

## DETERMINACIÓN DE ÍNDICE DE CLOROFILA PARA AGUAS DE CASO II UTILIZANDO MERIS FR EN LA COSTA GALLEGA

J. M. Torres, L. González, E. Spyarakos y M. C. Martín.

*Laboratorio de Teledetección y SIG, Departamento de Física Aplicada, Universidad de Vigo. Facultad de Ciencias del Mar, Campus Lagoas-Marcosende. 36310. Vigo. Pontevedra. luisgv@uvigo.es*

### RESUMEN

Las técnicas de teledetección nos permiten estimar la productividad del océano mediante la obtención de la concentración de clorofila, la cual a su vez está asociada con la abundancia de fitoplancton. Con este objetivo se utilizan sensores de color que operan en el rango visible del espectro, consiguiéndose muy buenos resultados a escala global y en océano abierto. Sin embargo, la exactitud es menor en áreas costeras con aguas de caso II más complejas en su composición y afectadas por fenómenos locales. En este trabajo se ha desarrollado un algoritmo para la obtención de mapas de clorofila para el área costera de Galicia a partir de imágenes del sensor ENVISAT MERIS de alta resolución (MERIS FR). El algoritmo se basa en la utilización de una red neuronal del tipo perceptrón multicapa (MLP) que ha sido entrenada y validada utilizando medidas de campo obtenidas entre los años 2002 y 2008, estimándose la concentración de clorofila mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Los buenos resultados de la red neuronal ( $R^2 = 0.91$  en el entrenamiento;  $R^2 = 0.80$  en la validación) demuestran el gran potencial del sensor MERIS para obtener mapas de clorofila en el interior de las rías gallegas.

### ABSTRACT

Remote sensing techniques allow us to estimate the ocean productivity through the retrieval of the chlorophyll concentration, which is associated to the phytoplankton abundance. With this aim color sensors operating in the visible range of the spectrum are used, achieving very good results at global scale and in open ocean. However, accuracy is lower on coastal areas with case-II waters of a more complex composition and affected by local phenomena. In this work, it has been developed an algorithm to obtain chlorophyll maps on the Galician coastal area from ENVISAT MERIS images in full resolution (MERIS FR). The algorithm is based on the utilization of a perceptron multilayer neural network (MLP) that has been trained and validated using field data obtained between 2002 and 2008, estimating the chlorophyll concentration by high resolution liquid chromatography (HPLC). The good results of the neural network ( $R^2 = 0.91$  in the training;  $R^2 = 0.80$  in the validation) show the MERIS capability to obtain chlorophyll maps inside the Galician Rias.

**Palabras clave:** MERIS, clorofila, perceptrón multicapa (MLP), red neuronal, aguas caso II.

### INTRODUCCIÓN

Las rías gallegas (noroeste de España) son muy productivas y juegan un importante papel en la economía de la región, ya que sostiene un intenso cultivo de mejillón en bateas y significativas pesquerías locales. Esta productividad se debe a los eventos periódicos de afloramiento de aguas profundas ricas en nutrientes que se producen principalmente de mayo a septiembre, bajo condiciones de viento del noreste y gracias a la particular morfología y orientación de las rías (Torres *et al.* 2005).

La concentración de clorofila está directamente relacionada con la abundancia de fitoplantcon y por lo tanto es un buen índice para estimar la productividad. Las técnicas de teledetección permiten estimar la concentración de clorofila de una forma relativamente precisa a nivel global y en aguas abiertas, pero es más ineficaz en

aguas costeras de tipo II, mucho más complejas en su composición debido a la presencia de material en suspensión y/o substancia amarilla (Torres *et al.* 2008).

En este trabajo proponemos un algoritmo basado en una red neuronal del tipo perceptrón multicapa (MLP) que permite obtener la concentración de clorofila en las aguas costeras de Galicia a partir de imágenes ENVISTAT MERIS (MEedium Resolution Imaging Spectrometer) de alta resolución, con una mayor precisión que los algoritmos ya existentes para aguas de tipo II.

### BASE DE DATOS

MERIS es un sensor óptico a bordo de la plataforma ENVISAT que capta imágenes en 15 bandas espectrales en un rango entre 412 nm y 900 nm, con un tiempo de revisita de 3 días. Para este trabajo, se utilizaron 13 imágenes de nivel 1b

(radiancias “top of atmosphere” y sin incluir parámetros geofísicos) y de alta resolución (260 x 290 metros) y adquiridas sobre el área de estudio entre los años 2002 y 2008.

