

# El Radar de Alta Frecuencia: una herramienta poderosa para el conocimiento del mar

Artículo elaborado por Enrique Alvarez Fanjul, Jefe del Área del Conocimiento de Medio Físico de Puertos del Estado



*Lo que sabemos es una gota de agua; lo que ignoramos es el océano*

Isaac Newton

La Tercera Ley de Arthur C. Clark postula que “*toda tecnología lo suficientemente avanzada es indistinguible de la magia*”. Cuando el conocido escritor y visionario postuló sus leyes en 1962, el Radar de Alta Frecuencia, una tecnología capaz de crear mapas de corrientes superficiales y oleaje por medio de estaciones ubicadas en tierra, todavía no era una realidad. Sin embargo, hoy en día, constituye un ejemplo representativo de lo acertado del planteamiento del novelista.

## El origen de la dificultad

Desde la antigüedad, el conocimiento de las corrientes y el oleaje ha tenido gran trascendencia en la actividad humana, condicionando el transporte marítimo y el desarrollo de los puertos. Sin embargo, solo recientemente hemos empezado a desarrollar las capacidades técnicas necesarias para estudiar y predecir de forma más o menos satisfactoria estos fenómenos.

El estudio científico de las corrientes marinas es similar al de la circulación atmosférica, con el que estamos familiarizados gracias a las predicciones del tiempo que tan útiles son en nuestro quehacer diario. Éste paralelismo se debe a que tanto la atmósfera como el océano están constituidos por fluidos (el aire y el agua respectivamente) y, por lo tanto, se rigen por las mismas ecuaciones. El método actual de abordar este problema es combinar, de la mejor forma posible, la toma de medidas en el medio a estudiar y el empleo de modelos numéricos, programas informáticos que resuelven las citadas ecuaciones para generar mapas tridimensionales aproximados de la situación actual y futura.

Sin embargo, el conocimiento de la atmósfera y la precisión de sus predicciones son, a día de hoy, muy superiores a sus equivalentes oceánicos. Esto se debe a tres grandes dificultades presentes en el estudio de la dinámica marina:

- En primer lugar, el número de datos marinos registrados es ridículamente pequeño. Por poner un ejemplo; ¡en todo el Mediterráneo el número de correntímetros funcionando de forma operativa es inferior a la quinceañal... y deben monitorizar una zona con una superficie de unos 3.5 millones de kilómetros cuadrados y 1.5 km de profundidad media. No es necesario establecer una reflexión sesuda para darse cuenta que la densidad de medidas *in-situ* es extraordinariamente baja. Todo ello en una zona donde la calidad del agua es fundamental para mantener la actividad turística, motor obvio del desarrollo en la cuenca. La ausencia de medidas tiene un claro origen: medir en el mar es complejo y, sobre todo, caro. El contraste con la atmósfera es obvio, donde cualquiera puede comprar una estación meteorológica casera e instalarla en su domicilio sin dificultad alguna.
- El tamaño de las estructuras físicas de la dinámica marina es muy pequeño. En la atmósfera, los anticiclones y las borrascas tienen escalas típicas de centenares o miles de km. Sin embargo, el tamaño de sus equivalentes oceánicos se mide en decenas de km. Esto significa que, para muestrearlos correctamente, la densidad de medidas debería de ser muy superior a la que tenemos en la atmósfera... y como hemos visto, ¡ocurre justamente lo contrario!
- Por último, el océano es un sistema físico “*con memoria*”. Una de las principales fuerzas impulsoras de las corrientes marinas son las diferencias de densidad producidas por los distintos valores espaciales de temperatura y salinidad. Por las características de la dinámica marina, las variaciones de estos parámetros son lentas, por lo que cualquier error en ellos introducido en un modelo numérico se perpetuará en el tiempo. La causa de que datos erróneos puedan llegar a los modelos numéricos es la baja densidad de medidas, explicable por los dos puntos anteriores.

