

SIMARO: APLICACION DE SISTEMAS EXPERTOS A EPISODIOS DE MAREA ROJA BASADO EN PARAMETROS MEDIOAMBIENTALES E IMAGENES TERMICAS

J.M. Torres Palenzuela

*Dpto. de Física Aplicada. Facultad de Ciencias. Universidad de Vigo. Fax: (986) 812382.
Tfno: (986) 812295. E-mail: jtorres@seinv.uvigo.es.*

J.M. Cotos Yañez, I. Sordo Touza, C. Hernández Sande.

*Laboratorio de Sistemas. Dpto. Electrónica y Computación. Facultad de Físicas.
Universidad de Santiago de Compostela. Campus Sur 15706. Santiago de Compostela.*

RESUMEN.- En este trabajo se describe un sistema de conocimiento desarrollado para el estudio y seguimiento de mareas rojas en las rías gallegas. El sistema esta constituido por un sistema experto encargado de manipular, integrar y analizar toda la información recibida con el objeto de hacer validar una serie de hipótesis de trabajo en la que se encuentra condensada el conocimiento del experto. Por otro lado hemos desarrollado un sistema de información geográfica que nos ayuda a estudiar los resultados dados por el sistema experto y hacer un seguimiento de los episodios tóxicos. Este sistema de conocimiento se nutre de tres bases de datos diferenciadas: imágenes térmicas NOAA-AVHRR para el estudio de masas de agua caliente, datos de campo de perfiles de agua dentro de las rías y mapas de presiones atmosféricas para el cálculo de vientos e índices de Ekman.

ABSTRACT.- In this paper we present a knowledge system developed to study and follow-up red tides in the galician estuaries. The whole system is composed of an expert system that manages, integrate and analyses all the received information just to validate a series of work hypothesis in which is recollected the expert knowledge. In others land, we have developed a geographic information system that help us to study the expert system given result and to do a follow-up of toxic events. This knowledge system tall information from three different data bases: thermic NOAA AVHRR image for study of worm water, field profile data from water inside the galician estuaries and atmospheric pressure maps to evaluate Ekman's winds and indexes.

1.- INTRODUCCION

Las Rías gallegas situadas al NO de la península ibérica, son desde los años cincuenta fuente de explotación marisquera y en particular del cultivo del mejillón (*Mytilus galloprovincialis*) por medio de bateas en el interior de las rías. Sólo en la Ría de Arosa hay del orden de 2000 de estas plataformas, distribuyéndose en los llamados polígonos. Actualmente se alcanza una producción anual de $150-200 \times 10^3$ Tm. Su situación geográfica las hace estar expuestas a vientos anticiclónicos de dirección N y NO que en las Rías Bajas favorecen el afloramiento oceánico entre abril y octubre [Fraga, 1981]. Este produce, debido a la fuerza de Coriolis, afloramiento oceánico que inyecta en las rías aguas más frías y nutrientes, actuando de modulador de la circulación estuárica. Todo ello unido a la existencia, en el Cabo de Finisterre, de un frente Oceánico perpetuo entre aguas atlánticas y cantábricas, así como el aporte al sur, de las aguas ricas en nutrientes del estuario del Miño, confiere a esta zona una alta producción primaria y una gran riqueza pesquera. Esta elevada producción de mejillón,

unida a la recolección en bancos naturales de otros moluscos y al cultivo de otras especies como la almeja, ostra, rodaballo y salmón, hacen que este sector tenga una enorme importancia socioeconómica en Galicia. Existen diversos peligros para la acuicultura y uno de los más importantes, tanto desde el punto de vista económico como sanitario, es el desarrollo de algunas especies fitoplanctónicas tóxicas denominadas comúnmente mareas rojas.

