

# RECONSTRUCCIÓN HÍBRIDA DEL CLIMA MARÍTIMO Y SU APLICACIÓN AL ESTUDIO DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN LA COSTA DEL PACÍFICO MEXICANO

• José Cristóbal Medina-González •  
*Grupo TYPASA, España*

• Gabriel Díaz-Hernández\* •  
*Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria, España*

\*Autor de correspondencia

## Resumen

Medina-González, J. C., & Díaz-Hernández, G. (julio-agosto, 2014). Reconstrucción híbrida del clima marítimo y su aplicación al estudio del transporte de sedimentos en la costa del Pacífico mexicano. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5(4), 135-144.

El presente estudio se encarga de analizar el clima marítimo histórico en la playa de Campos en la región de Manzanillo (Colima, México), con el objetivo de trasladar la estadística histórica de 62 años de oleaje horario a la zona costera. El análisis se ha realizado mediante la integración de diferentes herramientas numéricas, medidas instrumentales y técnicas estadísticas que en conjunto analizan los procesos relacionados con la propagación del oleaje que se suceden desde las aguas profundas hasta la costa. Esta información es susceptible de ser empleada como forzamiento de estudios costeros y portuarios de detalle. La aportación innovadora de la presente metodología es la integración de distintos modelos de propagación numérica de oleaje, el uso de algoritmos de validación de los datos de oleaje obtenidos con datos instrumentales, y el establecimiento de una técnica de hibridación que permite llevar a cabo una reconstrucción histórica del oleaje horario con 62 años de duración en la zona de estudio, con tiempos computacionales eficientes y competitivos. La metodología propuesta fácilmente puede ser adoptada como una herramienta metodológica de uso habitual en consultorías técnicas de ingeniería costera y portuaria. Como ejemplo de la explotación de las series de oleaje que esta metodología ofrece, se realiza el estudio preliminar de la evolución de la dinámica litoral en el corto (días a semanas) y largo plazos (meses, estaciones, años y décadas), en la zona del canal Tepalcates, en Manzanillo, antes y después de su ampliación.

**Palabras clave:** clima marítimo, propagación de oleaje, calibración, modelación numérica, auto-clasificación.

## Abstract

Medina-González, J. C., & Díaz-Hernández, G. (July-August, 2014). *Hybrid Maritime Climate Reconstruction and its Application to the Study of Sediment Transport in the Mexican Pacific Coast*. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*, 5(4), 135-144.

*This study analyzes the historical maritime climate on the coast of Manzanillo (Colima, Mexico), in order to reconstruct 62-year hourly wave statistics for the coastal zone. The analysis was performed by integrating different numerical tools, instrumental measurements and statistical techniques to jointly analyze the processes associated with the propagation of waves from deep waters to the coast. This information is likely to be used to drive future detailed coastal and harbour studies. The innovative contribution of this methodology includes the integration of different numerical wave propagation models and the use of algorithms to validate wave data obtained with instruments, as well as the establishment of a hybrid technique that enables performing an historical wave reconstruction with 62 years of duration in the study zone and with efficient and competitive CPU times. The proposed methodology can be easily adopted as a tool that can be commonly used for technical coastal and port engineering consulting. As an example of the use of the wave series offered by this study, a preliminary study of the short- (days to weeks) and long-term (months, seasons, years and decades) evolution of coastal dynamics is presented for the Tepalcates channel in Manzanillo, before and after its expansion.*

**Keywords:** *Auto-classification, calibration, maritime climate, numerical modelling, wave propagation.*

## Introducción

La variedad y singularidad de las zonas litorales hacen de la costa un espacio de un elevado valor. En los últimos tiempos ha crecido de forma significativa el uso del litoral mexicano para fines industriales, comunicación y turismo, siendo por ello necesario llevar a cabo la construcción de obras de protección costera, las cuales aportan resguardo a las zonas destinadas ante la acción de los agentes medioambientales (principalmente al oleaje) que inciden sobre ellas. En el presente estudio se plantea una metodología integral y novedosa de propagación de oleaje desde aguas profundas hasta la costa, que permite alimentar análisis de diseño funcional y de estructuras de protección costera, aplicado concretamente al diagnóstico del proyecto de construcción de la nueva terminal de gas natural licuado (TGNL) en el interior de la laguna de Cuyutlán, situada en Manzanillo, Colima, México.

Este estudio se fundamenta en particular en diferentes herramientas matemáticas que, con base en diferentes técnicas de hibridación, propagación y reconstrucción, logra obtener series históricas de oleaje de larga duración, lo cual supone contar con un forzamiento de alta calidad que puede ser empleado por modelos semi-empíricos y numéricos encargados de estudiar distintos escenarios de actuación y alternativas de mejora o modificación ante cualquier estudio de afección de las obras litorales. Este trabajo ejemplifica este hecho, atendiendo a la necesidad e importancia de conocer los cambios que se pueden producir sobre la línea de costa debido a la acción del hombre sobre el medio natural.