En cuanto a los datos de campo proceden de dos fuentes distintas. Por un lado, el Centro de Control del Medio Marino de Galicia (CMM, actual INTECMAR), que muestrea de forma semanal en 41 estaciones dentro de las diferentes rías para obtener varios parámetros de calidad de agua a tres niveles distintos de profundidad. En concreto, se utilizaron 101 estimaciones de clorofila a medida mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) usando muestras entre 0 y 5 metros de profundidad y coincidentes en fecha con imágenes MERIS entre los años 2002 y 2004.

Por otro lado, se usaron 29 muestras de agua de entre 0 y 3 metros de profundidad procedentes de campañas de barco realizadas en la ría de Vigo entre los años 2007 y 2008. También en este caso las fechas son coincidentes con imágenes MERIS y para la estimación de la clorofila se utilizó la técnica del HPLC.

## METODOLOGÍA

### Preprocesamiento

Las imágenes de MERIS seleccionadas para este estudio están despejadas y son coincidentes con los muestreos de campo, con una diferencia horaria entre los mismos y la imagen de entre 30 minutos y 5 horas. Se descartaron los datos muy afectados por la reflexión solar y también aquellos píxeles muy próximos a la línea de costa.

Las imágenes se analizaron utilizando el software de libre distribución Beam 4.2 (Brockmann Consult) proporcionado por la Agencia Espacial Europea (ESA). Los 15 bandas originales (con radiancias “top of atmosphere”) se convirtieron en 12 bandas con datos de radiancia/reflectancia emergentes del agua (Doerffer y Schiller 2008), con el objetivo de eliminar la contribución atmosférica y así homogeneizar datos procedentes de diferentes fechas.

Finalmente, se extrajeron los valores de radiancia/reflectancia en el píxel (con un área aproximada de 0.074 km<sup>2</sup>) correspondiente a las estaciones donde se obtuvieron las muestras de agua para la estimación de clorofila.

### Arquitectura de la red neuronal

Las redes neuronales es una de las técnicas más prometedoras a la hora de estimar las concentraciones de los componentes ópticamente activos en aguas de caso II a partir de imágenes de color (Corsini *et al.* 2003) En este caso proponemos una red neuronal artificial de tipo perceptrón multicapa (MLP) para obtener la concentración de clorofila a partir de imágenes MERIS para el área de Galicia.

El MLP es un modelo neuronal unidireccional no lineal que consta de una red de elementos de procesamiento o nodos llamados neuronas o perceptrones los cuales se organizan en capas, incluyendo siempre una capa de entrada y otra de salida y opcionalmente una ó más capas ocultas. Cada neurona en una capa se conecta con todos los nodos de la siguiente en base a unos coeficientes de entrada aplicados a una función de activación no lineal. El MLP se entrena mediante una técnica de aprendizaje supervisado basada en un algoritmo iterativo de retropropagación, es decir, los coeficientes asociados a las conexiones se ajustan iterativamente de forma que disminuya progresivamente la diferencia entre la salida de la red y la deseada, que se debe conocer *a priori*.

La red que diseñamos para la estimación de clorofila incluye una capa de entrada con 12 neuronas correspondientes a las 12 bandas de reflectancia que se obtienen tras el preprocesamiento inicial de las imágenes; dos capas ocultas con 4 nodos; y una capa de salida con un único perceptrón correspondiente a la concentración de clorofila. Como funciones de activación utilizamos una tangente hiperbólica para la primera capa oculta y una sigmoidea para la segunda, ajustando los coeficientes mediante el método del gradiente descendente que permite minimizar el error cuadrático.

### Entrenamiento y validación

La base de datos completa utilizada para implementar la red consta de 130 puntos. Para cada punto conocemos tanto las variables de entrada, es decir, los valores de radiancia/reflectancia para cada una de las 12 bandas extraídas de las imágenes MERIS y la salida esperada, es decir, la concentración de clorofila correspondiente medida mediante HPLC. Esta base de datos se dividió en dos partes: un conjunto de entrenamiento, con 104 valores, y un conjunto de validación, con 26 elementos. La partición se realizó de forma que ambos conjuntos fueran representativos del total, de

forma que incluyeran puntos de todas las imágenes, ríos, años y épocas del año.