Hoy en día, se sabe que ciertas algas microscópicas, que forman parte del fitoplancton, producen toxinas extremadamente potentes (ticotoxinas). Estas son absorbidas por los predadores que se nutren del plancton, ya sea directamente, como en el caso de los moluscos bivalvos, o a través de intermediarios en varios niveles de la cadena trófica, como los peces. Estos productos son consumidos posteriormente por el hombre. La aparición de estos eventos está influenciado por una gran diversidad de factores fisiológicos y medioambientales. Esta gran variedad de factores dificulta enormemente el estudio y posterior predicción de la ocurrencia de estos "blooms" nocivos.

2.- SISTEMA SIMARO

Hemos desarrollado un sistema de conocimiento para el estudio de episodios tóxicos en la costa NO de la península ibérica, utilizando variables medioambientales e imágenes NOAA-AVHRR. El sistema nace en el marco de un proyecto de colaboración entre distintos centros de investigación del sector, el centro gallego para el Control de la Calidad del Medio Marino (dependiente de la consejería de Pesca y Marisqueo y Acuicultura de la Xunta de Galicia), y la Universidad de Santiago de Compostela. Está constituido por un sistema experto (NEXPERT) y un sistema de información geográfica desarrollada en un entorno Xwindows de UNIX.

2.1.- Partes del Sistema

El sistema desarrollado consta de tres módulos generales: las bases de datos, el sistema experto y el sistema de información geográfica. El sistema experto analiza la información de tres bases de datos independientes para detectar variaciones en parámetros medioambientales y relacionarlos con la aparición o atenuación de "blooms" tóxicos. El sistema de información geográfica nos ayuda a estudiar los resultados dados por el sistema experto y hacer un seguimiento de los episodios tóxicos.

Las bases de datos son las entradas al sistema, y están constituidas por los datos de campo, las imágenes NOAA y los mapas de presión atmosférica.

Los datos de campo son los obtenidos en el CENTRO PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DEL MEDIO MARINO dependiente de la consejería de Pesca y Marisqueo y Acuicultura de la Xunta de Galicia situado en Vilaxoan (Ria de Arosa). Todos los parámetros fisicoquímicos de la columna de agua, así como medidas biológicas de recuentos de células y toxicidad en las distintas estaciones situadas en el interior y en las bocas de las rías, son suministradas semanalmente a través de una conexión vía modem entre el centro citado anteriormente y el laboratorio de sistemas e ingeniería del conocimiento de la facultad de Físicas de Santiago de Compostela. Esta conexión se realiza mediante un software cedido por la Xunta de Galicia para tal fin.

Las Imágenes de Satélite forman la segunda base de datos de entrada, constituida por imágenes térmicas de la superficie marina en la zona de estudio (la zona atlántica de la costa Galego-Portuguesa) obtenidas por nuestra estación de recepción de la serie de satélites NOAA-AVHRR. A partir de ella el sistema procesará de dos en dos las imágenes que sean

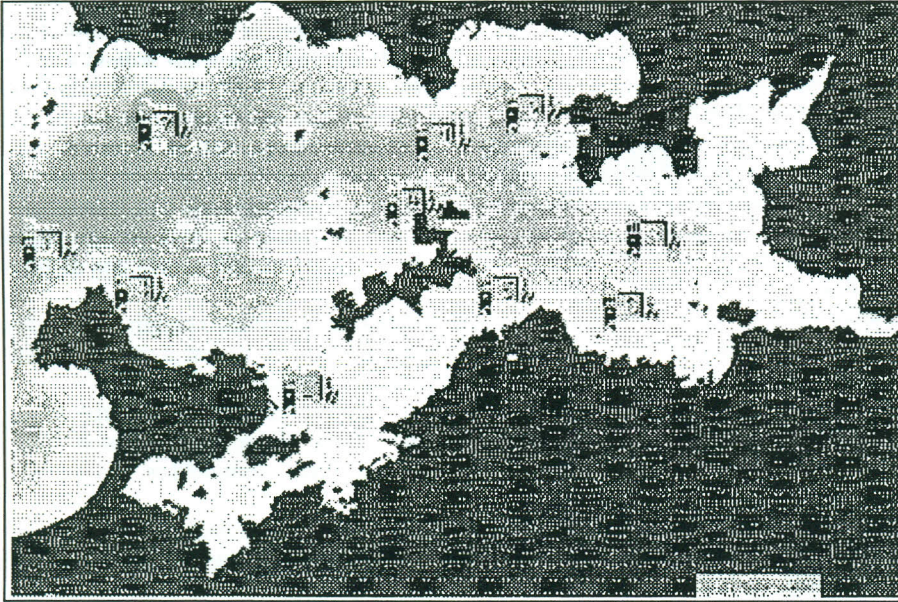


Figura 1.- Mapa geográfico de la ría de Arosa con posicionamiento de boyas y batimetría.

