

## Detección y seguimiento de la pluma del río Adour mediante MODIS

Yolanda Sagarminaga<sup>(1)</sup>, Guillem Chust<sup>(1)</sup> y Damien Dailloux<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Fundación AZTI, La Herrera Kaia s/n, 20110 Pasaia, España. ysagarminaga@pas.azti.es, gchust@pas.azti.es

<sup>(2)</sup> LaSAGEC2, 1 allée du Parc Montaury, 64300 Anglet, Francia

### Resumen

La descarga de nutrientes y materiales en suspensión de los ríos en el mar genera las denominadas plumas de turbidez. Este estudio explora el uso del sensor MODIS 250 m en la detección y seguimiento rutinario de la pluma del río Adour (Aquitania, Francia) a lo largo del año 2004. El sensor MODIS reúne unas óptimas características para este objetivo dada su resolución espacial media, su periodicidad diaria y el libre acceso en línea de los datos. En particular, el trabajo caracteriza la variabilidad temporal de la forma y extensión de la pluma. Para ello, se ha adquirido una serie temporal (33 escenas de abril a diciembre) de productos de imágenes de la reflectividad de la superficie que son una composición de 8 días. El procesado y análisis de la banda 1 (648 nm) de esta serie temporal ha permitido extraer diferentes parámetros estructurales de la pluma: extensión y variabilidad temporal, y perfiles de intensidad media a lo largo y ancho de la costa.

### 1. Introducción

La polución de aguas dulces, debido a la actividad antrópica y los vertidos, tiene como consecuencia efectos de larga duración en los ecosistemas estuáricos y costeros (disminución de recursos marinos, erosión de playas, impacto sobre el bentos), conllevando pérdidas en su potencial como recurso pesquero y lúdico, así como en su biodiversidad regional. La intrusión al mar de los materiales contaminantes junto con los nutrientes y otros sólidos en suspensión, genera las denominadas plumas de turbidez, e induce una fuerte señal en la radiancia de la banda visible del espectro.

Este estudio explora la utilidad de la nueva generación de radiómetros en la detección y seguimiento de las plumas de río. Este trabajo se centra en la caracterización de la variabilidad temporal de la forma y magnitud de la pluma que está asociada a las propiedades del mismo río

(caudal, concentración del material en suspensión) y las condiciones ambientales (viento, marea). El sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) reúne unas características adecuadas para este tipo de estudio dada su resolución espacial media (250 m), su periodicidad (2 adquisiciones diarias gracias a la sincronización de los satélites *Aqua* y *Terra*) y su distribución gratuita en línea. A pesar de que las bandas de resolución media fueron diseñadas para aplicaciones terrestres, trabajos recientes han demostrado su potencial en varias aplicaciones acuáticas como la detección del sedimento en suspensión [1], mapeo de plumas turbidas [2], estelas de aceite [3], *blooms* de algas [4], y calidad del agua y productividad en estuarios [5]. Nuestro objetivo persigue la implementación y validación de su aplicabilidad en el caso del río Adour (Aquitania, Francia) a lo largo del año 2004.

### 2. Material y métodos

#### 2.1 Área de estudio

Este estudio se ha desarrollado en la desembocadura del río Adour en la costa de Aquitania (Francia) y del País Vasco (España), véase Fig. 1.

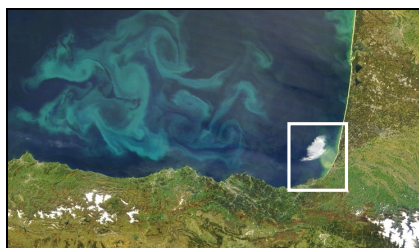


Fig. 1. Área de estudio (recuadro blanco). Fuente: MODIS Rapid Response Team, NASA/GSFC.

## 2.2 Datos MODIS

El sensor MODIS dispone de 36 bandas espectrales, dos de ellas a 250 m de resolución espacial (bandas 1 y 2 correspondientes al rojo e infrarrojo cercano, respectivamente), 5 bandas a 500 m y el resto a 1 km. También se caracteriza por su alta resolución radiométrica (12 bit).

Hemos utilizado los datos de la composición de 8 días (*composites*) de la reflectividad de superficie de MODIS a 250 m de resolución (MYD09Q1.4). Este producto es una estimación de la reflectividad espectral de la superficie para cada banda a nivel de la superficie terrestre asumiendo que no hay dispersión ni absorción. Esta corrección incluye los efectos atmosféricos de los gases, aerosoles y nubes delgadas tipo cirros. Este producto es una composición de las imágenes de 8 días, conservando su resolución espacial. Se consideran las mejores observaciones de este intervalo de tiempo de acuerdo con la calidad de los píxeles y la cobertura nubosa de cada observación.