Para mejorar el entrenamiento utilizamos una validación cruzada dejando uno fuera (“leave-one-out”), ya que es el mejor método cuanto el conjunto de entrenamiento es pequeño (Mosquera *et al.* 2008). Así, el MLP es entrenado 104 veces y en cada uno de los pasos un elemento diferente se deja fuera y se utiliza para validar la red.

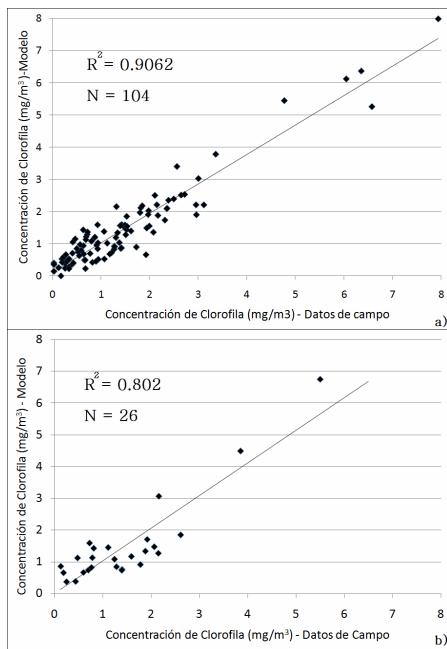
Una vez completado el entrenamiento, se evaluó la eficacia de la red mediante la obtención de una serie de parámetros: coeficiente de correlación lineal ( $R^2$ ), error de predicción medio absoluto (AMPE) y porcentaje de error medio absoluto (MAPE), todos ellos calculados entre la concentración de clorofila esperada y la obtenida por el modelo. Los parámetros se calcularon con los datos del conjunto de entrenamiento, del de validación y de ambos a la vez (Tabla 1).

**Tabla 1:** Estadísticos que resumen la eficacia de la red.  $R^2$ : coeficiente de correlación. AMPE: error de predicción medio absoluto (en  $\text{mg}/\text{m}^3$ ). MAPE: porcentaje de error medio absoluto.

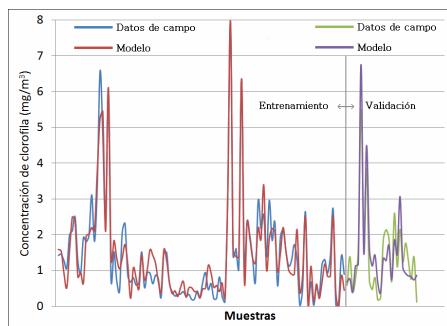
Conjunto de datos	$R^2$	AMPE	MAPE
Entrenamiento	0.91	0.33	0.65%
Validación	0.80	0.61	0.59%
Todos los datos	0.88	0.36	0.65%

## RESULTADOS

Los resultados de la correlación (Figura 1) muestran en general un buen grado de ajuste en el modelo, incluso para el conjunto de validación ( $R^2 = 0.80$ ), que es totalmente independiente del entrenamiento. El error en la predicción ( $0.33 \text{ mg}/\text{m}^3$  en el entrenamiento,  $0.61 \text{ mg}/\text{m}^3$  en la validación) es mayor para valores muy altos de clorofila (Figura 2). Es importante que la red pueda distinguir estos valores extremos, ya que van a estar relacionados con floraciones masivas de algas asociadas a los eventos de afloramientos que afectan a la zona. El mayor error en el ajuste a niveles altos de clorofila se podría explicar por la menor cantidad de puntos (solo un 7.7% de los puntos presentan concentraciones mayores de  $3 \text{ mg}/\text{m}^3$ ), y se podría mejorar incluyendo más datos en ese rango en el entrenamiento del MLP.



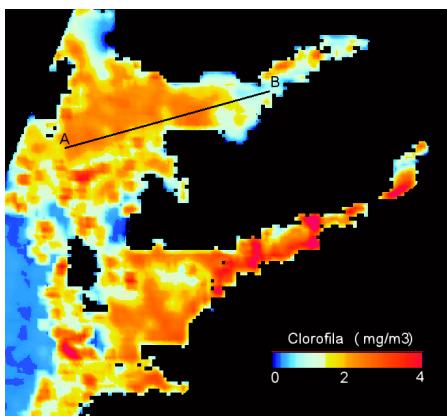
**Figura 1.** Correlación obtenida entre la concentración de clorofila calculada mediante el modelo (eje y) y la estimada a partir de las muestras de campo (eje x), para el conjunto de entrenamiento(a) y para el de validación (b).



