

VALIDACIÓN DEL MODELO NUMÉRICO WAVEWATCH III EN EL GOLFO DE MÉXICO Y ANÁLISIS DE TENDENCIA DE LA POTENCIA DEL OLEAJE EN EL SUR DE TAMAULIPAS

Miqueas Abel Díaz Maya¹, Marco Ulloa¹ y Rodolfo Silva²

¹ CICATA-ALTAMIRA, Instituto Politécnico Nacional, abeldiaz19@gmail.com, mulloat@ipn.mx

² Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería, rsilvac@iingen.unam.mx

La energía marina renovable que genera el oleaje puede ayudar a satisfacer las necesidades energéticas actuales y futuras de las costas mexicanas, sin embargo, es necesario caracterizar el recurso a largo plazo para conocer su disponibilidad, así como su variabilidad en espacio y tiempo. La simulación numérica del oleaje permite conocer dichas variaciones, así como identificar sitios clave para la posible instalación de Convertidores de Energía del Oleaje en el Golfo de México (GM) (Felix et al., 2018; Haces-Fernández et al., 2018).

El objetivo del trabajo es implementar y validar el modelo espectral de oleaje de tercera generación WAVEWATCH III (WWIII) GM (Figura 1) forzado con viento de ERA5 en el intervalo 1990-2019. Adicionalmente, en un sitio de interés en las aguas profundas del sur de Tamaulipas, detectar cambios en la tendencia de la potencia del oleaje utilizando una versión secuencial del método de Mann-Kendall (MK) (Chatterjee et al., 2014). La prueba estadística no paramétrica MK se utiliza para detectar cambios abruptos de variables hidrometeorológicas en series de tiempo de largo plazo, es decir, si las variables de interés muestran estadísticamente una tendencia monótona hacia arriba (al alza) o hacia abajo (a la baja) con respecto al tiempo.

El modelo WWIII se implementó en una estación de trabajo de alto desempeño, se ejecutó en una malla con resolución espacial de $0.1875^\circ \times 0.1875^\circ$ y resolución temporal de 1 h. La validación se llevó a cabo comparando la altura significativa, el periodo dominante y la dirección del oleaje, con los datos correspondientes de las boyas de la NDBC 42055, 42001 y 42002 (Figura 1), así como los satélites Jason-2, Cryosat-2 y SARAL.

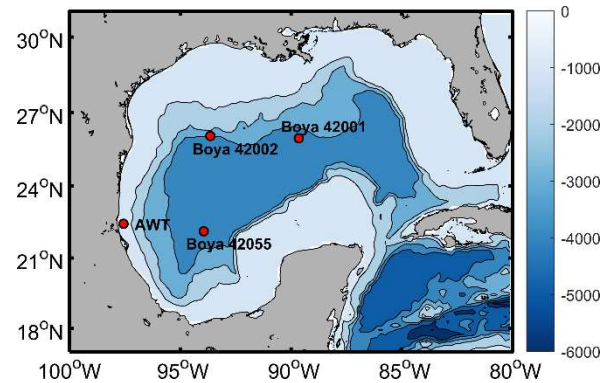


Figura 1. Batimetría del Golfo de México.

La potencia del oleaje del modelo se calculó con la aproximación en aguas profundas de la teoría lineal. El método MK se aplicó en la estación AWT (Figura 1) para detectar cambios en la tendencia de la potencia a largo plazo. Dada la serie de tiempo de la potencia del oleaje X , promediada mensualmente, con n muestras y valores denotados como x , se construyó la columna ordenada cronológicamente S_k como:

$$S_k = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^i r_{ij} \quad (1)$$

$$r_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si } x_i > x_j, j = 1, 2, \dots, i \\ 0, & \text{si } x_i \leq x_j, j = 1, 2, \dots, i \end{cases} \quad (2)$$

En (1), S_k representa el valor acumulativo cuando X , en el momento i , es más grande que en el momento j , donde r_{ij} es una matriz comparativa. El método MK asume que X está distribuida aleatoria e independientemente de acuerdo al parámetro:

$$UF_k = \frac{S_k - E(S_k)}{\sqrt{Var(S_k)}} \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