## Objetivos

El objeto principal del presente estudio es establecer el uso de una nueva metodología integral para la reconstrucción híbrida del oleaje en costa desde aguas profundas y considerando los principales procesos de transformación, efectos del viento local y efectos de disipación.

Se plantea que dicha metodología sea eficiente y basada en algoritmos de auto-selección de estados de mar representativos que agilicen los tiempos computacionales de simulación, así como en técnicas estadísticas de reconstrucción de series de variables medioambientales que permitan obtener un régimen medio del oleaje que represente de forma adecuada la realidad.

También se ejemplifica el uso y la explotación de las series de oleaje obtenidas con la metodología propuesta por Camus, Méndez, Medina, & Cofiño (2011a) (denominada técnica híbrida) para entender el funcionamiento de la dinámica litoral en la costa de Manzanillo y los procesos costeros asociados.

## Metodología propuesta de hibridación

Para poder cuantificar las posibles consecuencias en la hidrodinámica de la zona litoral, el presente estudio propone el uso de diferentes herramientas estadísticas, modelación numérica e interpretación de datos instrumentales, que permiten vislumbrar el funcionamiento de la costa actual y futura, a través del entendimiento de los procesos de oleaje en aguas profundas, su propagación hacia la costa, su interacción con ésta e interrelación con los diferentes elementos costeros (p. ej., las tendencias sedimentarias a distintas escalas de tiempo), considerando distintos estados o alternativas de análisis.

En concreto, la metodología propuesta presenta los pasos recogidos en el diagrama que se muestra en la figura 1, y parte del uso, tratamiento y adaptación de los datos batimétricos frente a la zona de estudio, así como del uso de una base de datos de oleaje en aguas profundas, con registros suficientemente largos como para caracterizar la estadística del clima marítimo. En este caso se ha optado por usar la base de datos GOW (Reguero, Menéndez, Méndez, Mínguez, & Losada, 2012), proporcionada por el IH Cantabria, que cuenta con datos horarios de oleaje de 62 años de duración de 1948 a 2010. La técnica de hibridación sigue los lineamientos de

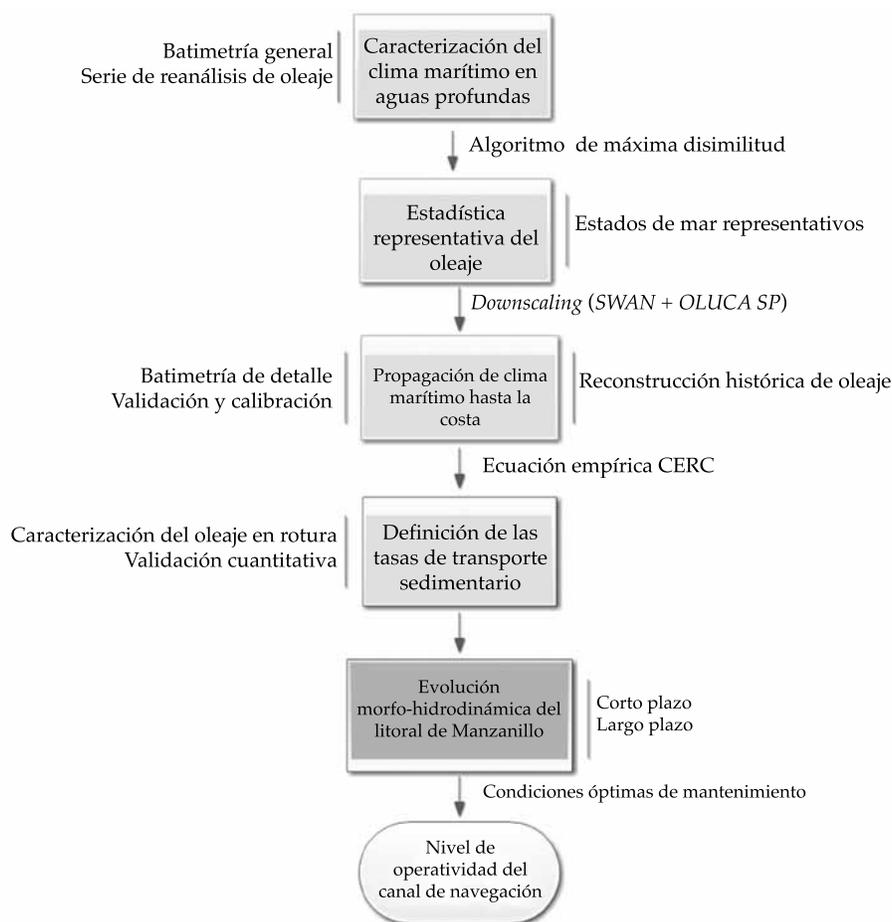


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología de trabajo seguida en el estudio.