correlativas en tiempo y cuyo período de adquisición coincida con el que en ese momento estudie el sistema. El interés de todo ello es determinar si existen desplazamientos de masas de agua cálidas desde Portugal hacia las costas gallegas, que podrían contener células suficientes de dinoflagelados para que, una vez en las rías se desarrolle una floración tóxica importante.

Los Mapas de Presiones Meteorológicas son de gran importancia en nuestro estudio para el cálculo de vientos e índices de afloramientos, ya que la aparición de eventos tóxicos esta relacionada con la relajación de los afloramientos oceánicos debido a que el nutriente desciende a capas más profundas, donde solo especies móviles como los dinoflagelados tóxicos pueden acceder para su desarrollo. Esta base de datos esta constituida por mapas de presiones atmosféricas de superficie, de la zona del Atlántico NortOriental. A partir de ellos el sistema calcula dirección y fuerza de vientos geostróficos diarios usando la metodología de Bakun (Bakun, así como los vientos predominantes (promediados) en cada semana. Con ellos se calculan los índices de afloramiento correspondientes, que es una manera de medir la cantidad de agua aflorada (Ekman 1905), y con ello la predisposición que existe para que las condiciones que favorecen la marea roja aumenten o disminuyan.

Todos los cálculos anteriores pasan a la memoria de trabajo del sistema. El sistema experto es el encargado de manipular, integrar y analizar toda la información recibida, y para ello implementa el conocimiento del medio en forma de reglas tipo "if-then", las cuales son utilizadas por el motor de inferencias junto con la información procedente de los distintos campos, con el objeto de hacer validar una serie de hipótesis de trabajo en la que se encuentra condensada el conocimiento del experto.

La complejidad que presentan los procesos de desarrollo y crecimiento de especies fitoplanctónicas en función de su interacción con parámetros físico-químicos y medioambientales y a la cantidad de información existente tanto desde el punto de vista

geográfico, con las distintas estaciones a lo largo de toda la costa, así como desde el punto de vista frecuencial, debido al interminable flujo de datos que se reciben diariamente a lo largo del año, hacen de cualquier proceso por simple que sea, una labor tediosa y muchas veces imposible de realizar cuando se trata de hacer estudios y seguimientos utilizando solo personal experto. Por todo ello, se hace imprescindible el uso de herramientas que permitan correlacionar y referenciar geográficamente todas estas variables. Este es el caso de el GIS desarrollado en entorno X-Windows para el sistema SIMARO de estudio de mareas rojas. En el cabe destacar una serie de capas de información que desglosamos a continuación.

En el sistema de información geográfica se distinguen las siguientes capas de información:

- Mapa global de la región gallega a partir del cual podemos acceder a cada una de las rías en estudio.

- Mapas de cada una de las rías, obtenidos a partir de imágenes Landsat, desde donde podemos elegir la fecha de estudio. Son mapas obtenidos a partir de imágenes Landsat de la zona. En ellos aparecen la situación de cada una de las estaciones de muestreo.

- Mapas geográficos ampliados de cada ría en el cual se encuentran integrados: capas batimétricas, posición de las boyas de muestreo, existencia o no de células tóxicas, temperatura superficial así como la existencia de haloclinas, termoclinas y otro tipo de estructuras detectadas por el sistema.

- Accedemos a través de la capa anterior a la representación gráfica de la variación de parámetros con la profundidad y la posición de estructuras detectadas por el sistema dentro de la columna.