## 2.3 Procesado de las imágenes

Se adquirieron un total de 33 escenas (*granules*) que cubren el periodo de abril a diciembre del 2004 a través del centro de datos *Distributed Active Archive Center* (LC DAAC) de USGS - NASA. Este producto está compuesto de 3 capas: banda 1 y 2, y una imagen que proporciona una evaluación de la calidad para cada píxel. En primer lugar se delimitó la región de interés, en la costa de Aquitania y Euskadi, para facilitar el procesado de las imágenes (Fig. 1). En base a la información de calidad, se aplicó una máscara para extraer únicamente aquellos píxeles con un buen nivel de calidad (sin nubes y atmosféricamente corregidos). La importación y el proceso de las imágenes se realizaron con el programa ENVI 3.5 – IDL 5.5 [6] con el fin de automatizar las etapas.

## 2.4 Extracción de parámetros de la pluma de río

Se procedió a detectar la intensidad y extensión de la pluma asumiendo la relación lineal establecida por Miller y McKee [1] entre la concentración del sedimento en suspensión y la reflectividad en la banda 1. Se extrajeron diferentes parámetros estructurales de la pluma: perfiles de intensidad media de la pluma a lo largo y ancho de la costa, extensión e intensidad de la pluma y su variabilidad temporal. Para ello, en primer lugar se aplicó un

análisis de componentes principales (ACP) a la serie temporal para identificar la tendencia general del proceso de descarga de sedimentos y formación de la pluma. Esta tendencia general, recogida por la primera componente, permite establecer la zona principal de descarga. La localización y extensión de esta zona núcleo se establecen mediante un perfil perpendicular a la costa y otro paralelo a la costa, tomando como punto de origen el punto geográfico de la desembocadura del río. Una vez definida esta zona núcleo, se procedió a extraer el valor medio de la reflectividad en esta zona para cada fecha, obteniendo así un indicador de la intensidad de descarga. Para determinar la extensión de la pluma, ésta se delimitó manualmente para cada fecha. Estos dos parámetros (intensidad y extensión) de la pluma se compararon con datos del flujo de agua obtenidos *in situ*.

## 3. Resultados

La serie temporal de imágenes de reflectividad ha permitido visualizar la rápida formación y desaparición de la pluma del Adour a lo largo del año 2004; véase un ejemplo en la Fig. 2 en la que se muestran dos imágenes consecutivas de abril en el que se forma una importante pluma en un periodo de una semana. Por otro lado, este análisis visual de la serie también ha puesto de manifiesto la presencia de grupos de píxeles defectuosos en determinadas fechas (Fig. 3).

El análisis de componentes principales ha permitido obtener la localización y extensión principales en el proceso de descarga de sedimentos que constituye la pluma. Así, la primera componente (Fig. 4) muestra que el núcleo de las plumas se ladea ligeramente hacia la izquierda (SW) respecto al eje perpendicular a la costa en la desembocadura del río (Fig. 5). La delimitación de la zona costera más afectada por la pluma en base a la primera componente (8.4 km<sup>2</sup>), nos ha permitido extraer los indicadores de intensidad de la pluma. La intensidad y extensión de la pluma a lo largo del año (Fig. 6) coinciden en reflejar dos periodos importantes de formación de plumas (abril-mayo y noviembre-diciembre). Esta correspondencia indica que la concentración de sedimentos va asociada a la magnitud de la descarga, lo cual explica la concordancia entre estos dos parámetros y el flujo del agua (Fig. 6). Durante el resto del año, la formación de plumas es menor o bien inexistente. Estos resultados reflejan la fuerte variabilidad espacio-temporal de los procesos de generación y desaparición de las plumas de río.

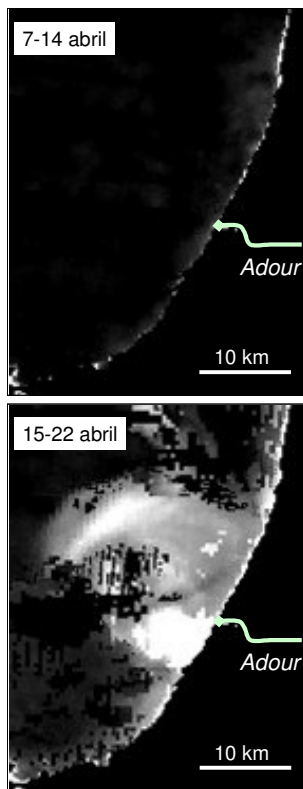


Figura 2. Imágenes de reflectividad del mes de abril del 2004 que muestran la rápida formación de la pluma del Adour. Valores bajos de reflectividad en tonos oscuros, valores altos en tonos claros.

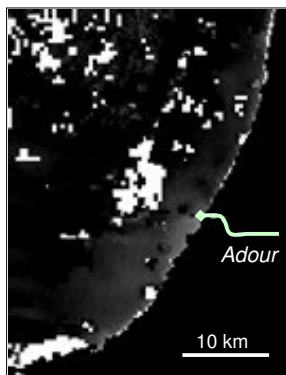


Figura 3. Imagen de reflectividad de mayo 2004.

