandas para los pixels A y B. Ya que esos gráficos son representados como interpolaciones lineares entre las 15 bandas del MERIS, dan una basta aproximación al valor real del espectro de radiancia emergente.

El agua dentro de la Ría de Pontevedra (punto B) es considerada como agua del Caso 2 al comportarse como tal, mientras que la de fuera (punto A) son aguas de Caso 1, con un comportamiento totalmente diferente al del punto B. Un frente estacional localizado en la boca del estuario impide el flujo de las aguas afloradas al interior de la Ría no permitiendo la mezcla entre los dos tipos de agua.

La relación entre el ratio 443/560 (banda 2/banda 5, en MERIS) y la concentración de clorofila-a en los puntos de muestreo es representada en la Figura 4a, cuya ecuación presenta un valor de  $R^2$  de 0,4806:

$$C = 7,3621 \ln(443/560)^{3,1565} \text{ (Ecuación 1)}$$

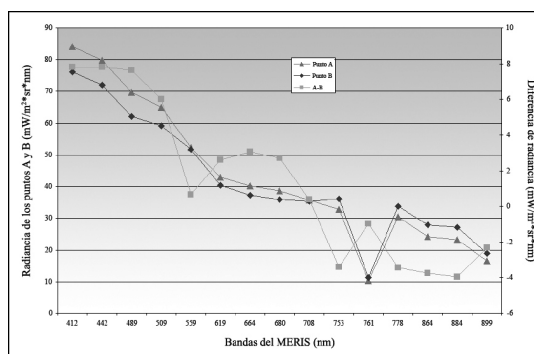
Con C la concentración de clorofila-a en  $\mu\text{g/l}$ .

También se encontró una relación entre la concentración de *Pseudo-nitzschia* spp. (en células/l) y los datos de clorofila-a observados en los puntos de muestreo (Figura 4b) con un valor de  $R^2$  de 0,6411:

$$P = 7,3450 C^{1,4362} \text{ (Ecuación 2)}$$

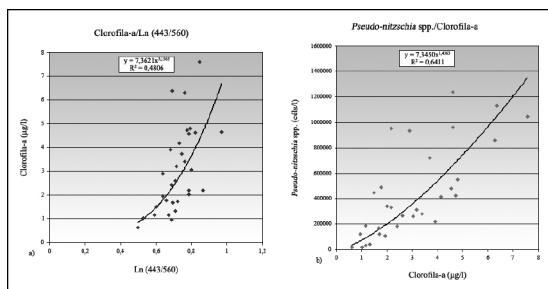
Con P la concentración de *Pseudo-nitzschia* spp. en células/l y C la concentración de clorofila-a en  $\mu\text{g/l}$ .

Usando esas expresiones se estimó las concentraciones de clorofila-a (en  $\mu\text{g/l}$ ) y *Pseudo-nitzschia* spp. (células/l) a partir de los datos de MERIS sobre el área de muestreo. Los resultados se muestran en la Figura 5, y se aprecia una concordancia entre el área de floración estimada y los datos *in situ* proporcionados por el CCCMM (Figura 2).



**Figura 3.** Datos de radiancia para las 15 bandas de Nivel 1 de MERIS en los puntos A y B (eje izquierdo). Se representa también la diferencia entre los valores de radiancia para las 15 bandas de los puntos A y B (la escala está expandida en el eje derecho).

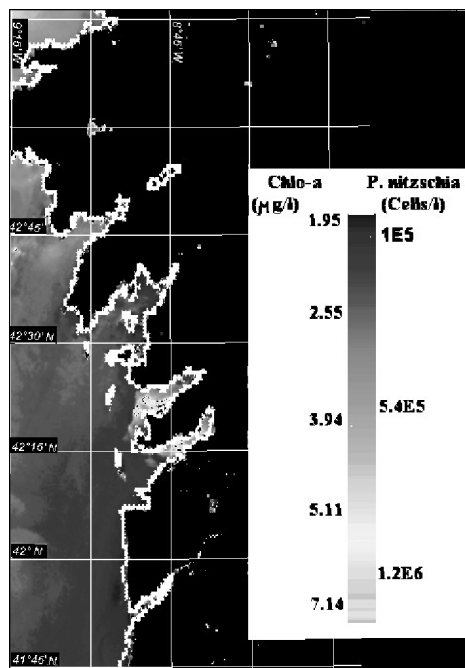
A. Mosquera, J. M. Torres, L. González-Vilas, G. Martínez-Iglesias y Y. Pazos



**Figura 4.** a) Relación entre los valores del ratio de bandas Ln (443nm/560nm) para MERIS y los datos de clorofila-a obtenidos en los puntos de muestreo. b) Relación entre las concentraciones de *Pseudo-nitzschia* spp. (cél/l) y clorofila-a ( $\mu\text{g/l}$ ). Datos proporcionados por el CCCMM.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, como se muestra en la Figura 5, se produjo una floración de *Pseudo-nitzschia* spp. con concentraciones máximas de alrededor de 1,200.000 células/l en las Rías de Vigo y Pontevedra y sobre 500.000 células/l en la Ría de Muros.



**Figura 5.** Resultado de aplicar las ecuaciones 1 y 2 en la imagen MERIS. Las ecuaciones se han conseguido ajustando los valores de concentración de clorofila-a y *Pseudo-nitzschia* spp. a los datos de MERIS. La escala de color muestra la correspondencia entre los valores de clorofila-a y *Pseudo-nitzschia* spp. detectados en la imagen.