2.1.- Algoritmo de imágenes

Uno de los factores desencadenantes de una marea roja es la advección hacia el interior de las rías, de aguas superficiales más cálidas y menos salinas que provienen de zonas más al sur frente a las costas portuguesas. Estas masas de agua, por lo general, llevan consigo el inóculo de especies de dinoflagelados necesario, para una vez en el interior de las rías, encuentren las condiciones favorables para su desarrollo y proliferación. Esto es así, debido a que la advección de estas aguas superficiales produce una circulación negativa (apilamiento de aguas contra la costa), que desencadena un relajamiento en el afloramiento oceánico, con lo que se produce un hundimiento de la nutriclina. Si pretendemos desarrollar una sistema que nos permita estudiar y predecir el desarrollo de especies fitoplanctónicas tóxicas, se hace imprescindible un estudio y seguimiento de estas masas de agua cálida. La teledetección nos brinda la herramienta apropiada para tal fin, ya que el estudio de series temporales de imágenes térmicas de la superficie oceánica, nos va a servir para desvelar la existencia de este tipo de circulaciones marinas. Para ello utilizamos imágenes térmicas de la superficie marina (SST), previamente procesadas en base a un algoritmo "split-windows", a partir de los cinco canales originales, obtenidos por el sensor AVHRR de la serie de satélites NOAA. El sistema experto busca en la base de datos de imágenes aquellas que estén dentro del período de 15 días previos a la fecha de estudio. Crea en la memoria de trabajo tantos objetos como imágenes encontradas. A continuación aplica el algoritmo para cada par de imágenes de tomándolas correlativamente según la fecha de adquisición. El algoritmo se basa en una serie de etapas diferenciadas:

- Adquirir dos imágenes correlativas
- Reticular ambas en una malla de 10x20 para la máscara utilizada (costa atlántica de la península ibérica).
- Promediar dentro de cada retícula todos los puntos.
- Calcular la diferencia de cada retícula de una malla a otra siempre que en ambas existan

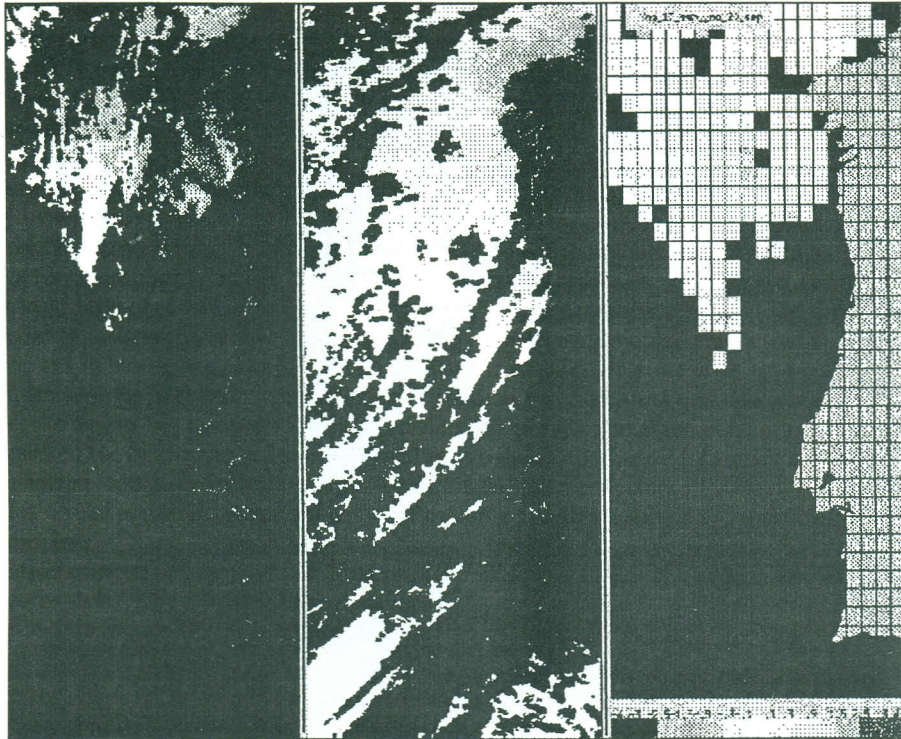


Figura 2.- Imágenes térmicas correspondientes al 17 y 20 de Septiembre, resultado del algoritmo (C. 10)

un número mínimo de pixels con valores distintos de cero.

