

El nuevo sistema de predicción de oleaje de AEMET

<https://doi.org/10.31978/639-19-010-0.407>

Ernesto Barrera Rodríguez¹ (jbarrerar@aemet.es)
Isabel Martínez Marco² (imartinezm@aemet.es)

¹AEMET / Delegación Territorial en Canarias

²AEMET / Departamento de Desarrollo y Aplicaciones / Área de Aplicaciones

RESUMEN

Se describe la configuración del nuevo sistema de predicción del oleaje de AEMET, denominado AEWAM (*AEMET Wave Model*), que incorpora, entre otras novedades, un aumento de la resolución espacial (4 km) y espectral (36 direcciones y 30 frecuencias), la ampliación de la cobertura hasta el golfo de Guinea, atendiendo al requerimiento de la OMM, y el anidamiento espectral en el ECMWF que mejora el pronóstico de propagación de mar de fondo procedente de emplazamientos remotos.

Se discuten asimismo los resultados provisionales de una verificación realizada contra datos registrados por la red de boyas de Puertos del Estado, que muestran un buen acuerdo con los pronósticos hasta el alcance de las 72 horas.

PALABRAS CLAVE: oleaje; estado del mar; mar de viento; mar de fondo; modelización numérica; espectro de oleaje.

1. INTRODUCCIÓN

España ocupa el quinto lugar de la Unión Europea en longitud de costas (en torno a 8000 km) y la actividad económica en el medio marino puede alcanzar hasta un 7 % del PIB. Solo en este contexto la demanda de pronósticos del estado del mar más completos se ha incrementado notablemente en los últimos años. Aunque son muchas las analogías con la predicción atmosférica, los modelos de oleaje presentan características específicas que requieren un tratamiento diferenciado. En lo que sigue se describe someramente el sistema de pronóstico de oleaje que se desarrolla actualmente en AEMET así como algunos de los criterios seguidos para su diseño.

2. OLAJE GENERADO POR EL VIENTO

Existe un variado número de fenómenos que se manifiestan como perturbaciones ondulatorias en la superficie marina (mareas astronómicas, tsunamis, resonancias). El sistema de predicción objeto de este desarrollo se enfoca exclusivamente en lo que se conoce como *olas generadas por el viento*, caracterizadas por presentar longitudes (distancia entre crestas) que van desde unos pocos centímetros hasta algo más de 1000 m y periodos (tiempo transcurrido entre el paso de crestas) que rara vez superan los 25 segundos (HOLTHUIJSEN, 2007).

Estas olas se generan por la interacción de la atmósfera con la superficie del mar y en su propagación transportan energía y momento a lo largo de miles de kilómetros. Una vez que abandonan la zona en la que fueron generadas continúan su propagación siguiendo trayectorias sobre círculos máximos. En ese proceso sufren a) dispersión angular: parte de la energía se difunde hacia ambos flancos de la dirección de propagación, y b) dispersión espectral: en aguas profundas las olas con mayor longitud se desplazan a mayor velocidad. Al

aproximarse a aguas más someras (plataforma continental, franjas litorales) las olas comienzan a interactuar con el lecho marino experimentando cambios drásticos en su dinámica, que se manifiestan en un aumento de la altura (*asomeramiento*) y la dirección de propagación (refracción). Finalmente la inestabilidad hidrodinámica acaba provocando la ruptura de la ola durante la cual la energía se disipa de forma turbulenta.

Los mecanismos físicos que describen la creación, el crecimiento, la interacción y la destrucción de las olas son extremadamente complejos y su implementación detallada en los modelos numéricos operativos continúa siendo un problema abierto en nuestros días.

3. EL MODELO ECWAM

El modelo WAM (*Wave Model*) (THE WAMDI GROUP, 1988) se desarrolló originalmente bajo el requisito de un buen desempeño en la operativa global y puede pronosticar eficientemente la evolución espaciotemporal de la energía asociada con el oleaje de cada periodo y en cada dirección de propagación. Fue el primer modelo de *tercera generación*, denominación que engloba a aquellos que basan la predicción en la evolución del espectro bidimensional de densidad de varianza sin hacer asunciones sobre su forma y que además incorporan explícitamente el término que computa la interacción no lineal entre las olas.