Todo ello dibuja un panorama en el que existe una necesidad imperiosa de obtención de un mayor número de datos físicos del medio marino a fin de poder alimentar los modelos numéricos y obtener el conocimiento necesario para gestionar los mares basándonos en su conocimiento. El radar HF es, sin duda, parte de la respuesta. Esta tecnología forma parte de un nuevo conjunto de técnicas, como los datos de satélite o los planeadores submarinos (*gliders*), que prometen revolucionar nuestro conocimiento de los mares en el siglo XXI.

Con respecto al oleaje, la situación no es tan negativa. Ya desde mediados de la década anterior los modelos numéricos ofrecen una descripción razonablemente precisa y las redes de medida desplegadas por Puertos del Estado ofrecen datos en tiempo real con una cobertura de la costa suficiente. Sin embargo, los frecuentes problemas que estas sufren (vandalismo, colisiones, arrastres por redes de pesca, etc) hacen más que recomendable la medida desde tierra del oleaje como complemento de los datos registrados en el mar. En este sentido, los radares HF son una potente herramienta.

## La “magia” del Radar de Alta Frecuencia

Al igual que el radar convencional, el empleado para el control del tráfico aéreo, el de Alta Frecuencia se basa en la emisión de ondas electromagnéticas y el estudio de su eco tras impactar en el blanco a analizar, en este caso la superficie del mar. La diferencia fundamental está en la frecuencia de dichas ondas. En cada caso, se emplea la adecuada para que la señal sea capaz de rebotar eficazmente en el blanco y poder obtener un retorno claro. En el océano, dicho retorno óptimo se sitúa en rango denominado “Alta Frecuencia”. Al trabajar en esta banda, las ondas electromagnéticas rebotan eficazmente en las olas, generando la necesaria señal.

Una vez recibido el eco de la señal de Alta Frecuencia desde la superficie del mar, es cuando la *magia* comienza. Por medio del cambio en la frecuencia existente entre la señal emitida y la reflejada se puede conocer la velocidad de la superficie del mar. Esto es resultado del denominado *efecto Doppler*, que consiste en el aparente cambio de frecuencia de una onda producido por el movimiento de la fuente respecto a su observador y es la causa de que el sonido de la sirena de una ambulancia sea más agudo cuando se nos aproxima (mayor frecuencia de las ondas) que cuando se aleja (frecuencia más baja).

Una vez conocido el movimiento del agua, se debe sus- traer la velocidad asociada al oleaje, que se puede derivar de la teoría de ondas. De esta forma se calcula la velocidad con la que el agua se aleja o se acerca de la estación de radar, que se denomina componente radial de la velocidad.

Si tenemos más de un radar emitiendo y recibiendo, cada uno puede calcular su correspondiente mapa de velocidad

des radiales y, componiéndolas mediante trigonometría simple, es inmediato reconstruir un mapa de corrientes. En realidad, el proceso es más complejo, pues es necesario identificar a que zona del mar corresponde cada reflejo, pero la esencia del mecanismo es la aquí descrita.

Una de las ventajas del radar AF es su alcance, que puede llegar a doscientos kilómetros, dependiendo de la longitud de onda empleada. La señal no penetra la superficie del mar. El dato obtenido es representativo de una profundidad de aproximadamente un metro. Las emisiones son de baja potencia y no entrañan peligro medioambiental alguno.

## Aplicaciones del Radar AF

El conocimiento de las corrientes y el oleaje derivado de esta tecnología tiene múltiples aplicaciones, entre las que cabe destacar:

- Conocimiento estadístico del medio marino (oleaje y corrientes) con vistas a la Ingeniería Marítima y a la Gestión Integral de Zonas Costeras.
- Gestión de crisis derivadas de eventos asociados a contaminación marítima accidental (p. ej. derrames de hidrocarburos).
- Detección de infractores en casos de contaminación marítima intencionada (p. ej. sentinazos).
- # Estudios de biología y pesquerías (p. ej. transporte de larvas).
- Ayudas a la navegación (p. ej. condiciones en las bocanas de los puertos).
- Gestión de riesgos (p. ej. obtención de datos de oleaje en momentos en las que existan dificultades en mantener boyas operativas).