- Asignar a cada gradiente un nivel cromático dentro de la escala de color que aparece en la figura X.1.

Finalmente una vez resueltas todas las imágenes el sistema debe traducir los resultados a símbolos, cada uno de los cuales representando un estado o situación que puede aparecer durante la ejecución de una tarea. Para ello estudia los resultados de cada par de imágenes para determinar si existe calentamiento cercano a la costa gallega y le asigna un vector de dirección y magnitud discretizada: La dirección puede ser N, S, E, O o intermedias NO, SE, NE y SO, mientras que la magnitud viene dada por un lado por la distancia a la que se encuentra el calentamiento respecto a la costa gallega y por otro la intensidad de ese calentamiento como enfriamiento fuerte, enfriamiento, nulo, calentamiento y calentamiento fuerte.

3.- RESULTADOS

En la figura 3 se observa el resultado del estudio realizado por el sistema sobre una estación de muestreo en la ría de Vigo. En esta gráfica se observan en la parte superior los meses en los que se realiza el estudio divididos en intervalos semanales comprendidos entre muestreos. En el primer eje horizontal se representa el aumento (rectángulo en la parte superior del eje) o disminución (rectángulo inferior) de número de células tóxicas en cada semana de estudio siendo el tamaño del rectángulo proporcional a la magnitud de la variación. Las siguientes