A día de hoy existen varias versiones de WAM adaptadas a necesidades específicas por diferentes instituciones. La que mantiene y actualiza el ECMWF, denominada ECWAM (*ECMWF Wave Model*), forma parte del IFS donde se ejecuta acoplada en ambas direcciones con la atmósfera y el océano (IFS Documentation, 2018). La configuración operativa actual tiene una resolución espacial de $1/8^\circ$ (~ 14 km), con una resolución espectral de 36 direcciones y 36 frecuencias (con un corte en 0,98 Hz) y proporciona pronósticos hasta diez días, dos veces diarias a 00 y 12 UTC.

4. EL SISTEMA DE PREDICCIÓN DE AEMET

El sistema de predicción de oleaje de AEMET, denominado AEWAM, se basa en una configuración de área local de ECWAM (CY40R3). Consiste en un único anidamiento que recibe como forzamientos horarios los campos de viento a 10 metros y como condiciones de contorno los espectros 2D de los sistemas de pronóstico atmosférico (HRES) y olas (HRES-WAM) respectivamente, que se ejecutan operativamente en el ECMWF.

La resolución espacial se ha triplicado a $1/24^\circ$ (~ 4 km) para capturar con un mayor detalle la evolución temporal de las estructuras de oleaje durante su propagación. En la resolución espectral se han mantenido las 36 direcciones aunque se ha reducido el número de frecuencias a 30 (corte en 0,55 Hz) para agilizar el cálculo dado que la energía asociada a esa zona del espectro es relativamente pequeña.

El sistema se ejecuta con un alcance de 72 horas dos veces al día (a las 00 y a las 12 UTC), con forzamientos y condiciones de contorno horarias de los ciclos de las 18 y las 06 UTC del IFS respectivamente. Este desfase temporal permite disponer de productos de predicción de suficiente calidad antes de las 03/15 UTC, lo que posibilitará en una segunda fase de la implementación anidar modelos costeros especializados en aguas someras o versiones desestructuradas del propio ECWAM, de manera que queden cubiertas las necesidades de predicción de muy alta resolución a lo largo del litoral.

Aunque se trabaja en un sistema de asimilación de altimetría satelital, la presente versión del sistema aún no cuenta con ella. El modelo se inicializa a partir de un pseudoanálisis que se construye forzando una predicción del ciclo previo con campos de viento y condiciones de contorno analizadas.

El dominio de integración del modelo se extiende al área designada por la OMM como responsabilidad española para la predicción y la vigilancia del estado de la mar (WMO, 2014) y abarca latitudinalmente desde el golfo de Guinea hasta el Gran Sol y longitudinalmente desde el paralelo 40°W hasta Sicilia (figura 1).

