

## Presente y Futuro de los Sistemas de Oleaje

# Puertos del Estado preparará una Red de Sistemas Locales de Predicción de Oleaje

*Artículo preparado por Juan Carlos Carretero Albiac y Marta Gómez Lahoz del Área de Medio Físico de la Dirección de Infraestructuras y Servicios Portuarios de Puertos del Estado*

**E**L Departamento de Modelos de Predicción y Retroanálisis de Puertos del Estado trabaja en el desarrollo y en la aplicación de modelos numéricos de generación de oleaje. Este tipo de modelos, cuyo forzamiento consiste en campos de viento, es utilizado por una parte para conocer el clima marítimo mediante retroanálisis del oleaje de épocas pasadas y por otra parte para la predicción del oleaje futuro. El objetivo de este artículo es informar sobre las actividades del Área en el campo de la predicción del oleaje y sobre los objetivos de Puertos del Estado en este ámbito.

En dos artículos anteriores ya publicados en este boletín (febrero de 1996 y marzo de 2000) se describía con detalle el sistema de predicción de oleaje desarrollado por Puertos del Estado y se mencionaba el convenio en preparación entre el ente público y el Instituto Nacional de Meteorología (INM) para la potenciación de la meteorología marítima. Así mismo se describía la línea de trabajo iniciada por el Área de Medio Físico en relación con la predicción del oleaje a escala portuaria.

En virtud de dicho convenio, firmado en junio de 2001, el sistema de predicción de oleaje de Puertos del Estado ya ha sido transferido al INM. Este organismo se responsabiliza desde entonces de su mantenimiento operativo, siendo conjunta la responsabilidad para el desarrollo ulterior del mismo. Por otra parte la responsabilidad de suministrar la predicción de oleaje a las Autoridades Portuarias sigue recayendo sobre el Área de Medio Físico de Puertos del Estado y para mejorar este servicio se está trabajando en el desarrollo de un sistema de predicción local de oleaje,

denominado proyecto SAPO (Sistema Autónomo de Predicción de Oleaje).

De esta forma, el INM se responsabilizará de la gestión del sistema de predicción de oleaje oceánica, que es de interés para toda la sociedad en general, y Puertos del Estado concentrará sus esfuerzos en la mejora de este sistema, liberándose de la carga que representa su gestión diaria, y en el desarrollo de aplicaciones de oleaje portuaria que funcionarán de una forma anidada a las aplicaciones de oleaje oceánica.

### **EL CONVENIO ENTRE EL INM Y PUERTOS DEL ESTADO PARA LA POTENCIACIÓN DEL SERVICIO PÚBLICO DE INFORMACIÓN METEOROLÓGICA MARINA**

Este convenio tiene como objeto establecer un marco de colaboración entre el INM y Puertos del Estado para coordinar los recursos y la capacidad tecnológica de que disponen cada uno de estos organismos al objeto de ofrecer una información marítimo-meteorológica más completa.

En virtud de este convenio, el INM se compromete a llevar a cabo la explotación operativa del sistema de información meteorológica marina, con inclusión del sistema de predicción numérica de oleaje desarrollado por Puertos del Estado y suministrar a este información de acuerdo con sus necesidades. Por otra parte, Puertos del Estado se compromete a poner a disposición del INM dicho sistema junto con toda la documentación necesaria. Así mismo, Puertos del Estado se compromete a suministrar al INM, tanto en tiempo real como diferido, los parámetros oceanográfico-meteorológicos registrados por los equipos pertenecientes a las redes de medida de Puertos del Estado.

Todos los costes de explotación del sistema correrán a cargo del INM que a su vez, será el receptor de los

ingresos generados por el sistema, de acuerdo con su política de precios. El servicio será gratuito para Puertos del Estado y las Autoridades Portuarias.

El trabajo de instalación del sistema, ya terminado, ha sido llevado a cabo por un Equipo Técnico de Trabajo compuesto por personal de ambas instituciones según lo establecido en el convenio. Una Comisión de Seguimiento, integrada por personal de ambas instituciones, ha supervisado dicho trabajo y será responsable en el futuro de supervisar y evaluar el desarrollo del convenio. Dicha Comisión será también responsable de definir programas anuales de investigación que serán llevados a cabo por el Equipo Técnico de trabajo ya establecido durante la fase de instalación, y elaborar informes anuales sobre el cumplimiento de los objetivos marcados.