## El radar de Alta frecuencia en España

Puertos del Estado ha desarrollado a lo largo de los últimos años una serie de redes de medida de boyas y mareógrafos para abastecerse de los datos imprescindibles para el diseño y la operatividad portuaria. Como consecuencia de este trabajo de dos décadas, mantiene un papel destacado en los programas nacionales e internacionales en materia de Oceanografía Operacional. En este contexto, y a fin de diseñar estrategias que permi-

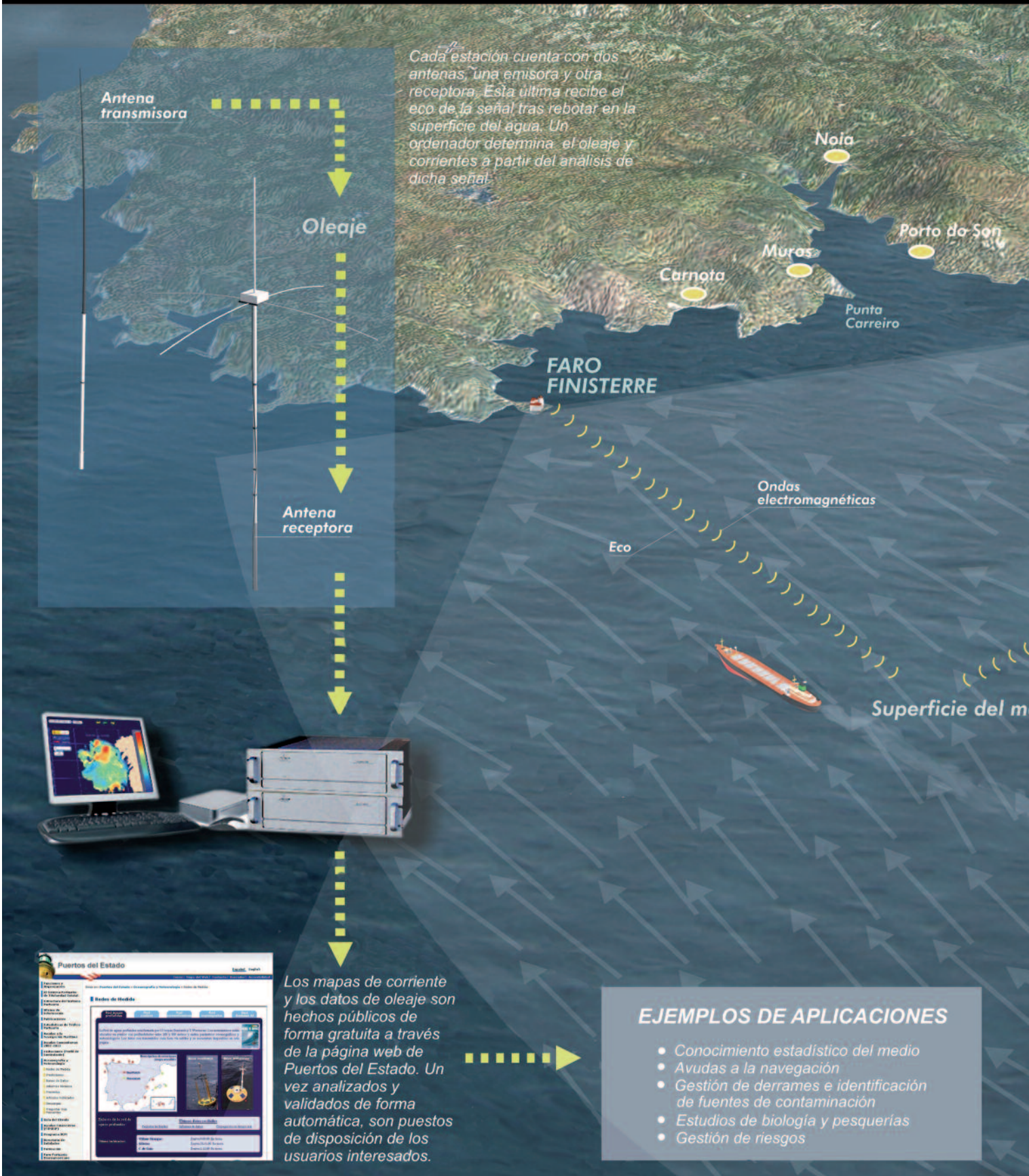




# EL RADAR DE ALTA FRECUENCIA

- El Radar de Alta frecuencia es una tecnología capaz de medir oleaje y crear mapas superficiales de corriente a partir de estaciones de estos sistemas (el de Galicia que aparece en la figura es propiedad de la Dirección General de la Marina Mercante)