autoselección, propagación y reconstrucción de estados de mar propuesta por Camus *et al.* (2011a) y Camus, Méndez, & Medina (2011b), con lo cual se cumplen dos objetivos fundamentales: a) conocer la estadística del clima marítimo en aguas profundas frente a la zona de estudio, y b) minimizar el número de estados de mar a ser propagados numéricamente desde aguas profundas hasta la costa debido a que actualmente es inviable o computacionalmente poco eficiente ejecutar la serie de oleaje de 62 años hora a hora. Dicho algoritmo corresponde a la técnica de máxima disimilitud (Max-Diss), la cual permite identificar aquellos estados de mar que representan el comportamiento medio y extremal del oleaje en cualquier punto, con una

abstracción hacia un número reducido de éstos, también denominados *clusters*. En el presente estudio, y siguiendo las recomendaciones de Camus *et al.* (2011a), se ha obtenido un número de  $n = 250$  *clusters*, que a su vez han servido como forzamiento de la modelación numérica acoplada entre el modelo de propagación de oleaje SWAN (Booij, Ris, & Holthuijsen, 1999) para las propagaciones desde aguas profundas hasta intermedias, y el modelo OLUCA (González *et al.*, 2007), cuya zona de actuación se establece desde el límite de aguas intermedias y hasta la línea de costa. A este proceso metodológico se denomina *downscaling* híbrido.

Una vez ejecutados los  $n$  estados de mar en la zona de rompientes, se realiza una

reconstrucción de los 62 años horarios de olas en distintos puntos a lo largo de la costa de estudio, teniendo en cuenta los  $n$  coeficientes de propagación de la base de datos GOW en aguas profundas y empleando el algoritmo basado en las *Radial Basis Functions* (RBF), propuesto para este fin por Camus *et al.* (2011b) y Ripa (1999). Una vez reconstruida la estadística del oleaje en la zona de rompientes, esta serie de oleaje se puede emplear para llevar a cabo cualquier tipo de análisis de detalle sobre agitación portuaria, interacción oleaje con estructuras naturales y artificiales, y estudios de dinámica sedimentaria, a través de formulaciones semi-empíricas (primera aproximación al problema) y aproximaciones numéricas (análisis detallado de procesos).

Por ejemplo, en el presente estudio, si se conoce el tamaño de grano representativo de la costa de estudio y su pendiente media en cada zona, se puede emplear la formulación semi-empírica clásica de dinámica litoral aportada por el CERC (USACE, 1984), para finalmente obtener las tasas de transporte de sedimentos y su tendencia a lo largo de la costa, de forma eficiente para la serie horaria de 62 años de duración.

Por lo tanto, es fácil imaginar que esta metodología permite interpretar computacional y eficientemente, y a través del análisis concatenado e individual de procesos: a) la estadística del oleaje en aguas profundas; b) su propagación hacia la costa; c) la reconstrucción de la estadística del oleaje; d) obtención de las tasas de transporte de sedimentos, y e) el funcionamiento hidrodinámico que gobierna la costa.

Para esta nota técnica se ha aplicado la presente metodología a la zona litoral de Manzanillo, a fin de obtener datos generales sobre la dinámica sedimentaria en diferentes escalas de tiempo, antes y después de la obras de ampliación del canal Tepalcates. Es importante mencionar que para poder validar, calibrar y comprobar la veracidad de cada uno de los pasos expuestos anteriormente, se han empleado datos instrumentales de oleaje y

mediciones topo-batimétricas proporcionadas por la GEIC-CFE.

## Datos de partida y zona de estudio

Para poder aplicar la metodología propuesta en la zona de estudio en Manzanillo, el punto de partida es el empleo de la base de datos de oleaje denominada GOW (Global Ocean Waves) (Reguero *et al.*, 2012), aportada por el Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria de España (IH Cantabria), así como datos topo-batimétricos y sedimentarios medidos en distintas campañas de campo en distintas fechas. Ambas fuentes aportadas por el Departamento de Oceanografía de la Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil de la Comisión Federal de Electricidad de México (GEIC-CFE).

El área de estudio se sitúa en la parte occidental de la república mexicana, en un tramo de la costa de 12.5 km en Manzanillo, estado de Colima. El tramo litoral de estudio alberga un punto estratégico y de interés general para México, en cuanto a operaciones portuarias se refiere. En los años 2009-2010 se ha llevado a cabo la construcción de una nueva terminal de almacenamiento y regasificación de gas natural licuado (TGNL). Como consecuencia de su construcción, ha sido necesario modificar el ancho original de 150 a 500 m y calado hasta los 15 m (dragado de 16.5 millones de m<sup>3</sup> de material) del Canal de Tepalcates, y la construcción de dos nuevas escolleras de 250 m de longitud cada una, que delimitan las márgenes de dicho canal. La GEIC-CFE ha realizado un seguimiento topo-batimétrico de la costa desde el inicio de las obras hasta la actualidad, midiendo los posibles efectos en el entorno.