La Comisión de Seguimiento ha celebrado hasta la fecha dos reuniones, habiendo definido los objetivos para la mejora del sistema de predicción.

### EL PROYECTO SAPO

Dentro de los objetivos generales del sistema de predicción de Puertos del Estado, se encuentra el objetivo particular de Puertos del Estado de proporcionar a las Autoridades Portuarias una predicción local del oleaje considerando las transformaciones inducidas por el efecto de la línea de costa y por la plataforma continental.

Dado que la plataforma continental española tiene muy pocos kilómetros de anchura con profundidades menores de 100 metros, (ver figura 1), para poder modelizar el oleaje entre el talud y profundidades de 10 a 15 metros, fuera de la zona de rompientes, se necesitan pasos de malla del orden de centenares de metros. Aún habiendo refinado la malla de las aplicaciones oceánicas para poder resolver la costa, el paso de malla obtenido no es suficiente como para poder reproducir adecuadamente la refracción y el ensombrecimiento provocado por el fondo marino y por los cabos. Por ejemplo, con un paso de malla de 2,5 minutos, (el correspondiente a la aplicación operativa para la costa cantábrica), solo un punto o dos de malla están situados a profundidades menores de 100 metros.

Por lo tanto, se considera necesario el uso de un modelo espectral local anidado a las aplicaciones oceánicas, cubriendo un área de unos 25 kilómetros. Para estas aplicaciones es conveniente utilizar un modelo de generación en lugar de uno de propagación, porque no se puede despreciar el efecto del viento en esta escala y porque su cobertura es demasiado grande como para imponer condiciones de contorno constantes en el borde de la malla.

Adicionalmente se necesitan modelos locales de propagación anidados a la aplicación anterior, para tener en cuenta fenómenos locales tales como la difracción, reflexión, rotura, etc. Estos modelos necesitan resoluciones del orden de las decenas de metros, cubriendo áreas del orden de los 5 x 5 km.

### Batimetría de la Costa Cantábrica. Profundidad hasta 450 m.

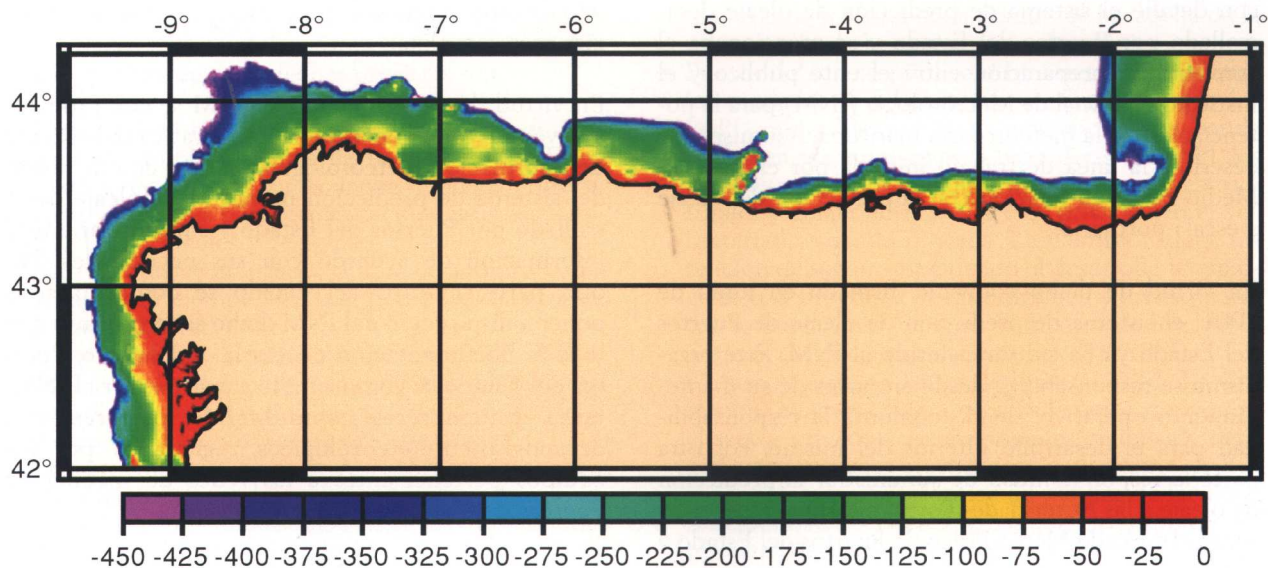


Figura 1.