- Una de las ventajas del Radar AF es su alcance, que puede llegar a doscientos kilómetros, dependiendo de la longitud de onda. El obtenido es representativo de una profundidad de aproximadamente un metro.
- Las emisiones son de baja potencia y no entrañan peligro medioambiental alguno.

Cada estación cuenta con dos antenas, una emisora y otra receptora. Esta última recibe el eco de la señal tras rebotar en la superficie del agua. Un ordenador determina el oleaje y corrientes a partir del análisis de dicha señal.

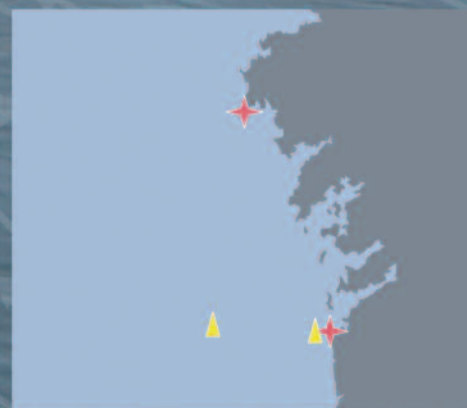
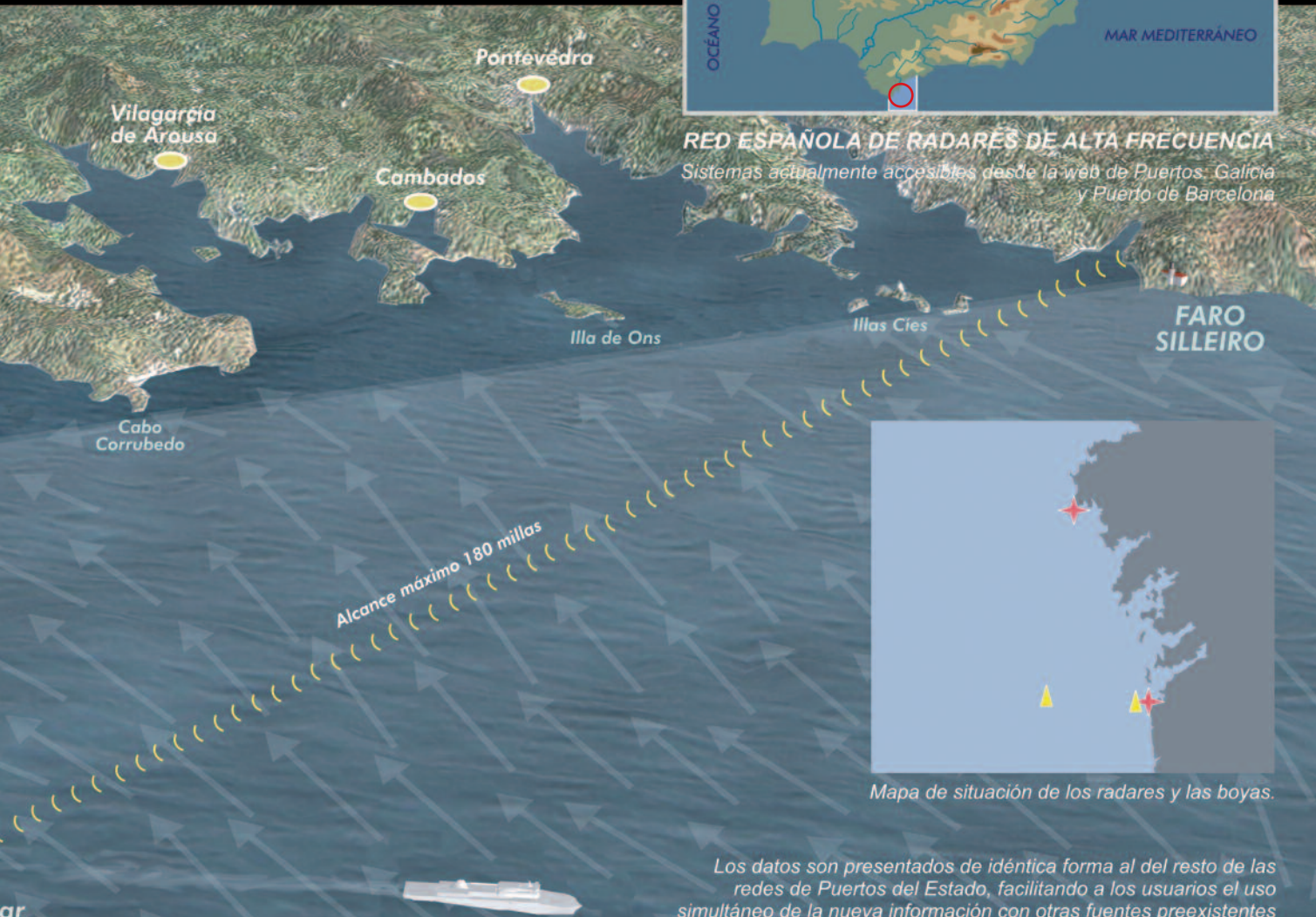