## Resultados

### *Base de datos DOW en aguas profundas*

Para la obtención del oleaje en la zona de aguas profundas de la costa de Manzanillo se han empleado los datos de oleaje (altura de ola signifi-

cante  $H_s$ , periodo de pico  $T_p$  y dirección media  $\theta$  de la base de datos GOW, en el punto (lat. = 18° N, long. = 105° W). La base de datos GOW se ha calibrado con información instrumental (todos los datos de las seis misiones de satélites, que van desde 1992 hasta 2012). Para ello se ha utilizado una técnica de calibración no lineal basada en la agregación direccional de cuantiles (Mínguez, Espejo, Tomás, Méndez, & Losada, 2011). Se debe puntualizar que la base de datos DOW no cuenta con información de datos de oleaje extremo generado por eventos relacionados con ciclones tropicales, tal y como lo plantean Ruiz-Martínez, Silva-Casarín, Pérez-Romero, Posada-Vanegas y Bautista-Godínez (2009b), debido a que la base de datos de viento WRF-ARW 3.1.1 es de media resolución, con datos de viento cada 0.5°. La figura 2 muestra la ficha resumen de datos GOW en el punto en aguas profundas.

### Autoselección de estados de mar representativos

Antes de proceder al *downscaling* y simulación de los procesos de transformación del oleaje en su propagación hasta costa de la base de datos GOW, se ha aplicado la metodología híbrida que combina modelos numéricos de propagación (*downscaling* dinámico) y métodos matemáticos de clasificación y reconstrucción (*downscaling* estadístico). Para ello se ha clasificado el clima marítimo de cada zona a partir de los campos espacio-temporales de oleaje y viento de cada zona, seleccionándose  $n = 250$  estados de mar en profundidades indefinidas, representativos del total de los 62 años (más de 534 000 estados de mar). La técnica de clasificación empleada ha sido el algoritmo de máxima disimilitud (Kennard & Stone, 1969).

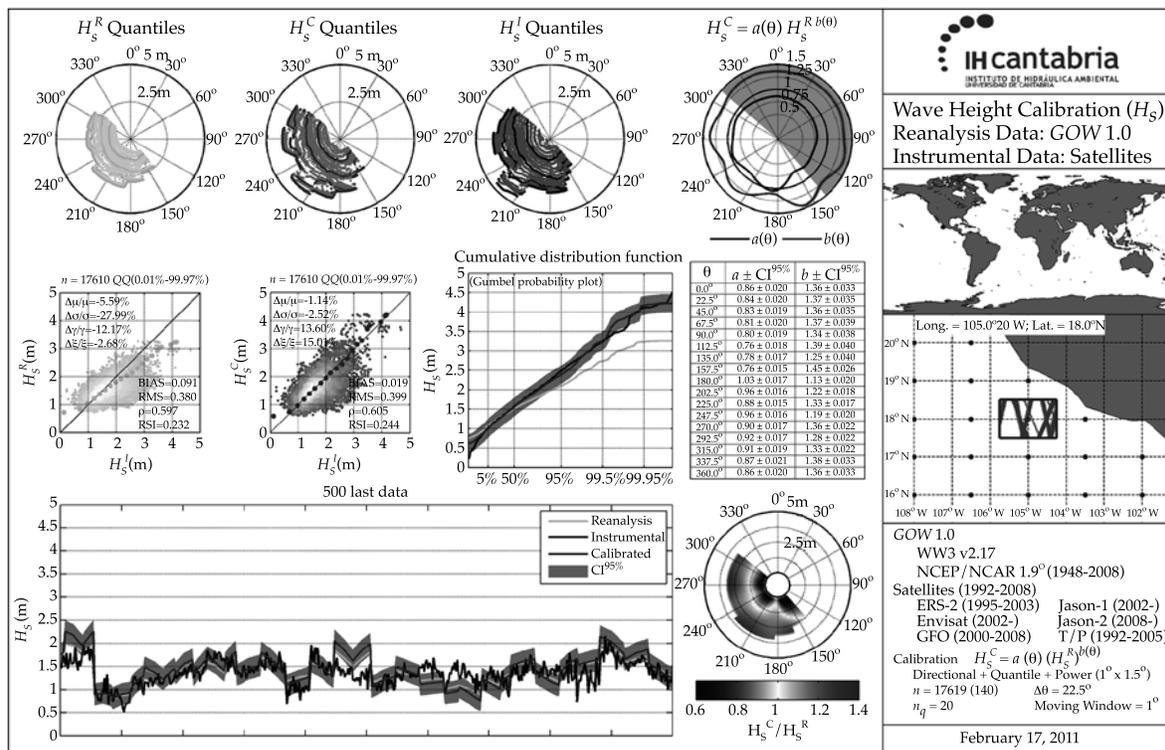


Figura 2. Serie GOW en el punto lat. = 18° N, long. = 105° W, validada con datos de satélite. Fuente: IH Cantabria.

### *Propagación numérica de oleaje desde aguas profundas a la costa*

Mediante sucesivas mallas anidadas se propagan espectralmente los  $n = 250$  estados de mar seleccionados del GOW ya calibrados, llegando hasta resoluciones espaciales de entre 350 y 70 m. El modelo de propagación utilizado es el SWAN, empleando la batimetría global GEBCO (British Oceanographic Data Centre) y, por otro lado, los datos batimétricos de detalle aportados por la GEIC-CFE. La resolución adecuada para dichas mallas corresponde a  $0.05^\circ$  en la general (5 400 m) y  $0.003125^\circ$  en la de detalle (340 m). Se han tenido en cuenta dos niveles de marea: bajamar y pleamar. Los resultados obtenidos de los  $n = 250$  estados de mar ejecutados aportan mapas de  $H_s$ ,  $T_p$  y  $\theta$ , siendo posible visualizar en ellos el comportamiento del oleaje a medida que se propaga a la costa, contando también con información espectral en distintas localizaciones de control, dispuestas en múltiples puntos dentro del dominio numérico.

