

GENERACIÓN DE INDICADORES PARA EL SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS LITORALES. EVOLUCIÓN DE LA TURBIDEZ EN LA DESEMBOCADURA DEL RÍO GUADALQUIVIR

J. M. Moreira, I. R. Carpintero, R. Crespo, L. Granado, G. Montoya, I. Pino y A. Rodríguez.

Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM). EGMASA. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Johan G. Gutenberg, 1. 41.092 Sevilla. dgpia.cma@juntadeandalucia.es

RESUMEN

La Red de Información Ambiental de la Junta de Andalucía (REDIAM), viene trabajando en la producción de información que dé soporte a las actividades de gestión y planificación del medio ambiente, mediante la utilización de tecnologías de reconocimiento espacial. En este sentido, lleva a cabo desde el año 2006 un estudio, cuyo objetivo ha sido obtener una visión sintética del estado de las aguas litorales de Andalucía a lo largo del período 1998-2009. Para ello, se ha realizado el seguimiento anual de algunos parámetros físicos de gran interés en la caracterización de las aguas marinas y litorales, con información extraída a partir del tratamiento de imágenes de satélite. Entre los parámetros indicadores de mayor importancia se encuentran la temperatura superficial del mar, clorofila-a y la turbidez. La metodología de estudio permite obtener información de estos parámetros físicos con precisión y continuidad espacial, lo que posibilita el estudio de la evolución temporal de estos parámetros y su interpretación como indicadores de cambio. El caso presentado es el análisis mediante técnicas de Teledetección del fenómeno de turbidez del río Guadalquivir, acaecido en Noviembre de 2007 a la altura de la presa de Alcalá del Río, como información de apoyo en el seguimiento de dicho fenómeno.

ABSTRACT

The Andalusian Environmental Information Network (REDIAM) produces information to support environmental management and planning by using spatial recognition technologies. In this respect, REDIAM is carrying out a study since 2006, which main aim has been to obtain a synthetic vision of the andalusian coastal waters state from 1998 to 2009. Due to that, REDIAM develops the annual monitoring of some physical parameters of interest to the coastal waters quality, with information extracted from remote sensing image processing. The main parameters studied are: sea surface temperature, chlorophyll a and turbidity. This methodology allows obtaining information of these physical parameters accurately and with a spatial continuity, which makes possible the temporary evolution study of these parameters and their interpretation as indicators of change. In this article is presented, like example, the analysis of the Guadalquivir River turbidity event, in November 2007 by means of remote sensing skills, as information to support the monitoring of this phenomenon.

Palabras claves: teledetección, temperatura superficial del mar, clorofila-a, coeficiente de atenuación difusa, turbidez.

INTRODUCCIÓN

Las características espectrales del agua están determinadas por varios factores que incluyen, entre otros, la radiación incidente en la superficie del agua, las propiedades ópticas, la rugosidad de la superficie,... de ahí que la teledetección sea potencialmente útil para realizar estudios de calidad de la misma. Además, esta fuente de información ofrece como aportación fundamental el carácter continuo y sincrónico en espacios de gran extensión y dinamismo, lo que posibilita el estudio de la evolución temporal de ciertos parámetros físicos y su interpretación como indicadores de cambio.

En este artículo se describen los procesos desarrollados para obtener estos indicadores.

Además del estudio evolutivo de estos parámetros, hay que señalar que dichos procedimientos están orientados a dar respuestas a las necesidades diarias de gestión de los procesos propios de la Administración, como en el caso práctico del estudio de la turbidez del río Guadalquivir a la altura de la presa de Alcalá del Río, desarrollado en este artículo. Por tanto, el análisis se realiza a dos niveles, regional y local. En el primer caso a partir de imágenes SeaWiFS, NOAA-AVHRR y MODIS se obtienen datos sobre clorofila a, coeficiente de atenuación difusa (K490) y temperatura superficial del mar (SST), mientras que para el nivel local se utilizan imágenes Landsat TM y SPOT 5 Multispectral para el análisis de turbidez.