iones ubicadas en tierra. Los faros son ubicaciones idóneas para  
 nda empleada. La señal no penetra la superficie del mar. El dato



**RED ESPAÑOLA DE RADARES DE ALTA FRECUENCIA**  
 Sistemas actualmente accesibles desde la web de Puertos: Galicia y Puerto de Barcelona

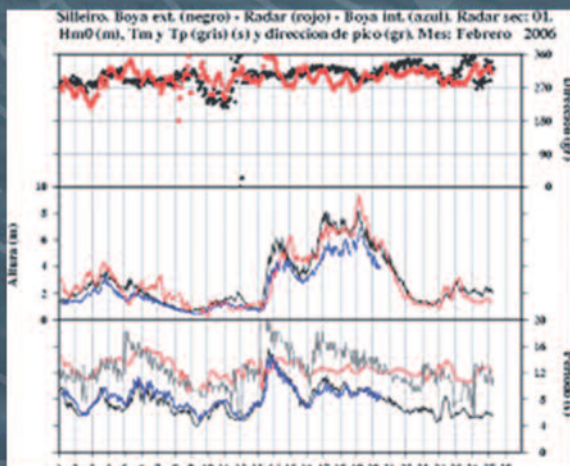


Mapa de situación de los radares y las boyas.

Los datos son presentados de idéntica forma al del resto de las redes de Puertos del Estado, facilitando a los usuarios el uso simultáneo de la nueva información con otras fuentes preexistentes (boyas, mareógrafos y predicciones). Se ofrecen mapas superficiales y series temporales en puntos preseleccionados.