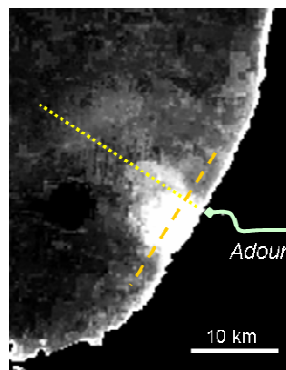


Figura 4. Primera componente principal de la serie temporal del año 2004 y perfiles perpendicular (amarillo) y paralelo (naranja) a la costa.

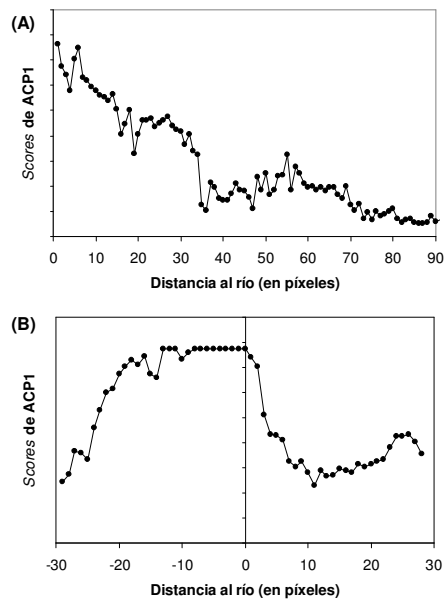


Figura 5. Perfiles perpendicular (A) y paralelo (B) a la costa de los valores extraídos de la primera componente principal.

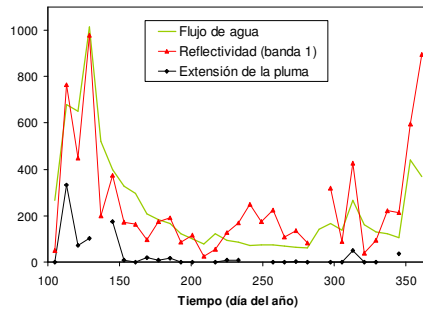


Figura 6. Flujo del agua ( $m^3/s$ ), reflectividad ( $\times 10000$ ) en la banda 1 de MODIS, y extensión de la pluma ( $km^2$ ). Los valores ausentes de reflectividad y extensión corresponden a imágenes cuya calidad de los píxeles era insuficiente para estimar estas variables.

#### 4. Conclusiones

Este estudio preliminar ha mostrado la utilidad del sensor MODIS 250 m para detectar y hacer un seguimiento de la pluma del Adour. Se han detectado dos períodos del año en los que se generan importantes plumas (abril-mayo y noviembre-diciembre), y una elevada variabilidad en su extensión en el intervalo de una semana.

Los resultados obtenidos han puesto en evidencia dos problemas principales: 1) la presencia de nubes en determinados períodos del año que supone un producto de composición de 8 días de baja calidad y difícil interpretación visual. 2) La fuerte dinámica intrínseca de la generación y dilución de la pluma en intervalos inferiores a la semana. Para solventar estos problemas se sugiere utilizar otros métodos de composición de las imágenes diarias que tengan en cuenta la variabilidad específica de la dinámica de la pluma (por ej., medias ponderadas, intervalos óptimos de tiempo).

Por último, se propone la utilidad de los métodos de clasificación contextual para mejorar la detección y caracterización de la dinámica de las plumas. Dada la naturaleza local del fenómeno de las plumas, este tipo de clasificación que introduce la información del contexto espacial considerando los píxeles adyacentes se presenta especialmente adecuado para implementar métodos de delimitación automática del área afectada por la descarga de sedimentos en la costa.

#### 5. Agradecimientos

Agradecemos a LP DAAC (*Land Processes Distributed Active Archive Center*), emplazado en U.S. Geological Survey's EROS Data Center (<http://LPDAAC.usgs.gov>), por distribuir los datos MODIS.

#### 6. Referencias

- [1] Miller, R.L. & B. A. McKee, "Using MODIS Terra 250 m imagery to map concentrations of total suspended matter in coastal waters", *Remote Sensing of Environment*, 93, 259-266, 2004.
- [2] Li, R. R., Y. J. Kaufman, B.-C. Gao, & C. O. Davis, "Remote sensing of suspended sediments and shallow coastal waters", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 41, 559-566, 2003.
- [3] Hu, C., F. Muller-Karger, C. J. Taylor, D. Myhre, B. Murch, A. L. Odriozola, & G. Godoy, "MODIS detects oil spills in Lake Maracaibo", Venezuela, *EOS Trans. AGU*, 84(33), 313, 2003.
- [4] Kahru, B.G. Mitchell, A. Diaz, & M. Miura, "MODIS detects a devastating algal bloom in Paracas Bay, Peru", *EOS, Trans. AGU*, Vol. 85, N45, p. 465-472, 2004.
- [5] Hellweger, F.L. P. Schlosser, U. Lall, J.K. Weissel, "Use of satellite imagery for water quality studies in New York Harbor", *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 61, 437-448, 2004.
- [6] ENVI Programmer's Guide, 1998. Research System, Inc., 930 pp.