OBJETIVOS

El trabajo que viene desarrollando la REDIAM tiene como objetivo la obtención de indicadores que permitan el seguimiento anual de algunos parámetros físicos de gran interés en la caracterización de las aguas marinas y litorales, con información extraída a partir del tratamiento de imágenes de satélite.

METODOLOGÍA Y PROCESOS

La metodología desarrollada para la obtención de los indicadores generados consta de diversas fases: *recopilación e inventario de imágenes*, procedentes por un lado, de la biblioteca de imágenes que la Consejería de Medio Ambiente posee, así como de otras fuentes, tales como el Centro de RECEPCIÓN, PROCESO, ARCHIVO Y DISTRIBUCIÓN (CREPAD); *generación de fichas*, en la que se recogen las diferentes aplicaciones para cada uno de los parámetros de estudio, susceptible de ser aplicadas al estudio de calidad de las aguas; *tratamiento y explotación de las imágenes de satélite*, éstas son sometidas a una serie de operaciones, obteniendo medias mensuales, estacionales y anuales de los diferentes parámetros de interés correspondientes a la zona del Golfo de Cádiz, Estrecho de Gibraltar y Mar de Alborán y *obtención de indicadores relacionados con la calidad de las aguas costeras* a partir del tratamiento estadístico de imágenes de baja resolución adquiridas por sensores como MODIS, SeaWiFS, NOAA y su posterior análisis mediante bases de datos hidrodinámicos y meteorológicos.

A continuación se comentan las principales tendencias de los indicadores de calidad de las aguas, por ámbito de estudio, comenzando a nivel regional y concluyendo con un caso práctico a nivel local, ejemplo de la integración de la información obtenida a partir de imágenes de satélite dentro de la gestión de la Administración.

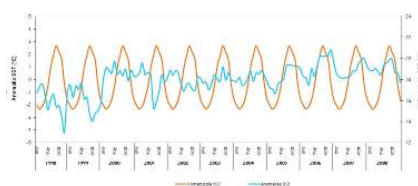
Temperatura de las aguas superficiales

La temperatura superficial del mar determinada mediante sensores remotos, ha demostrado ser uno de los parámetros geofísicos más importantes dentro de las aplicaciones oceanográficas de la Teledetección, permitiendo la detección de varios fenómenos oceanográficos.

En un análisis primario de la información (Tabla1) se observa la tendencia al aumento de la temperatura superficial del mar. Si se tiene en cuenta la evolución de la anomalía media para cada año, la

tendencia, exceptuando el año 2000, parece estar dirigida a un aumento progresivo y más acentuado de los valores a medida que nos acercamos a los últimos años de la serie. En cuanto a la distribución espacial, las temperaturas medias mensuales más altas se suelen registrar en el mes de agosto, en el Golfo de Cádiz y gran parte de las aguas mediterráneas y las más frías, en el mes de febrero, principalmente en la costa Atlántica (Ojeda y Fernández-Palacios 1994). También se observa, especialmente entre los meses de junio y septiembre, la presencia de aguas relativamente más frías en la zona del Estrecho de Gibraltar, marcando la entrada de las aguas atlánticas en la cuenca mediterránea.

Tabla 1.- Representación de las anomalías de SST frente a la climatología de SST a partir de imágenes NOAA AVHRR, 1998-2008.



Clorofila-a

La determinación de la concentración de clorofila es uno de los índices claves de seguimiento de la población marina, en su mayoría fitoplancton, y del estado de los ecosistemas acuáticos, por tanto los datos provenientes de los sensores que miden el color del océano son muy importantes para la oceanografía biológica, ya que caracterizan la concentración de fitoplancton, los sedimentos marinos, el detritus, la materia orgánica, las mareas rojas...

En un primer estudio, se observa la marcada diferencia entre la zona mediterránea y la zona atlántica. En esta última las concentraciones de clorofila a y su distribución espacial son muy similares a lo largo de todo el año, con valores elevados (más de 5 mg/m³) en las zonas cercanas a la costa y valores mucho más bajos (inferiores a 0,1 mg/m³) en aguas oceánicas. En la zona mediterránea, la variabilidad de este parámetro es mucho mayor, siendo los meses con valores más bajos los de agosto, septiembre y octubre, y alcanzándose los valores más altos entre los meses de enero y junio y especialmente en el mes de diciembre.