**OLEAJE**

Radar AF de Galicia

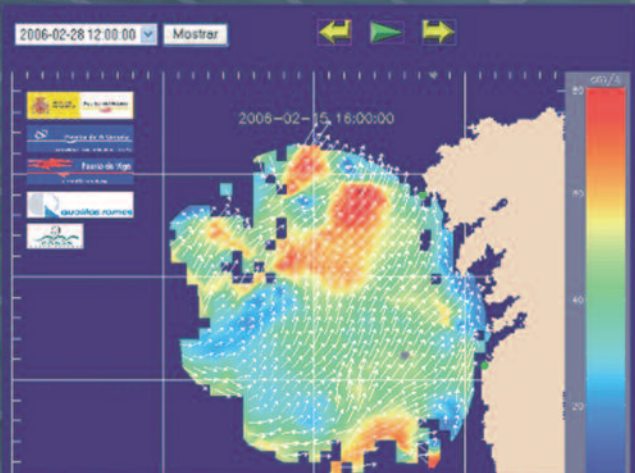


SERIES TEMPORALES

GRÁFICOS DE DATOS

**CORRIENTES**

Radar AF de Galicia



MAPA



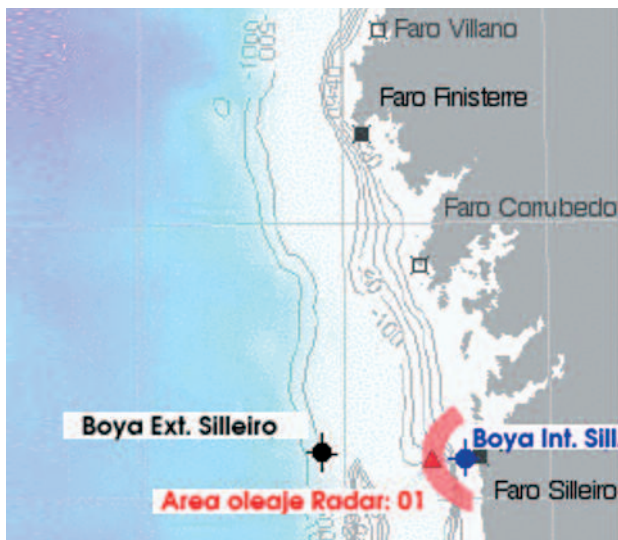


Figura 1. Situación de los radares y de las boyas empleadas en la experiencia de Galicia

tan optimizar sus redes, Puertos del Estado consideró que la nueva tecnología de Radar HF puede ser un complemento sumamente interesante a la instrumentación ya existente, dado que se basa en estaciones ubicadas en tierra y es capaz de generar datos de gran relevancia que se complementan con los ya disponibles. Por esta razón, ha mantenido una actividad de investigación y desarrollo en este tema que se remonta a finales de la década pasada, con el proyecto Europeo EuroROSE. En el ámbito del mismo, se instaló un Radar AF de la marca WERA en las cercanías de Gijón. Junto con una estación similar que se ubicó en Noruega, constituyó el primer radar AF instalado en Europa.

Los resultados de la experiencia de Gijón fueron satisfactorios, pero los radares de la mencionada marca necesitaron unas antenas receptoras que ocupaban una superficie muy extensa. En la experiencia que nos ocupa, fue incluso necesario realizar un estudio de impacto ambiental para su instalación, aún siendo esta temporal. Este trabajo adicional es un gran obstáculo a la hora de plantear una red de cobertura nacional. Por lo tanto, desde entonces, el interés de Puertos del Estado se ha venido centrando en los radares del tipo CODAR OS, distribuidos en Europa por la empresa española Qualitas-Remos. La ventaja de estos equipos es que sus antenas son de reducidas dimensiones, pudiéndose instalar sin problema en faros, lo que simplifica enormemente el futuro despliegue de una red de cobertura ambiciosa. En consecuencia, Puertos del Estado planteó a la empresa española Qualitas-Remos, el desarrollo de una experiencia de demostración de la tecnología de Radar AF a fin de demostrar su utilidad y sentar las bases para el establecimiento de una futura red.

Desde un punto de vista administrativo, se desarrolló un convenio de colaboración entre Puertos del Estado, Qualitas-Remos y las Autoridades Portuarias de A

Coruña y Vigo a fin de instalar dos radares en los faros de Silleiro y Finisterre, y operarlos durante un periodo limitado de tiempo.