En esta área geográfica siempre es complicado conseguir datos de campo y de satélite que coincidan en el espacio y en el tiempo con sucesos de floraciones de algas, esto es debido a la dificultad de que se de a la vez todo los requisitos requeridos (buenas condiciones climáticas, coincidencia entre el paso orbital con la floración,...).

En este caso se usaron alrededor de 30 puntos de control (de 26 de Mayo de 2003) para calcular los algoritmos. También se debe considerar que los datos de clorofila-a corresponden a las concentraciones medias obtenidas en dos rangos de profundidad. Por otro lado, aunque el género estudiado siempre aparece con otras diatomeas que influyen las propiedades ópticas detectadas por los sensores, lo que se trata de detectar en la actualidad son las condiciones óptimas para el desarrollo de floraciones. De esta forma, una vez se ha calculado la clorofila a partir de una imagen de satélite, se puede estimar el número de células de las mareas rojas.

Hay que tener en cuenta que el estudio es totalmente improbable usando más datos que los permitidos para validar y desarrollar nuevos algoritmos. Igualmente, aunque el resultado es más cualitativo que cuantitativo, permite evaluar la extensión de una floración y su comportamiento considerando la dinámica de las Rías. En vista de los resultados del trabajo, se sugiere que la utilización de las imágenes de MERIS puede ser una herramienta apropiada para el desarrollo de un programa continuo de observación, con el objetivo ideal de identificar floraciones algales sin usar necesariamente puntos de muestreo.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido hecho dentro del proyecto de la Agencia Espacial Europea (ESA) Envisat AO623. Agradecer especialmente al Centro de Control del Medio Marino (CCCMM) por los datos del programa de observación proporcionados.

## BIBLIOGRAFÍA

- AIKEN, J., MOORE, G. F., TREES, C. C., HOOKER, S. B. y CLARK, D. K. 1995. The SeaWiFS CZCS-type pigment algorithm. NASA Tech. Memo. 104566, 29.
- BATES, S. S., BIRD, C. J., DE FREITAS, A. S. W., FOXALL, R., GILGAN, M., HANIC, L. A.,

- JOHNSON, G. R., McCULLOCH, A. W., ODENSE, P., POCKLINGTON, R., QUILLIAM, M. A., SIM, P. G., SMITH, J. C., SUBBA RAO, D. V., TODD, E. C. D., WALTER, J. A. y WRIGHT, J. L. C. 1989. Pennate diatom *Nitzschia pungens* as the primary source of domoic acid, a toxin in shellfish from eastern Prince Edward Island, Canada. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46: 1203-1215.
- BLANTON, J. O., ATKINSON, L. P., FERNANDE, F., CASTILLEJO, F. y LAVÍN, A. 1984. Coastal upwelling off the Rias Bajas, Galicia, northwest Spain I. Hydrographic studies. *Rapp. P.-V. Reun.-Cons. Int. Explor. Mer* 183: 79-90.
- DURÁN, C., ACUÑA, R. y SANTIAGO, J. 1990. Sobre la productividad del cultivo del mejillón. *Serie de estudios sociales* 193: 43-51.
- EVANS, R. H. y GORDON, H. R. 1994. Coastal zone color scanner "system calibration": A retrospective examination. *J. Geophys. Res.* 99: 7293-7307.
- FIGUEIRAS, F. G. y PAZOS, Y. 1991. Microplankton assemblages in three Rias Baixas (Vigo, Arosa and Muros, Spain) with a subsurface chlorophyll maximum: their relationships to hydrography. *Mar. Ecol.-Prog. Ser.* 76 (3): 219-233.
- FRAGA, F. 1981. Upwelling off the Galician coast, northwest Spain. En *Coastal Upwelling*, F. A. Richards. Ed. AGU, Washington, pp 176-182.
- FRITZ, L., QUILLIAM, M. A., WRIGHT, J. L. C., BEALE, A. M. y WORK, T. M. 1992. An outbreak of domoic acid poisoning attributed to the pennate diatom *Pseudonitzschia australis*. *J. Physiol.* 28: 439-442.
- McCLAIN, C. R. y FARGION, G. S. 1999. SIMBIOS Project 1998 Annual Report. NASA Tech. Memo. 1999-208645, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD, pp. 105.
- McCLAIN, C. R. y YEH, E. N. 1994. CZCS bio-optical algorithm comparison, in Case Studies for SeaWiFS Calibration and Validation, 1. NASA Tech. Memo. 104566, 13: 3-8.
- MÍNGUEZ, A., FERNÁNDEZ, M. L. y FRAGA, S. 1996. Harmful and Toxic Algal Blooms, T. Yasumoto, Y. Oshima y Y. Fukuy Eds. IOC-UNESCO, pp. 143-145.
- MITCHELL, B. G. y KAHRU, M. 1998. Algorithms for SeaWiFS developed with the CalCOFI data set. *CalCOFI Rep.* 39.
- MOREL, A., y PRIEUR, L. 1977. Analysis of variations in ocean color. *Limnol. Oceanogr.* 22 (4): 709-725.
- MULLER-KARGER, F. E., McCLAIN, C. R., SAMBROTTO, R. N. y RAY, G. C. 1990. A comparison of ship and coastal zone color scanner mapped distribution of phytoplankton in the southeastern Bering Sea. *J. Geophys. Res.* 95: 11483-11499.