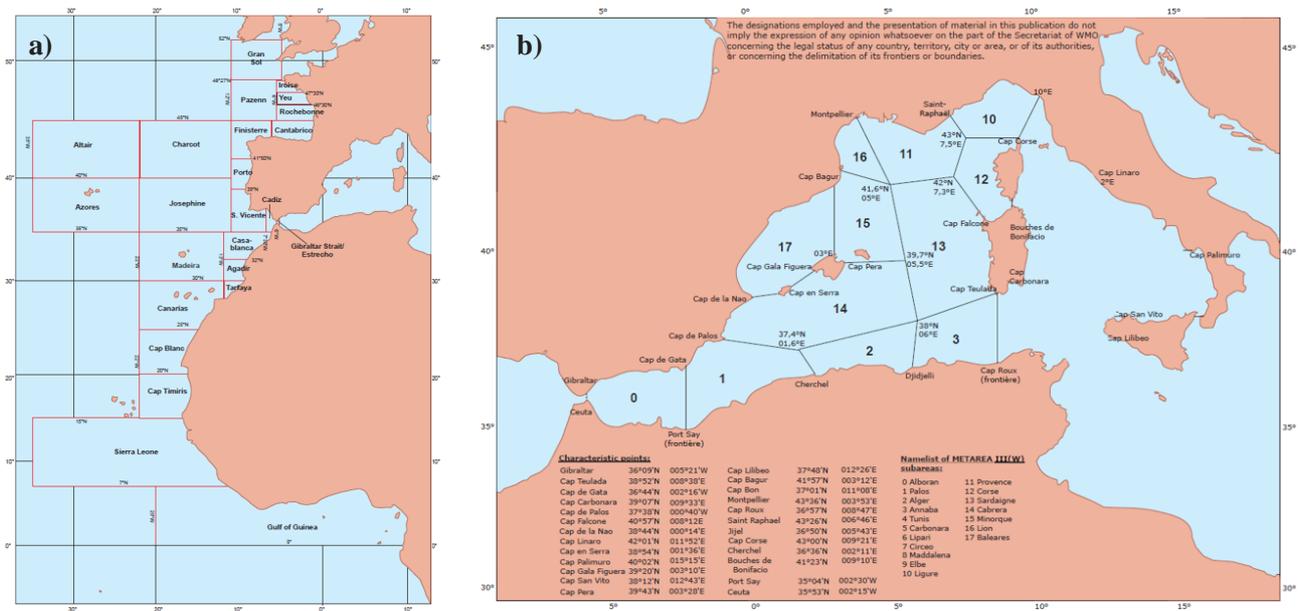


Figura 1. Áreas de responsabilidad española de predicción en el mar para a) el Atlántico y b) el Mediterráneo.

5. EL PROBLEMA DEL ANIDAMIENTO ESPECTRAL

Existe un número de problemas inherentes a la adaptación de modelos numéricos a entornos de supercomputación diferentes de aquellos en los que han sido desarrollados. En este sentido, el anidamiento de modelos regionales de olas en el IFS presenta una dificultad adicional, relacionada con el particular tipo de rejilla GRIB utilizada. Con las rejillas convencionales de los modelos de atmósfera el sistema de archivo permite la extracción directa de un área arbitraria con un mínimo coste computacional. Sin embargo, con la rejilla nativa de WAM (conocida como *rejilla de longitud y latitud reducida*) la extracción va siempre precedida de una interpolación del campo global a la máxima resolución. Dado que este proceso ha de repetirse para cada una de las componentes del espectro, el coste resulta muy elevado y el acceso a las condiciones de contorno se demora extraordinariamente. En la aplicación operativa este problema se alivia considerablemente introduciendo técnicas de paralelización en proceso de extracción.

6. PRODUCTOS

El modelo AEWAM predice la evolución del espectro bidimensional del oleaje. A partir de los pronósticos de este espectro se construyen los productos que proporcionan una descripción estadística completa del comportamiento de las olas (en la aproximación lineal). Los productos derivados de campos integrados pueden incluir toda la energía (*productos totales o combinados*) o bien pueden desdoblarse en componentes (*productos particionados*) que representan tanto el oleaje que se encuentra bajo los efectos del viento (*mar de viento*) como el que ya se propaga libremente en diferentes direcciones (*mar de fondo*).

La aplicación de disseminación gráfica actual proporciona un total de 22 productos en 15 áreas geográficas con información adicional de límites costeros y ubicación de boyas (figura 2).

Altura significativa (color) y dirección media (vectores) del mar combinado

Elaborado el lunes 10-12-2018 00:00 | Previsto para el lunes 10-12-2018 12:00 (H+12)
 Áreas de predicción (rojo,cont)