Los radares fueron puestos en marcha por Qualitas-Remos gracias a la colaboración total de las Autoridades Portuarias de Vigo y A Coruña, dando cobertura a una amplia zona del litoral Gallego. Los sistemas operaron durante un periodo de tres meses. Durante este tiempo, los datos en tiempo real fueron distribuidos en exclusiva a través de la página web de Puertos del Estado. Los radares fueron plenamente integrados en el sistema de Puertos del Estado y sus datos fueron hechos públicos como los del resto de las redes operativas. Este sistema de distribución pública de la información maximiza el empleo de la información generada, repercutiendo positivamente y de forma directa en el prestigio del sistema portuario en su conjunto.

Los equipos funcionaron correctamente durante todo el periodo de la experiencia.

Los datos medidos fueron contrastados por dos métodos distintos:

- Mediante boyas ancladas. La experiencia fue cuidadosamente diseñada para que la boya de Aguas Profundas de Silleiro, dotada de sensores de medida de corrientes y oleaje direccional, se ubicara dentro de la cobertura del radar (ver figura 1). Los datos medidos por este instrumento han sido comparados con los del radar (ver figura 3-a). Los resultados muestran un grado de acuerdo satisfactorio entre ambos sistemas de medida en el punto donde se ubica la boya. Conviene recordar que, mientras la boya da una medida puntual de corrientes, el radar es capaz de generar un mapa en dos dimensiones. Adicionalmente, se emplearon los datos de la boya escalar de Silleiro, también ubicada en la zona de estudio, para un conocimiento más profundo de los datos de oleaje cuyos resultados también fueron muy positivos.
- Mediante una boya de deriva. Se liberó una boya de deriva dentro de la zona de cobertura del radar HF y se evaluó el impacto de los datos medidos en la capacidad de predicción de la trayectoria de dicho objeto. Como media, el área de búsqueda se reduce a la mitad al emplear los datos generados con la nueva tecnología. La figura 2-b muestra las diferencias en las trayectorias calculadas empleando los nuevos datos y sin emplearlos, así como la trayectoria real seguida por la boya. El análisis mediante una boya de deriva fue desarrollado en el ámbito del ya finalizado proyecto ESEOO y ha sido realizado en su mayor parte por la Universidad de Cantabria e Imdea.

En resumen, la experiencia demostró la utilidad de la tecnología CODAR OS de Radar AF, y abrió el paso a su instalación en España. De hecho, desde el final de la experiencia se han desarrollado una serie de sistemas adicionales y se ha consolidado el de Galicia:

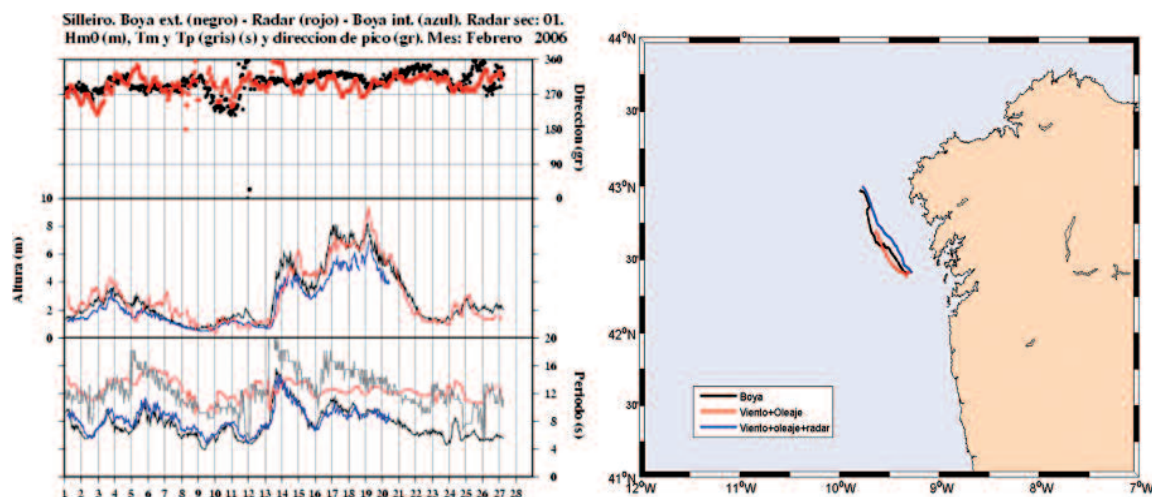


Figura 3. a) verificación del oleaje medido por el radar en con los medidos por las boyas; b) calculo de la trayectoria de una boya de deriva empleando y sin emplear los datos del radar.