En una primera aproximación al problema se plantean dos opciones para poder emitir una predicción de estas características:

1. Esquema centralizado: las aplicaciones oceánicas y las locales serían procesadas por INM/Puertos del Estado
2. Esquema descentralizado: las aplicaciones oceánicas serían procesadas por INM/Puertos del Estado y las aplicaciones locales serían procesadas directamente por el usuario.

La segunda opción ha sido la que se ha estimado más apropiada y la seleccionada para este proyecto. La principal razón es que con esta opción el tiempo de computación es asumido por el usuario, por lo que no existiría un límite al número de aplicaciones que se pudieran desarrollar al cabo del tiempo. Adicionalmente, el hecho de descentralizar estas aplicaciones implica eliminar la necesidad de procesarlas todos los días, incluso cuando el usuario no lo desee. Por otra parte el archivo de datos para cada usuario sería gestionado por él mismo. También se considera que la implicación del

usuario en la emisión de la predicción, redundaría en un mejor conocimiento de sus necesidades y en una mayor aportación de sugerencias por su parte.

Cada sistema local consiste en una aplicación de un modelo espectral cubriendo un área reducida, recibiendo condiciones de contorno del sistema INM/Puertos del Estado, y adicionalmente de una o varias aplicaciones de modelos de propagación anidados a esta aplicación local. El sistema incluye programas de postproceso para generar mapas, series temporales, etc. y es capaz de acceder, como complemento, a través de Internet a las predicciones globales de INM/Puertos del Estado, a datos de boyas oceanográficas, etc. (ver figura 2).

El sistema irá montado en un PC dotado de Linux, recibirá las condiciones de contorno por correo electrónico y dispondrá de los siguientes módulos:

- *Ejecución de modelos.* Módulo gobernado por medio de procedimientos en C-Shell que arrancarán los modelos al recibir un correo electrónico con las condiciones de contorno. Incluirá procedimientos para el control de comunicaciones, para el prepro-