Analizando las imágenes de primavera, la concentración de valores en puntos concretos de la costa (desembocadura del Guadalquivir, por

ejemplo) hace pensar que las condiciones de aportes de origen continental están relacionadas con situaciones concretas de vertido o dispersión de nutrientes.

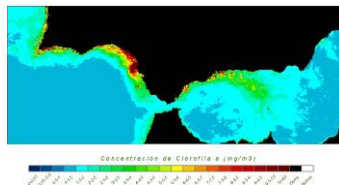


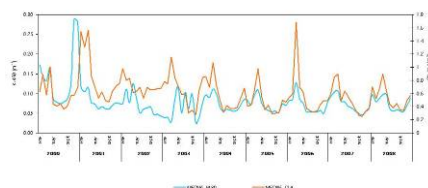
Figura 1.- Imagen MODIS de clorofila a, primavera 2008.

Coeficiente de atenuación difusa K490

El valor de K-490 representa el rango dentro del cual la luz a la longitud de onda de 490 nm es atenuada con la profundidad. Puede considerarse como un estimador de la claridad o turbidez del agua, al medir la capacidad de penetración de la radiación solar incidente en ella.

El comportamiento medio del coeficiente de atenuación difusa a lo largo de la serie de estudio (climatología) refleja cómo los valores más bajos se registran en los meses estivales y cómo a partir de noviembre comienza a producirse un ascenso de dicho valor, que se mantiene hasta bien entrada la primavera para volver a descender en verano (Tabla 2).

Tabla 2.- Representación de la media mensual de K490 frente a la media mensual de Clorofila a, a partir de imágenes SeaWiFS y MODIS.



Si se analiza la evolución del parámetro a lo largo del tiempo, los valores más elevados muestran un comportamiento similar para toda la serie, registrándose los máximos de turbidez a finales de invierno y principios de primavera (incentivados por el bloom primaveral, que provoca un aumento en la concentración de clorofila, uno de los factores partícipes en la turbidez del agua), mientras que los valores mínimos, aunque se localizan principalmente en verano, no presentan un patrón tan constante.

Caso práctico: Seguimiento de la evolución de la turbidez en la desembocadura del río Guadalquivir (noviembre 2007 a julio 2008)

Tras el fenómeno de turbidez acaecido en Noviembre de 2007 a la altura de la presa de Alcalá del Río, la Red de Información Ambiental de Andalucía lleva a cabo un análisis mediante técnicas de Teledetección como información de apoyo en el seguimiento de dicho fenómeno.

Para la elección del sensor con el que realizar el análisis se evalúan distintas alternativas, teniendo en cuenta las prestaciones técnicas de distintos sensores y la disponibilidad de imágenes. Por ello se plantean, dos fases de trabajo:

1ª Fase con imágenes de baja resolución pero con una elevada cadencia, procedentes de los sensores SeaWiFS y MODIS AQUA y con una resolución de 1 km x 1 km que cubren toda la costa de la Comunidad Autónoma de Andalucía. Para el desarrollo de esta fase, se utilizan las imágenes ya tratadas del parámetro k490. Se elige como periodo de interés desde septiembre 2007 a mayo 2008, ya que es en estos meses donde se aprecia un aumento en la turbidez del río. Para normalizar las condiciones hidroclimáticas, se calcula el promedio mensual de las imágenes respecto al estado de la marea (Figura 2).

Tanto en las imágenes como en los datos estadísticos obtenidos de las mismas, es evidente un incremento de turbidez en la zona de la desembocadura del río Guadalquivir a partir del mes de abril. Debido a que el parámetro utilizado no diferencia entre turbidez producida por materia orgánica o inorgánica y a que los meses en los que se registra un aumento de la turbidez coinciden con los meses de afloramiento de aguas profundas ricas en nutrientes y por tanto con un aumento en la concentración de clorofila, se correlacionan los datos de la serie histórica de k490 con datos de concentración de clorofila a (sensor SeaWiFS años 2000 a 2004 y MODIS-AQUA para los años 2005 a 2008) para poder descartar causas de este aumento en la turbidez de las aguas. Tras el análisis realizado no se puede concluir que el aumento de turbidez en la desembocadura del Guadalquivir para los meses de primavera de 2008, se deba a un comportamiento anómalo, al presentar una respuesta coherente al comportamiento medio de la serie histórica para ese periodo de tiempo.