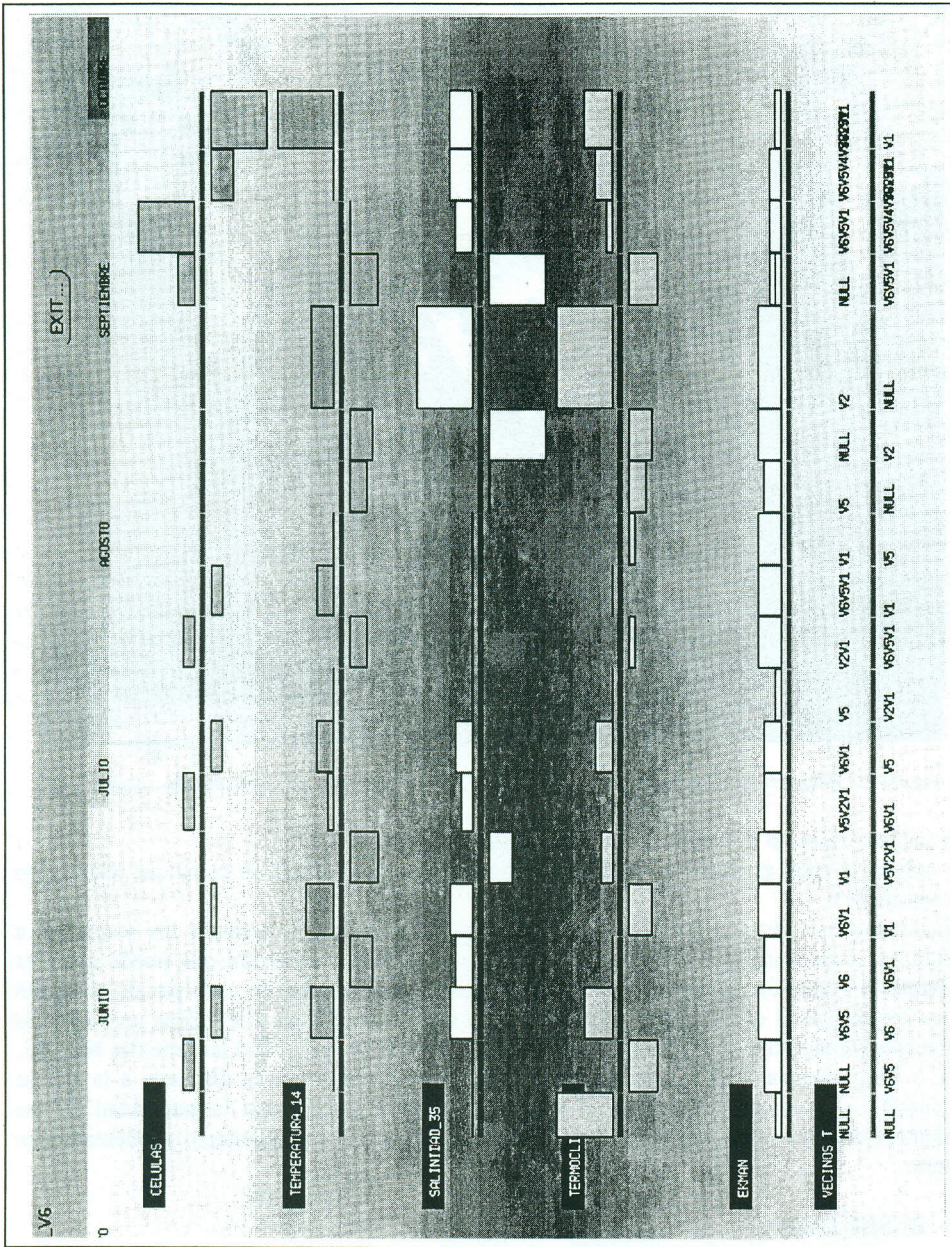


Figura 3.- Representación de los resultados del estudio de una boya por SIMARO en 1993 (C.11)

tres representaciones nos muestran el hundimiento o acercamiento a la superficie de los niveles de isoterma de 14 °C, salinidad de 35 por mil y profundidad de termocline detectada. La siguiente representación es un estudio de índice de afloramiento promediado cada intervalo de estudio y por último se observan las estaciones que contienen toxicidad

antes (parte superior del eje) y después de cada intervalo. Podemos observar que existe una clara correlación entre disminución de índice de afloramiento (lo que implica relajación de vientos Norte que favorecen el afloramiento) y el hundimiento de los niveles de los parámetros en la columna de agua lo que favorece al desarrollo de especies móviles como se aprecia en la primera de las representaciones.

Un aumento en el índice de afloramiento produce el efecto contrario, con acercamiento de termoclinas y haloclinas a la superficie, lo que origina una recirculación positiva que va a producir una dispersión de los eventos tóxicos existentes.

En la figura 2 se observan dos imágenes térmicas de la zona en estudio correspondientes a los días 17 y 20 de septiembre. A la derecha se muestra el resultado de el algoritmo que se ha aplicado a las imágenes anteriores. Podemos ver como hay un calentamiento general en la zona, siendo mayor por el sur de la costa gallega (norte de Portugal). En estas fechas (ver figura 3) se detectó un "bloom" tóxico que empezó por la ría de Vigo (situada más al sur) y continuó por toda la costa hasta la ría de muros (situada más al norte). Los gradientes de calentamiento de hasta 0.9 grados en tres días.

4.- CONCLUSIONES

El sistema de conocimiento desarrollado se mostró eficaz para el estudio y seguimiento de episodios tóxicos de carácter fitoplanctónicos en las Rías Bajas gallegas, al realizar un estudio detallado de los datos medioambientales de cada una de las estaciones resolviendo estructuras físicas favorables al desarrollo y proliferación de las mareas rojas. La utilización de imágenes térmicas de la zona nos permite comprender la circulación oceánica y con ello la dinámica de poblaciones fitoplanctónicas en aras de una posible predicción de este tipo de episodios tóxicos.

5.- BIBLIOGRAFIA

- Bakun, A. "Coastal Upwelling Indices. West Coast North America 1946-1971". U.S. Dept Commer, NOAA tech Rep. NMFS SSPF-671. 103p.
- Fraga, F y Richards, F.A. 1981. "Coastal Upwelling". American Geophysical Union, Washington . pp 176-182.