### Esquema de un nodo local de predicción de oleaje anidado al sistema INM/PE.

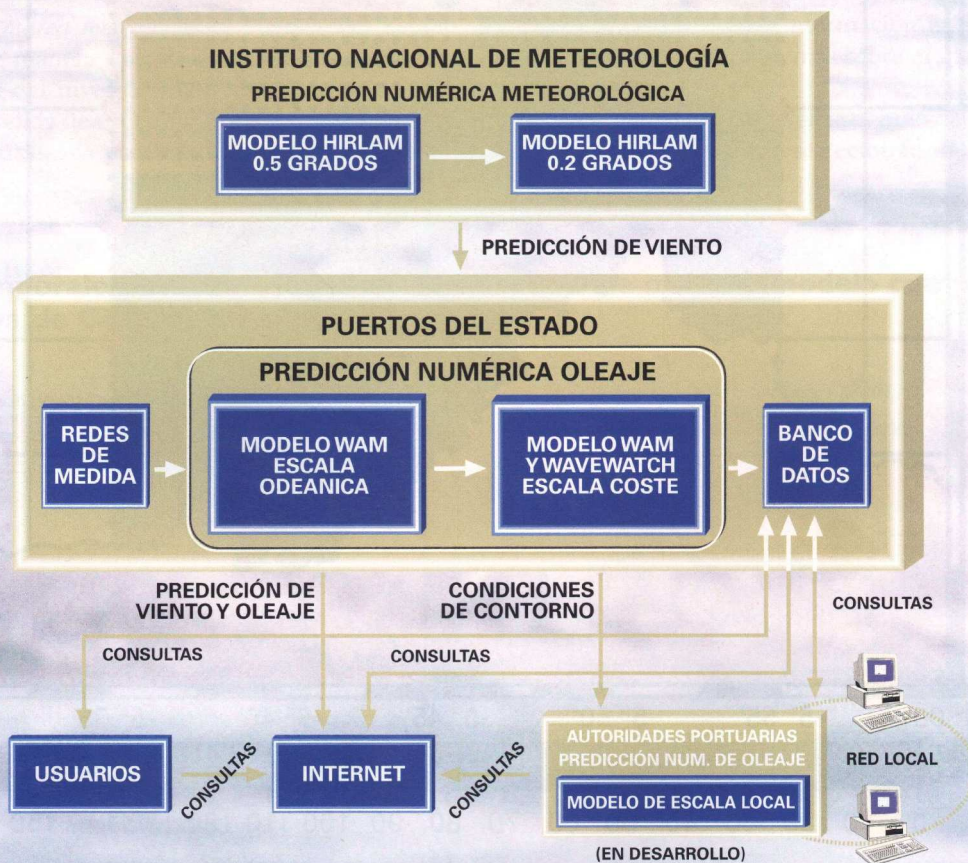


Figura 2.

ceso de datos, postproceso, etc. Este módulo, a otra escala, será similar al oPuertos del Estado en INM/Puertos del Estado para la escala oceánica.

- *Base de datos.* Módulo que contendrá las salidas de los modelos y otros datos de interés tales como mediciones de boyas, etc.
- *Presentación de resultados.* Programa para mostrar en pantalla resultados de los modelos en forma de mapas de isolíneas, series temporales, comparaciones con boyas, etc. Será manejado por el usuario a traves de iconos.

Este sistema será mantenido al día en su parte técnica y científica por Puertos del Estado, que mantendrá para su desarrollo una réplica operativa en sus oficinas. Periódicamente, las mejoras disponibles serán instaladas en los sistemas ya distribuidos a los usuarios. El mantenimiento operativo será responsabilidad del usuario, siendo este muy sencillo ya que el sistema está pensado para funcionar automáticamente sólo con tener el PC encendido.

Se ha desarrollado un prototipo de este sistema para el área de Gijón. El modelo espectral utilizado para esta aplicación es el modelo SWAN, desarrollado por la universidad de Delft, Holanda.

En una primera versión de este prototipo se ha desarrollado un aplicación muy simple, que está siendo refinada poco a poco, a medida que se comprueba la sensibilidad del modelo a los distintos factores que se pueden modificar en la aplicación. De esta manera, en esta primera versión el paso de malla utilizado es de 0,5 minutos, que suponen 925,9 metros en latitud y 668,9 metros en longitud, el paso de tiempo de integración es de 15 minutos, la resolución espectral es de 25 frecuencias y 24 direcciones, recibiendo condiciones de contorno de la aplicación operativa de Puertos del Estado/INM del Cantábrico, y campos de viento de la aplicación del modelo HIRLAM de 0.2 de resolución. En la figura 3 se puede ver el área cubierta por el modelo así como los puntos de malla, puntos negros, los puntos en los que se reciben condiciones de contorno, rombos rojos, y los puntos en los que existen datos de viento, círculos verdes. En esta figura están así mismo