- El sistema de radares de alta frecuencia desplegado para la experiencia de Galicia ha sido adquirido por la Dirección de la Dirección General de Marina Mercante, dependiente del Ministerio de Fomento. La instalación permanente de los equipos en los faros Finisterre (A Coruña) y Cabo Silleiro (Pontevedra) ha sido posible en virtud de un acuerdo suscrito entre las autoridades portuarias de A Coruña y Vigo, Marina Mercante y el Organismo Público Puertos del Estado. La explotación técnico-científica de los datos corresponde a Puertos del Estado y a las Consellerías do Mar y de Medio Ambiente, Territorio e Infraestructuras de la Xunta de Galicia. En breve, el sistema gallego se potenciará por medio de dos nuevas estaciones financiadas por la Xunta.
- Fruto de un convenio de colaboración promovido por Clabsa (Clavegueram de Barcelona) y en el que participaron multitud de instituciones, entre las que se encontraban la Autoridad Portuaria de Barcelona y Puertos del Estado, se instalaron temporalmente dos estaciones radar HF SeaSonde de Codar Ocean Sensors, para la monitorización remota de corrientes y oleaje en los Puertos de Barcelona y El Masnou. En breve, estas dos estaciones serán operativas de nuevo.
- El Gobierno Vasco ha instalado, con la colaboración del Puerto de Bilbao, un sistema de dos antenas en la citada comunidad autónoma.
- Diversas Infraestructuras Científico-Técnicas Singulares (ICTS) están desarrollando planes más o menos avanzados para la creación de redes en determinadas Áreas (Baleares, Asturias y Canarias)

## La red Española de Radares de Alta Frecuencia

Puertos del Estado, en colaboración con las citadas instituciones, va a crear en España una Red Nacional de Radares AF (RedAF) que será pionera en Europa. Un embrión de esta red ya está operativo y los datos se pue-

den consultar en la página web de Puertos del Estado: <http://www.puertos.es/externo/clima/Radares/radarHF.html>

Se pretende aprovechar el Día Marítimo Europeo para anunciar de forma oficial el lanzamiento de dicha iniciativa.

Los datos de esta red podrán ser empleados por las Autoridades Portuarias y el resto de la sociedad para las diversas aplicaciones antes descritas, siguiendo la tradicional abierta política de datos océano-meteorológicos característica de Puertos del Estado.

## Conociendo el medio

Los avances científicos que a diario vemos en los medios de comunicación a veces nos transmiten la impresión de que el conocimiento de nuestro medio es amplio, al menos en lo referido a las cuestiones básicas. Sin embargo, esto no siempre es así, y en el caso de los océanos, nuestra ignorancia es manifiesta. Ahora, a través de nuevas tecnologías e inversiones sostenidas, empezamos a averiguar mayores detalles de la dinámica marina, mostrándose esta a menudo muy diferente a lo que desde hace décadas habíamos intuido. Las tormentas del invierno pasado desarrollaron oleajes cuya altura no creíamos posible (o al menos probable) en nuestras costas. Recientemente se han registrado eventos de corrientes en las cercanías del Puerto de Barcelona cuya causa aún no tenemos clara... ¡y la lista sigue y sigue!

Quizás, lo que debemos hacer es instalar nuestros instrumentos con humildad y recordar, también para terminar, las palabras de Newton: *me comparo a un niño jugando a la orilla del mar, recogiendo aquí y allá una piedra más o menos lisa, o una concha de rara belleza, mientras el gran océano de la verdad permanece completamente invisible a mis ojos.*