### *Reconstrucción de la serie de oleaje y obtención de las tasas de transporte*

A partir de la información espectral aportada por el modelo numérico SWAN, se obtiene la reconstrucción histórica de 62 años de oleaje en dos puntos de control: punto 1 (lat. =  $18.947^\circ$  N, long. =  $104.360^\circ$  W) y punto 2 (lat. =  $18.967^\circ$  N, long. =  $104.316^\circ$  W), correspondientes al punto de acoplamiento entre forzamientos del modelo SWAN y el modelo OLUCA SP, y el punto coincidente con la localización de los datos instrumentales de oleaje aportados por la GEIC-CFE, respectivamente.

Mediante la interpolación (RBF) se reconstruye cada uno de los parámetros espectrales propagados en ambos puntos objetivos, permitiendo de esta forma transferir numéricamente el clima marítimo multidimensional desde aguas profundas para la serie histórica de 62 años.

### *Validación y calibración de la estadística del oleaje en aguas someras*

Para el trabajo de validación, este estudio emplea información instrumental de oleaje gestionada por la GEIC-CFE, derivado de un equipo *doppler*, modelo AWAC de la marca Nortek, fondeado a 15 m, entre los años 2009 y 2010. Esta información ha sido pos-procesada para obtener los estadísticos espectrales de oleaje similares a la serie GOW.

Una vez propagado el oleaje a la zona de estudio y reconstruido en el punto de control 1, se realiza la comparación con la serie GOW propagada de forma híbrida (ver figura 3). Se observa que las predicciones numéricas son reproducidas de forma adecuada, siguiendo las tendencias de máximos y mínimos de  $H_s$  a lo largo del tiempo, y observando que la serie numérica presenta una sobre-estimación sistemática de dicho valor, posiblemente debido a la resolución de la malla numérica, que no logra definir de modo adecuado los detalles batimétricos cerca de la costa o bien se puede deber a la ausencia del aporte de oleaje que se genera por viento local, no incluido en las simulaciones, o incluso a una variación en la referencia de cotas de nivel del mar con respecto a las cotas de la batimetría empleadas.

Por estos motivos, es absolutamente necesario establecer un protocolo de calibración de dicha serie numérica reconstruida en los puntos de control; esto se realiza a través del tratamiento direccional de cuantiles propuesto por Tomás, Méndez y Losada (2008) y Mínguez *et al.* (2011), estableciendo que los factores de calibración obtenidos siguen una dependencia con base en la dirección media de propagación del oleaje y obedecen a una regresión lineal entre los datos fuente y objetivo. Una vez realizado el ajuste polinómico lineal entre ambas series de datos se ha logrado mejorar la información de reanálisis aplicando la calibración direccional propuesta. A través de los análisis de regresión se puede cuantificar la similitud entre las dos fuentes de datos, analizando tanto la tendencia central de los datos como su dispersión (ver figura 4a).