### Aplicación del SAPO en el área de Gijón con la batimetría de la zona.

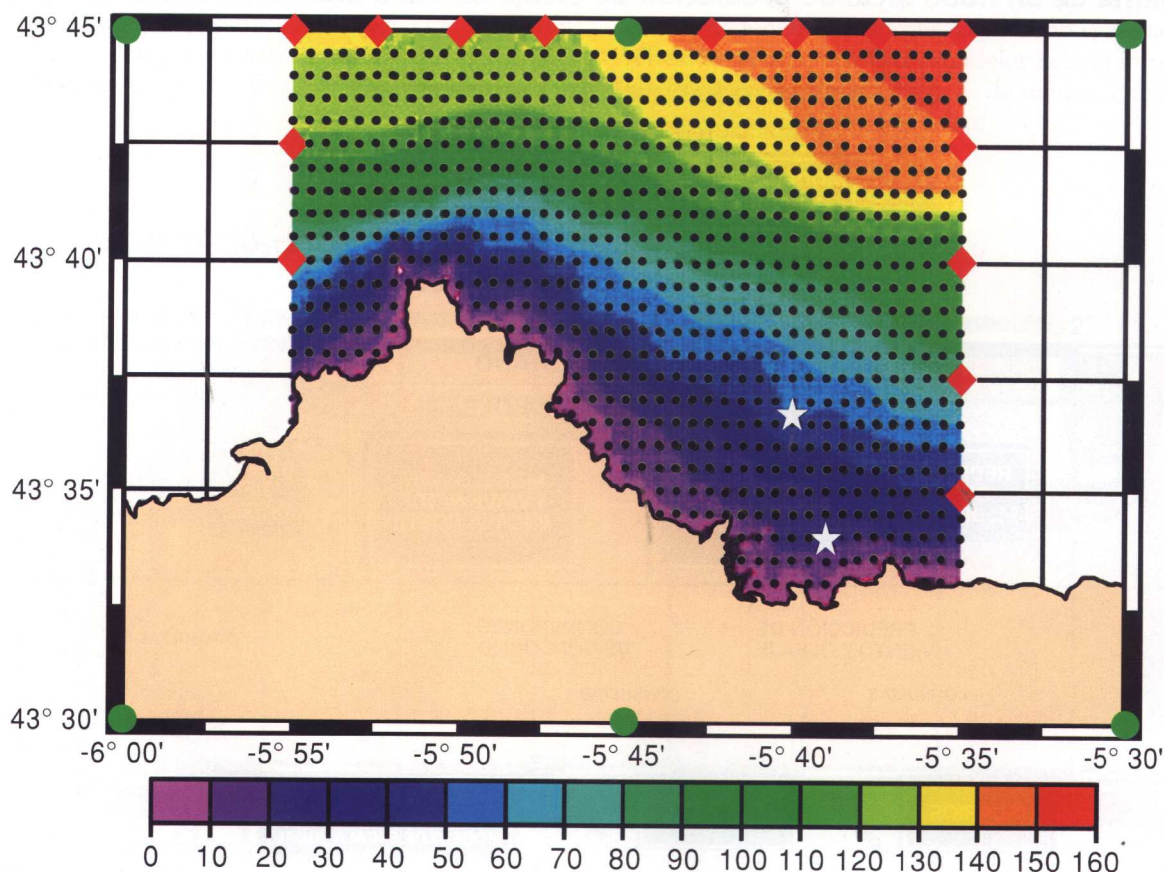


Figura 3.

representadas las dos boyas de la red costera de Puertos del Estado, existentes en la zona y con las que se realiza la verificación de esta aplicación.

En la figura 4 se muestran resultados de esta primera versión de la aplicación de Gijón comparando la salida del modelo SWAN con los datos de la boya más cercana al puerto, de la red costera de Puertos del Estado, cuya posición se muestran en la figura 3. La comparación se ha hecho para la altura significativa de oleaje y el período de pico, corriendo la aplicación para un caso seleccionado en el que los resultados de la aplicación del Cantábrico fueran óptimos, ya que lo que se pretendía era comprobar que la aplicación funcionaba correctamente.

Como ya se ha comentado se ha comenzado por una versión muy simple en la que actualmente se está trabajando para ir la mejorando. Los siguientes pasos que se van a dar son:

- *Introducir marea astronómica:* A esta escala el efecto sobre el oleaje de los cambios en la batimetría debidos a la marea son importantes y el modelo SWAN está preparado para recibir como entrada la batimetría con dichas variaciones. Se está trabajando en la modificación de la batimetría con los armónicos de la marea en la zona.
- *Introducir marea meteorológica:* Puertos del Estado procesa de manera operativa, dos veces al día, una predicción del nivel del mar con el modelo NIV-MAR. La salida de esta predicción del nivel del mar podrá ser utilizada para modificar la batimetría de

las aplicaciones del SAPO teniendo en cuenta los residuos meteorológicos.