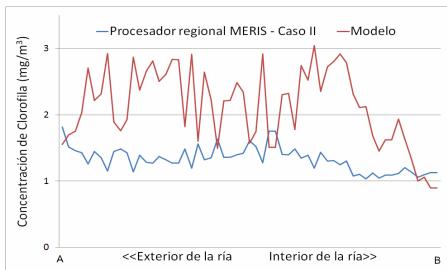
**Figura 2.** Representación de la concentración de clorofila ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) obtenida a partir del modelo y mediante HPLC, para el conjunto de entrenamiento (izquierda) y para el de validación (derecha).

En cuanto a los porcentajes de error, se obtuvieron valores medios inferiores al 0.7%, aunque encontramos puntos aislados con porcentajes de error más elevados, superando el 5% en 3 puntos con un máximo del 12.47%.

La aplicación del modelo a una imagen MERIS en el interior de las rías nos permite obtener mapas de clorofila (Figura 3) más precisos que los que proceden de la aplicación de otros algoritmos más generales. Así, si comparamos los resultados producidos utilizando nuestra red neuronal con los derivados a partir del procesador regional de Caso II para MERIS implementado en el software BEAM (Doerffer y Schiller 2008), vemos como éste algoritmo tiende a infravalorar los resultados (Figura 4) y no funciona tan bien en las aguas locales de Galicia.



**Figura 3.** Mapa de clorofila (en  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) para las rías de Vigo y Pontevedra obtenido a partir de la imagen MERIS FR del día 13 de Mayo del 2003 mediante la aplicación de nuestro modelo neuronal.



**Figura 4.** Datos de clorofila ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) obtenidos en el perfil mostrado en la Figura 3 en la ría de Pontevedra, utilizando el procesador regional MERIS para caso II y aplicando nuestro modelo.

## CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo muestran el gran potencial de las redes MLP para obtener mapas de clorofila en las rías gallegas a partir de imágenes MERIS con una precisión mayor que la derivada de otros algoritmos ya existentes. Estos mapas pueden ser de gran importancia para realizar un seguimiento de la productividad en las rías y detectar episodios de floraciones masivas de algas, las cuales pueden ser potencialmente tóxicas afectando al cultivo de mejillones.

## BIBLIOGRAFÍA

Corsini, G., Diani, M., Grasso, R., De Martino, M., Mantero, P. y Serpico, S. 2003. Radial Basis Function and Multilayer Perceptron neural networks for sea water optically active parameter estimation in case II waters: a comparison. *International Journal of Remote Sensing* 24, no. 20: 3917-3932.

Doerffer, R. and Schiller, H. 2008. MERIS Regional Coastal and Lake Case 2 Water Project-Atmospheric Correction ATBD. *GKSS Research Center* 21502, Geesthacht Version 1.0, 18 May 2008.

Mosquera Giménez, Á., Darriba Estévez, M., González Vilas, L. and Torres Palenzuela, J. 2008. Development of a neural network to retrieve chlorophyll concentrations from MERIS images in the Galician coastal waters. *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> MERIS/(A)ATSR User Workshop*, SP-666.

Torres, J., Lago, R., Martínez, G. and González, L. 2005. Utilización de imágenes Meris en la detección de blooms de *Pseudo-nitzschia* spp. en costas de Galicia. *Revista de Teledetección* 24: 73-77.

Torres, J., Mosquera, Á. and González, L. 2008. Ocean Colour measured by remote sensing and applications. In: *Ocean Remote Sensing: Recent Techniques and Applications*: 9-29. Kerala, India.

## AGRADECIMIENTOS

Las imágenes MERIS utilizadas en este trabajo han sido cedidas por la Agencia Espacial Europea (ESA) dentro del proyecto AO623. Gracias al Centro de Control del Medio Marino (CMMM, actual INTECMAR) por los datos históricos de clorofila. Las campañas de barco y la investigación se desarrollaron en el marco del proyecto Marie Curie ECOSUMMER.