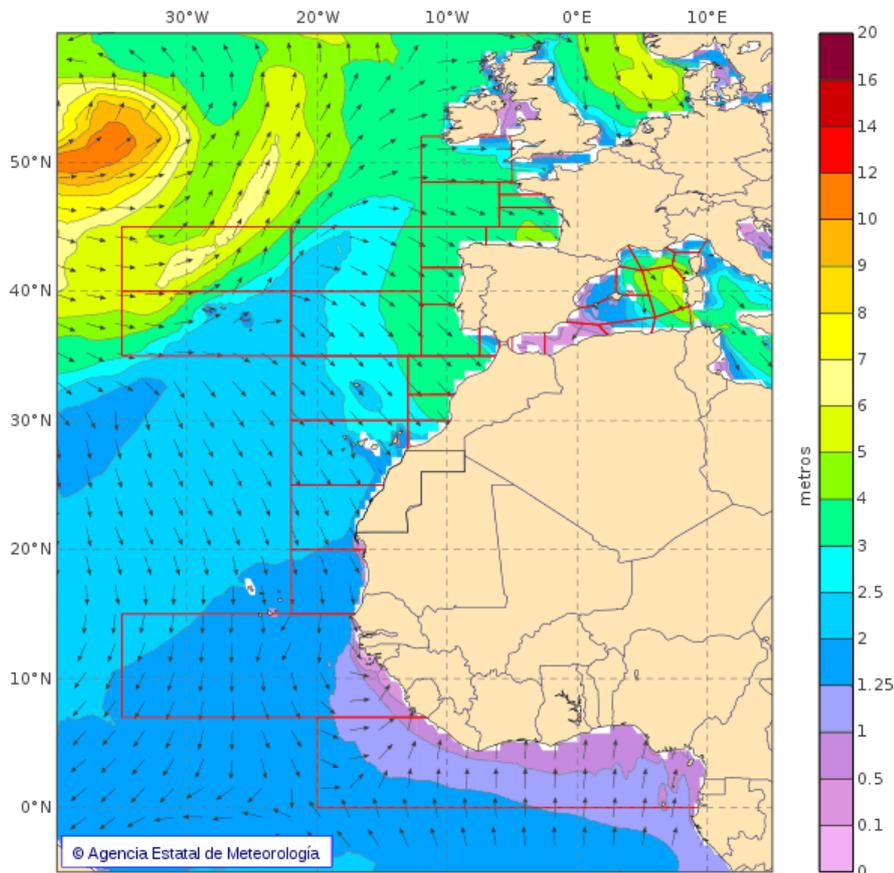


Figura 2. Ejemplo de producto gráfico que engloba el área de modelización. Altura significativa del mar combinado con la dirección media.

7. VERIFICACIÓN

A efectos de verificación los pronósticos obtenidos en diferentes alcances se comparan con los valores registrados por boyas. Por lo regular, los datos de las boyas no son utilizados en el sistema de asimilación por lo que pueden considerarse una fuente de información independiente. El índice de dispersión (SI, del inglés *Scatter Index*), definido como la desviación cuadrática media normalizada con la media de las observaciones y multiplicado por 100, se usa frecuentemente como un estimador del porcentaje de error para caracterizar la bondad de la predicción (conjuntamente con el resto de estadísticos habituales).

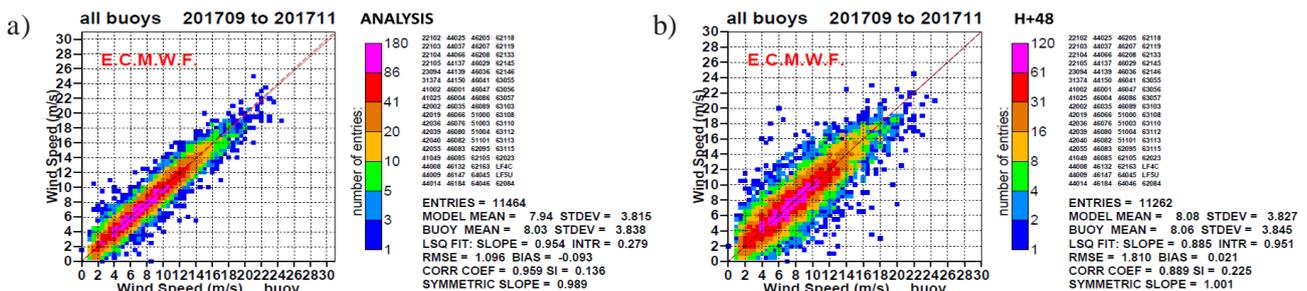


Figura 3. Comparación de predicciones de viento a 10 m del ECMWF (00 UTC/12 UTC) con registros de 72 boyas durante un periodo de 3 meses. a) El índice de dispersión en el análisis es del 14 %. b) En el alcance H+48 asciende a 22 %.

Dado que el único forzamiento es el viento superficial, la calidad de la predicción del oleaje queda supeditada a la del modelo atmosférico. La figura 3 muestra el rápido incremento de la dispersión en el pronóstico de viento incluso en el corto plazo (BIDLÓT, 2017).