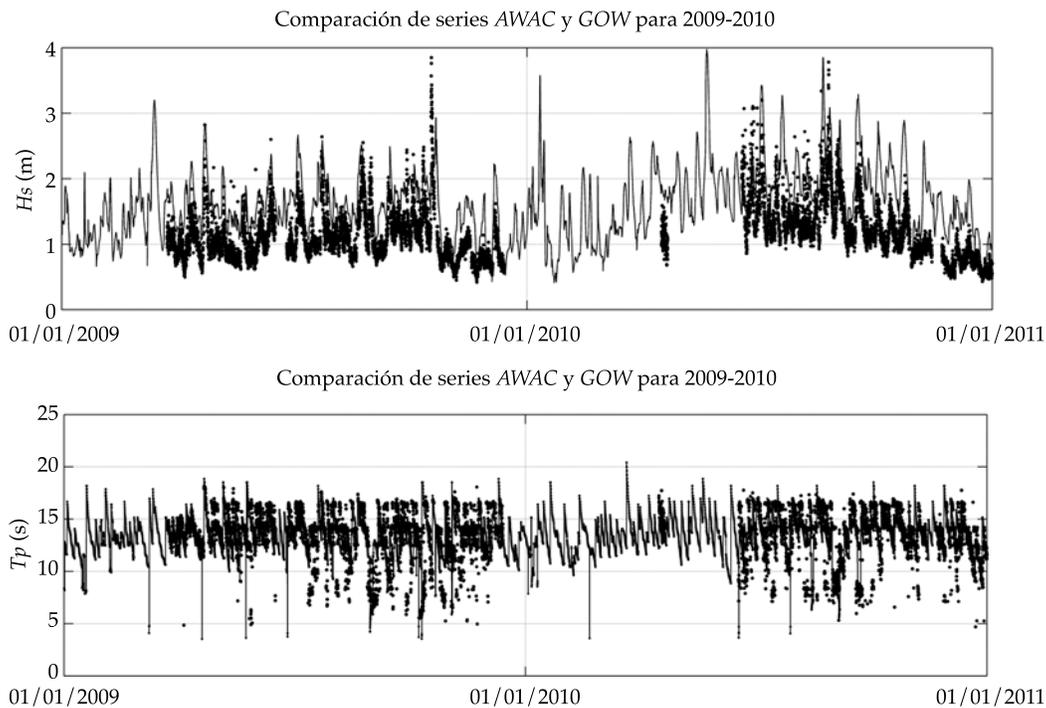


Figura 3. Validación de los parámetros  $H_s$  y  $T_p$  entre la serie numérica GOW, propagada y reconstruida en el punto 1 (línea negra), y la serie instrumental AWAC (puntos negros).

En la figura 4b se presentan los gráficos cuantil-cuantil (*Q-Q plot*), que permite verificar si las distintas partes del régimen medio de dos variables son parecidas, observando en este caso que la rama de datos medio-alta del régimen de oleaje se ha corregido de forma adecuada una vez ha sido calibrada la serie reconstruida en el punto objetivo. De nuevo es importante comentar que la serie reconstruida en el punto de control no incluye información sobre los forzamientos ciclónicos y por lo tanto existe una subestimación de los oleajes en la rama extremal por parte de la presente metodología, tal y como lo plantean Ruíz-Martínez *et al.* (2009a y 2009b). De esta forma se obtiene una reconstrucción calibrada de la serie completa de oleaje desde aguas profundas con 62 años de duración, lo cual resulta muy importante para transferir el oleaje hasta la costa con garantías de éxito. Se comprueba que tras aplicar la calibración direccional a la serie reconstruida, estas diferencias se

reducen, llegando a establecer una tendencia muy similar a la información instrumental (ver figura 5).

#### *Análisis de la dinámica sedimentaria de la costa de Manzanillo antes y después de las obras*

Se usa el modelo *OLUCA* para analizar la dinámica sedimentaria del tramo costero de estudio en Manzanillo. Este análisis se ha realizado considerando ambas configuraciones topo-batimétricas antes y después de la ampliación del canal Tepalcates. Se ha reconstruido el oleaje en la zona de rompientes para el periodo 1948-2010 para la configuración sin modificar y se ha aplicado la formulación semi-empírica propuesta por el CERC (USACE, 1984), obteniendo de esta forma las tasas anuales de transporte de sedimentos y su tendencia a lo largo de la costa; se ha conseguido conocer el funcionamiento hidrodinámico que gobierna