- *Aumentar la resolución de los campos de viento hasta 0.1 grados:* Un aplicación de esta escala necesita ser alimentada con campos de viento de mucha más resolución que los actualmente disponibles. La utilización de estos campos de viento mejorará notablemente las aplicaciones del SAPO.
- *Aumentar la resolución espacial y disminuir el paso de tiempo de integración:* Las resoluciones de esta primera versión de la aplicación de Gijón son claramente muy toscas. En este sentido es muy importante tener en cuenta que para realizar un predicción de oleaje no se puede consumir mucho tiempo de CPU, y aumentar el número de puntos de malla o disminuir el paso de tiempo repercute directamente en el consumo de tiempo de computación, por lo que hay que realizar un estudio detallado en el que se contraste los beneficios de aumentar las resoluciones espaciales y temporales frente al perjuicio de aumentar el tiempo de proceso, tratando de optimizar ambas cosas.

Para hacer frente a este último punto, y como alternativa a la malla mostrada en la figura 3, se ha desarrollado un malla girada 35 grados respecto a la dirección este-oeste, con la que se pretende disminuir el área de la aplicación sin perder información en la zona en la que la batimetría influye más sobre el oleaje.

En la figura 5 se puede ver esta nueva malla, con los puntos de contorno que se recibirán de la aplicación

## Series temporales de altura significativa y período de pico del modelo comparado con la boya de Gijón I

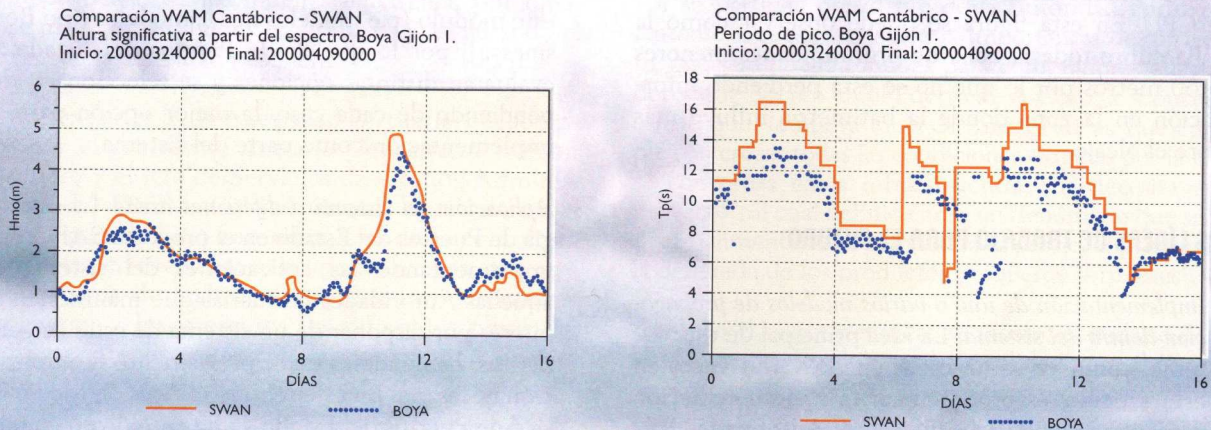


Figura 4.