En líneas generales, el modelo muestra una gran pericia en el seguimiento de las diversas componentes del oleaje tanto en el Atlántico como en el Mediterráneo (figura 4) y describe adecuadamente la propagación y la interacción con los obstáculos, incluso con aquellos que no son resueltos explícitamente. En la cuenca mediterránea se observa cierta tendencia a la subestimación de la altura de las olas, fenómeno común que tiene su origen en una deficiente modelización de la interacción de la atmósfera con la compleja orografía costera.

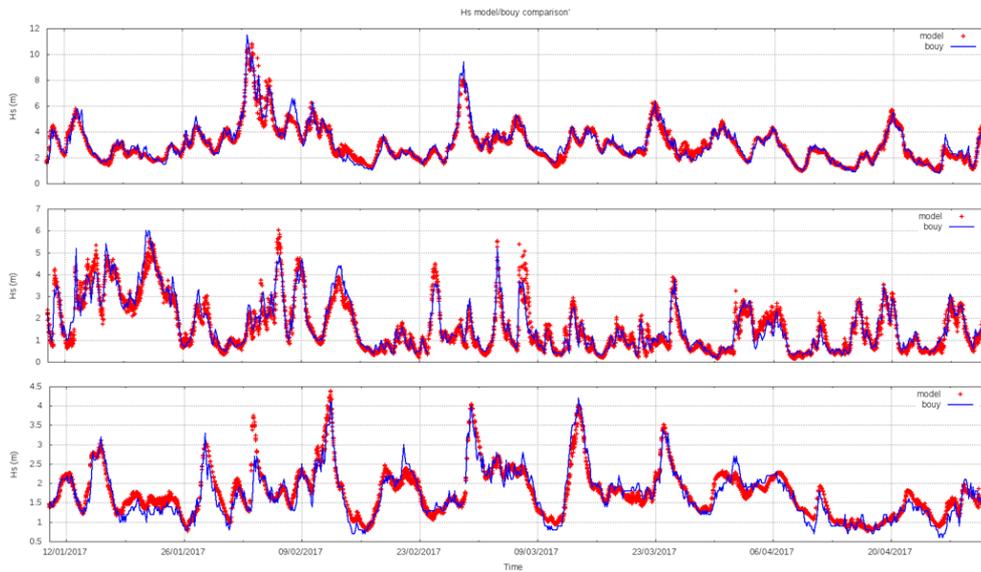


Figura 4. Series temporales de la altura significativa del oleaje para tres boyas fondeadas en el Atlántico, el Mediterráneo y las islas Canarias respectivamente (en azul) con los valores pronosticados por el modelo (en rojo). El periodo abarca alrededor de cuatro meses.

Los diagramas de dispersión para la altura significativa de las olas muestran un buen acuerdo entre la predicción y la observación, con índices de dispersión que no llegan a superar el 19 % en H+72 (figura 5). A lo largo de todo el horizonte de pronóstico (figura 6) el sesgo presenta valores residuales (~ 0,03 m) mientras que el coeficiente de correlación se mantiene siempre por encima del 95 %.