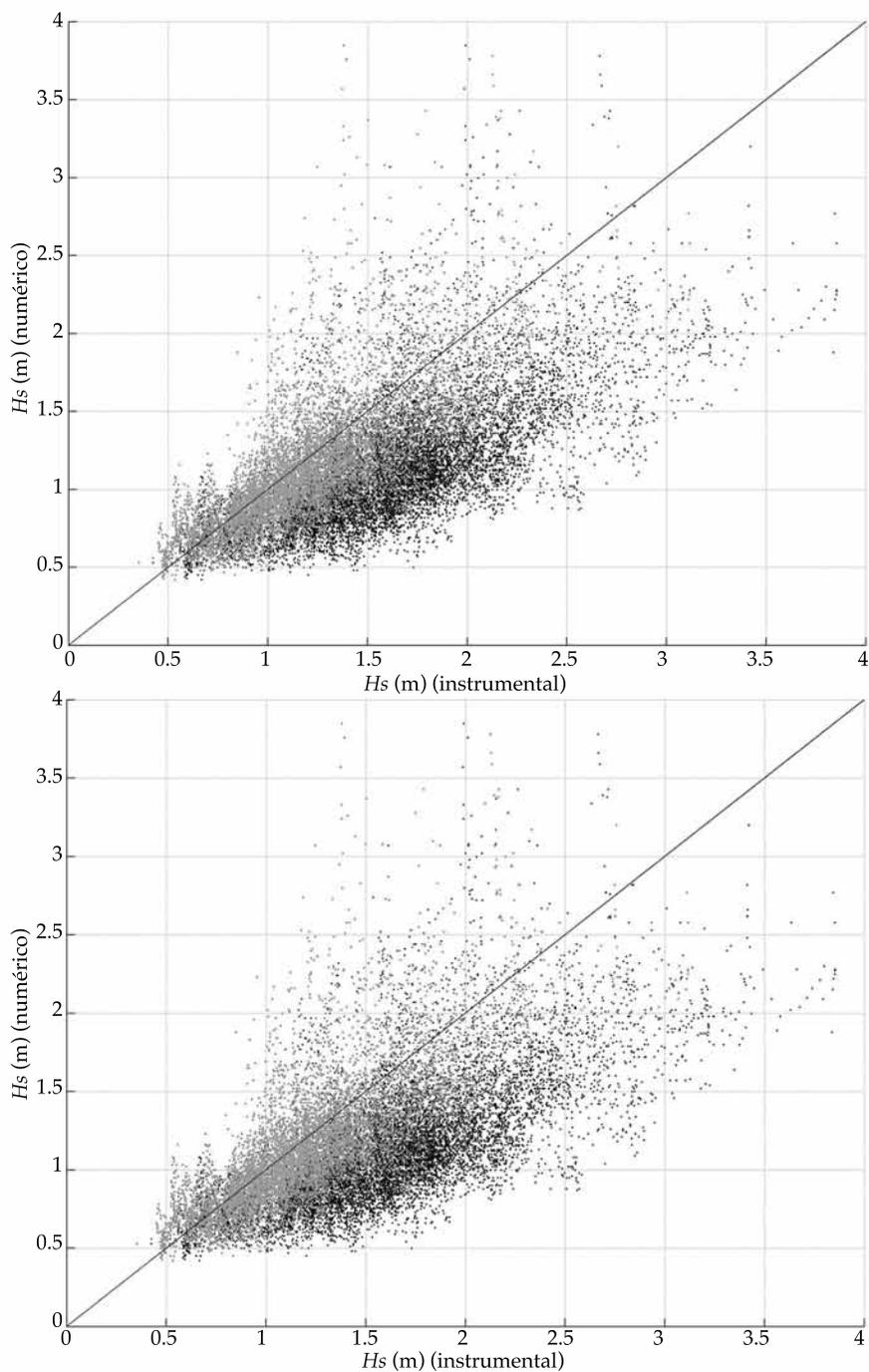


Figura 4. Resultado del proceso de calibración: a) diagrama de dispersión y b) gráfico tipo *qqplot*, para los datos sin calibrar (puntos en negro) y calibrados (puntos grises) de la serie reconstruida en el punto 1 para los años 2009 y 2010.

en el litoral de Manzanillo en diferentes escalas de tiempo a partir de un tamaño de grano característico  $D_{50} = 0.3$  mm (GEIC-CFE). La

serie histórica de transporte litoral obtenida ha sido analizada para diferentes lapsos (anual, estacional y mensual) y presenta tendencias

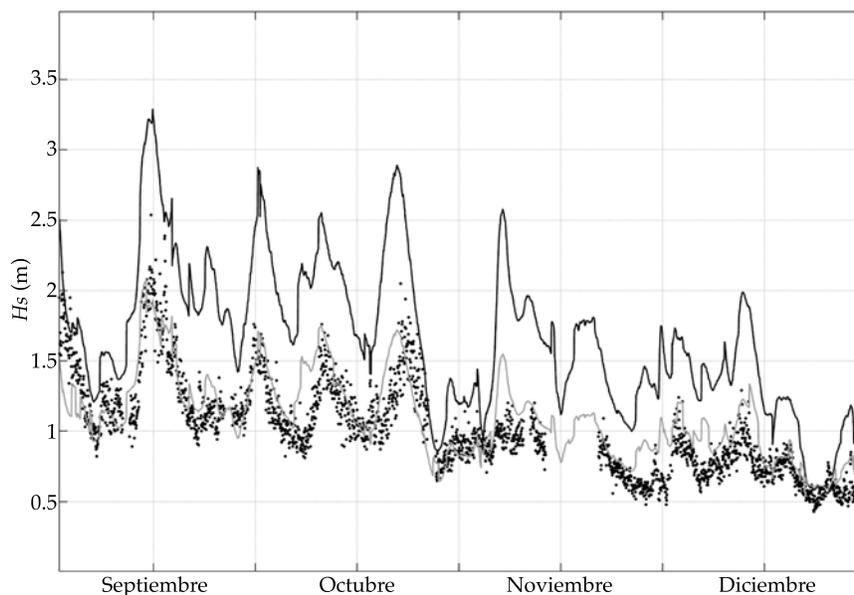


Figura 5. Comparativa de los cuatro últimos meses del año 2010 entre la serie instrumental AWAC (puntos negros) y la reconstruida en el punto 1 antes (línea negra) y después (línea gris) de aplicar el protocolo de calibración.

semejantes entre sí, asociando, en general, un desplazamiento del sedimento en dirección WNW-ESE a lo largo de ambas playas de 60 500 m<sup>3</sup>/año al oeste del canal y de 52 000 m<sup>3</sup>/año al este del canal. Resulta interesante observar cómo el transporte medio en la playa al este del canal Tepalcates es un 8% inferior al calculado para la playa al oeste de dicho canal. Esto posiblemente se deba a la acción de defensa que ejerce el espigón sobre la incidencia de temporales provenientes del oeste sobre el primer tramo de la playa este. Por último, y a fin de poder asimilar de forma adecuada el comportamiento de la dinámica litoral aquí obtenido, se ha procedido a realizar una validación cuantitativa de los resultados obtenidos, comparando diferentes líneas de costa, para las fechas de 1/12/2009 a 1/12/2010. El volumen acumulado sobre el espigón en la playa oeste es de 38 500 m<sup>3</sup>, aproximadamente; en la playa este no se observan diferencias relevantes, obteniendo 7 245 m<sup>3</sup> de volumen acumulado.