### Aplicación del SAPO en el área de Gijón con la malla girada 30° y la batimetría de la zona

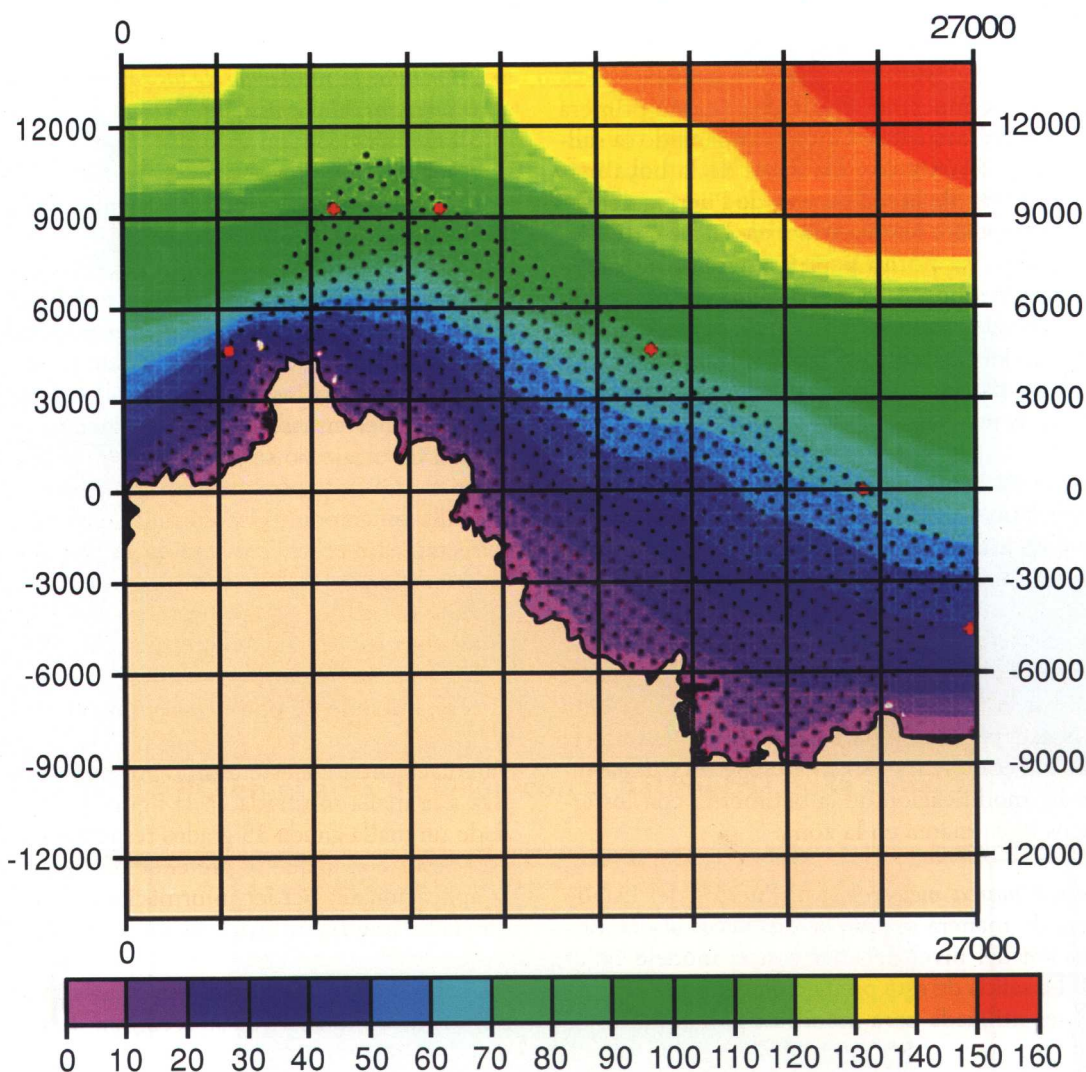


Figura 5.

del Cantábrico. Al reducir el tamaño de la malla se puede aumentar la resolución espacial y disminuir el paso de tiempo de integración sin penalizar el tiempo de CPU. En esta figura se puede observar como la malla cubre toda la zona de profundidades menores de 60 metros por lo que no se está perdiendo información en la zona donde la batimetría influye más sobre el oleaje.

#### LAS LÍNEAS DE TRABAJO PARA EL FUTURO

- *Implementación de uno o varios modelos de propagación dentro del sistema:* La idea principal de este sistema, como ya se ha mencionado varias veces en este artículo, es proporcionar la mejor predicción de oleaje posible a las diferentes Autoridades Portuarias. Para alcanzar este fin se hace necesaria la utilización de modelos de propagación de oleaje,

acoplados al modelo espectral, para tener en cuenta fenómenos locales tales como la difracción, reflexión, rotura, etc.. Existen distintas opciones para este módulo (p.e modelos m.s.e, modelos tipo Boussinesq), por lo que desde Puertos del Estado se evaluarán distintas opciones y se seleccionará, dependiendo de cada caso, la mejor opción para su implementación como parte del sistema.

- *Aplicación del sistema a diferentes áreas:* La estrategia de Puertos del Estado en el proyecto SAPO es ir implementando las aplicaciones del sistema en aquellas Autoridades Portuarias que manifiesten su interés por disponer de un sistema de estas características, habiéndoles dado previamente la información necesaria. En este sentido el Área de Medio Físico de Puertos del Estado ya ha entrado en contacto con alguna de ellas y está empezando a trabajar en el desarrollo de convenios para su instalación. ♦