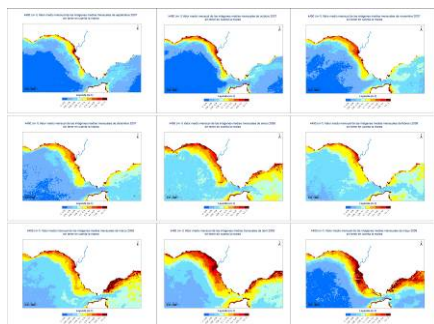


Figura 2.- Evolución de la turbidez en la desembocadura del río Guadalquivir desde septiembre de 2007 a mayo de 2008, mediante imágenes MODIS de k490.

2ª Fase con imágenes de alta resolución.

Se adquieren imágenes SPOT5 Multiespectral que presentan 10 m de resolución espacial. Mediante una serie de tratamientos se corrigen las imágenes tanto geométrica como radiométricamente, de forma que la información extraída de las mismas sea comparable. Posteriormente mediante un algoritmo de combinación de bandas espectrales (Rojo e Infrarrojo cercano) se ha obtenido el parámetro de turbidez proporcionado por la imagen (Hernández Bartolomé J.F. et al 2003). El estudio de este parámetro en las distintas fechas permite distinguir como ha ido evolucionando la turbidez en el tiempo a lo largo del cauce del río. El rango de valores del parámetro turbidez medido en la imagen varía desde 4 a 400 uds, presentándose la mayoría de los valores entre 25 y 250, y considerándose por encima de 250 una turbidez elevada. Por otro lado, dada la influencia que la marea ejerce sobre el arrastre de sólidos en suspensión en la desembocadura de los ríos, se estima conveniente analizar la evolución de la misma en el periodo de estudio y llevar a cabo un análisis conjunto de la información proporcionada por las imágenes de satélite y la información mareal. Como conclusión podemos indicar que, en general, el estuario del río ofrece una elevada turbidez que tiende a auto regularse, aumentando y disminuyendo, aunque con cierta dificultad para el tramo entre la zona situada a la altura de Trebujena y la presa de Alcalá.

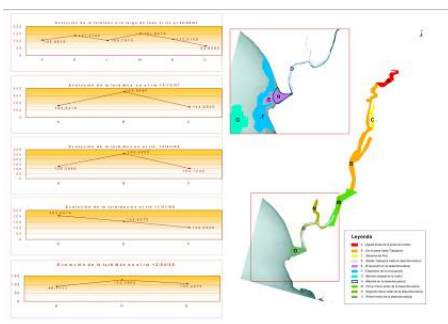


Figura 3.- Análisis de la evolución temporal de la turbidez en el cauce del río Guadalquivir. Imagen de arriba 12/04/2008 e imagen de abajo 11/03/08. SPOT 5.

CONCLUSIONES

Fruto de la metodología de trabajo implementada dentro de los estudios con teledetección, la Consejería de Medio Ambiente cuenta con una biblioteca de imágenes de satélite, indicadores y cartografía derivada que permite dar pronta respuesta a las necesidades diarias de gestión y seguimiento de procesos propios de la Administración.

Por tanto, la Consejería de Medio Ambiente abre una nueva etapa cuyo objetivo es el desarrollo de otros indicadores a partir de nuevos parámetros y obtención de indicadores de estado a partir de la relación entre los ya existentes.

BIBLIOGRAFÍA

- Ojeda, J., Fernández-Palacios, A., Moreira, J. M. y Sánchez, e. 1994: Programa de seguimiento de la calidad y dinámica del espacio marino y litoral a través de imágenes de satélite. Andalucía. Agencia de medio ambiente. *Revista de Teledetección*, 5, pp 9-15.