## Conclusiones

La metodología propuesta muestra una técnica novedosa para realizar la reconstrucción histórica de clima marítimo en la costa de estudio a partir del acoplamiento de modelos de propagación de oleaje, la cual ha demostrado ser una alternativa efectiva y eficiente para alimentar el forzamiento relativo al oleaje histórico para cualquier tipo de estudio en costa.

Se ha ejemplificado el uso de las series de oleaje reconstruidas en costa, para llevar a cabo un estudio preliminar de dinámica costera en la costa de Manzanillo y, en específico, para el análisis del sistema playas-espigones-canal, para el cual se han obtenido resultados satisfactorios y tendencias coherentes con las observaciones instrumentales y topo-batimétricas realizadas por la GEIC-CFE, logrando definir las condiciones reinantes de oleaje en el litoral de Manzanillo y las tendencias de la dinámica sedimentaria existente en la zona.

## Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil de la Comisión Federal de Electricidad para la realización de su análisis en la costa de Manzanillo, México, así como por el apoyo recibido, información necesaria, consejos profesionales y datos aportados durante el desarrollo de este trabajo.

Recibido: 06/03/13  
Aceptado: 11/12/13

## Referencias

- Booij, N., Ris, R. C., & Holthuijsen, L. H. (1999). A Third-Generation Wave Model for Coastal Regions, Part I: Model Description and Validation. *Journal of Geophysical Research*, 104(4), 7649-7666, doi: 10.1029/98JC026222.
- Camus, P., Méndez, F. J., Medina, R., & Cofiño, A. S. (2011a). Analysis of Clustering and Selection Algorithms for the Study of Multivariate Wave Climate. *Coastal Engineering*, 58(6), 453-462, doi:10.1016/j.coastaleng.2011.02.003.
- Camus, P., Méndez, F. J., & Medina, R. (2011b). A Hybrid Efficient Method to Downscale Wave Climate to Coastal Areas. *Coastal Engineering*, 58(9), 851-862. doi:10.1016/j.coastaleng.2011.05.007.
- González, M., Medina, R., González-Ondina, J., Osorio, A., Méndez, F. J., & García, E. (July, 2007). An Integrated Coastal Modeling System for Analyzing Beach Processes and Beach Restoration Projects, SMC. *Comput. Geosci.*, 33(7), 916-931.
- Kennard, R. W., & Stone, L. A. (1969). Computer Aided Design Experiments. *Technometrics*, 11, 137-148.
- Mínguez, R., Espejo, A., Tomás, A., Méndez, F. J., & Losada, I. J. (2011). Directional Calibration of Wave Reanalysis Databases Using Instrumental Data. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 28, 1466-1485.
- Rippa, S. (1999). An Algorithm for Selecting a Good Value for the Parameter C in Radial Basis Function Interpolation. *Advances in Computational and Mathematical*, 11(1999), 193-210.
- Reguero, B. G., Menéndez, M., Méndez, F. J., Mínguez, R., & Losada, I. J. (July, 2012). A Global Ocean Wave (GOW) Calibrated Reanalysis from 1948 Onwards. *Coastal Engineering*, 65, 38-55.
- Ruiz-Martínez, G., Mendoza, E., Silva-Casarín, R., Posada-Vanegas, G., Pérez, D., Rivillas, G., Escalante, E., & Ruiz, F. (2009a). Caracterización del régimen de oleaje y viento de 1948-2007 en el litoral mexicano. *Revista Interdisciplinaria de Ciencia y Tecnología del Agua*, 16(1), 51-64.
- Ruiz-Martínez, G., Silva-Casarín, R., Pérez-Romero, D. M., Posada-Vanegas, G., & Bautista-Godínez, E. G. (julio-septiembre, 2009b). Modelo híbrido para la caracterización del oleaje. *Ingeniería hidráulica en México*, 24(3), 5-22.
- Tomás, A., Méndez, F. J., & Losada, I. J. (2008). A Method for Spatial Calibration of Wave Hindcast Data Bases. *Continental Shelf Research*, 28(3), 391-398.
- U.S. Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center (USACE) (1984). *Shore Protection Manual* (3rd Ed.). Washington, DC: Department of the Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center.

## Dirección institucional de los autores

M.I. José Cristóbal Medina González

TYPSA-Sede Social  
Gomera, 9  
28703, S.S. de los Reyes  
Madrid, ESPAÑA  
jmedina@typsa.es

Dr. Gabriel Díaz Hernández

Instituto de Hidráulica Ambiental "IH Cantabria"  
C/Isabel Torres núm. 15  
Parque Científico y Tecnológico de Cantabria  
39011 Santander, ESPAÑA  
Teléfono: +34 (942) 201 616, extensión 1255  
Fax: +34 (942) 201 860  
gabriel.diaz@unican.es  
www.ihcantabria.es