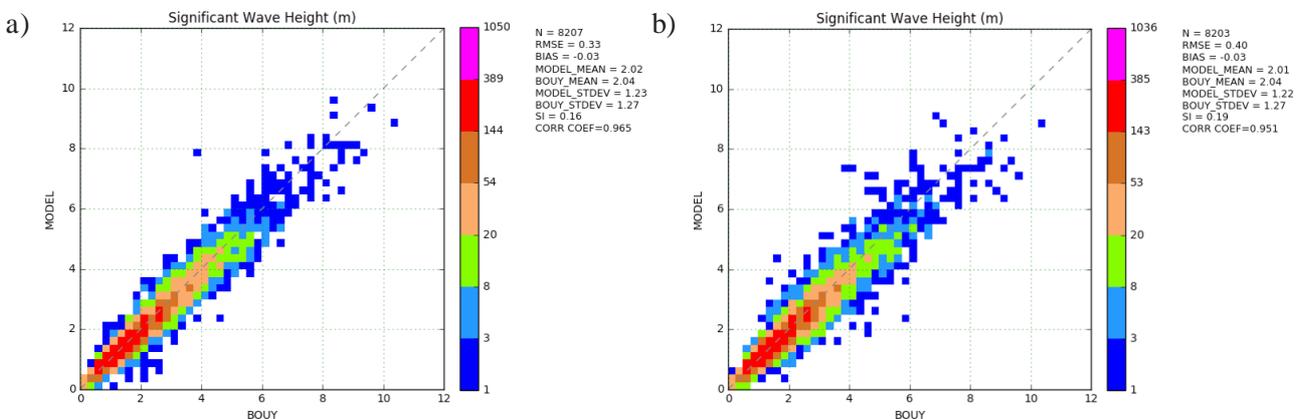


Figura 5. Diagramas de dispersión de pronósticos y observaciones de la altura significativa del oleaje entre 01-01-2017 y 30-06-2018. Los registros observados corresponden a las boyas de Puertos del Estado y las predicciones incluyen ambos ciclos de predicción (00 y 12 UTC) para los alcances de predicción de a) H+24 y b) H+72.

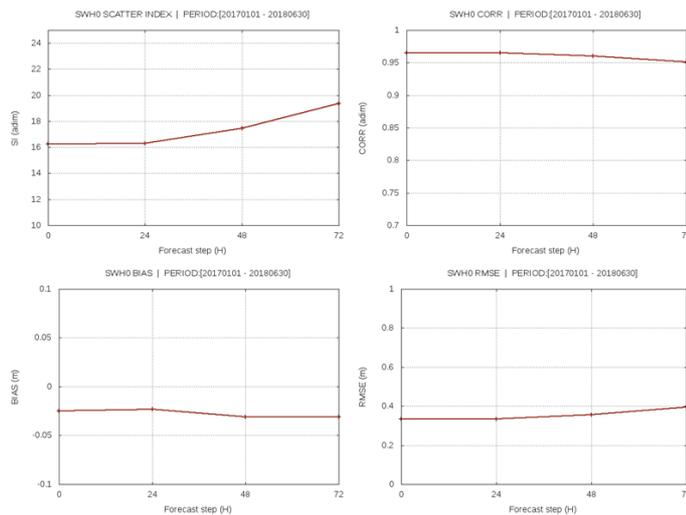


Figura 6. Evolución de los estadísticos principales a lo largo del horizonte de predicción. a) Índice de dispersión, b) coeficiente de correlación, c) sesgo y d) error cuadrático medio.

8. CONCLUSIONES

Hemos desarrollado una aplicación para el pronóstico del estado de la mar basada en el modelo de tercera generación ECWAM que mantiene y actualiza el ECMWF. Para simplificar el montaje y reforzar su consistencia el diseño se basa en un único anidamiento forzado con viento a 10 m y con condiciones de contorno de los modelos atmosférico y de oleaje que se ejecutan operativamente en el ECMWF. El uso de los ciclos intermedios del ECMWF (06 y 18 UTC) no parece afectar significativamente a la calidad de la predicción en el horizonte de 72 horas. Este desfase permite ganar tiempo para la incorporación de anidamientos de alta resolución en el ámbito costero. Pese a las dificultades *logísticas* que presenta este tipo de anidamientos (debidas al formato de rejilla y al protocolo de archivo del modelo global) se obtienen buenos resultados que quedan acreditados por la comparación con los registros de las boyas.

AGRADECIMIENTOS

Para la realización de este trabajo hemos contado con la ayuda de Jean Bidlot, responsable de Modelización en el medio marino, y de Xavier Abellán del departamento de Soporte a usuarios, ambos del ECMWF.

REFERENCIAS

- HOLTHUIJSEN, L. H., 2007. Waves in Oceanic and Coastal Waters. Cambridge University Press.
- THE WAMDI GROUP, 1988. The WAM Model – A Third Generation Ocean Wave Prediction Model.
- ECMWF, 2018. IFS Documentation Cy45r1 Part VII: ECMWF Wave Model.
- WMO, 2014. Volume D. Information for Shipping. 2014 Edition.
- BIDLOT, 2017. Intercomparison of operational wave forecasting systems against buoys.