Cuando $X: x_1, x_2 \dots x_n$ son independientes una a la otra y tienen la misma distribución continua, la media $E(S_k)$ y la varianza $Var(S_k)$ son dadas por:

$$E(S_k) = \frac{n(n+1)}{4} \quad (4)$$

$$Var(S_k) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \quad (5)$$

La serie de tiempo X ordenada de manera inversa se define como:

$$UB_k = -UF_k \quad k = n, n-1, \dots, 1 \quad (6)$$

Si $UF_k > 0$, dentro del intervalo de confianza, la tendencia es al alza, mientras que si $UF_k < 0$, la tendencia es a la baja. Cuando UF_k y UB_k exceden el intervalo de confianza, la tendencia al alza o a la baja es significativa. Si UF_k y UB_k presentan puntos de intersección dentro del intervalo de confianza, dichos puntos indican cambios de tendencia, pudiéndose identificar el año de inicio del cambio. Si no hay tendencia, las curvas de UF_k y UB_k se superponen varias veces.

Los coeficientes de correlación promedio (CC) para la validación del modelo con las boyas fueron 0.94 (altura significativa), 0.75 (periodo dominante) y 0.67 (dirección). Los intervalos correspondientes de la raíz cuadrática media para las boyas fueron, 0.16 – 0.28 m, 0.75 – 1.12 s y 47.38 – 64.05°. Se encontró un CC de 0.94 para la altura significativa validada con los datos de altimetría de los satélites Jason-2, Cryosat-2 y Saral en su trayectoria por aguas profundas del GM. Por lo tanto, el modelo simuló adecuadamente las variables del oleaje en el GM.

La potencia promedio en el sitio AWT durante 30 años fue 4.5 ± 2 kW/m, con un intervalo de valores entre 1 y 12 kW/m (Figura 2). El valor máximo se observó en octubre de 1995. La potencia promedio se ha mantenido desde 1990.

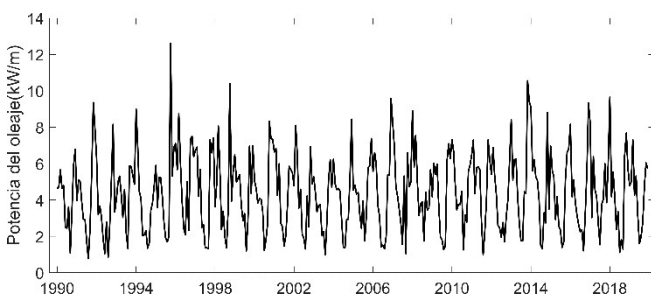


Figura 2. Potencia mensual promedio en el sitio AWAC Tamaulipas.

La Figura 3 muestra valores de $UF_k > 0$ dentro de los intervalos de confianza en 1996-2004 y 2014-2018, indicando que la potencia del oleaje presentó una tendencia al alza. En 2019, se observó una tendencia significativa a la baja, sin embargo, no se mantuvo por mucho tiempo.

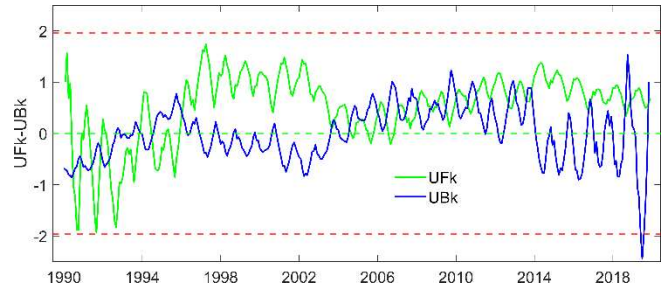


Figura 3. Tendencia de largo plazo de la prueba MK sobre la potencia del oleaje. La línea punteada indica el intervalo de confianza (± 1.96).

Se identificaron 33 puntos de intersección entre UF_k y UB_k (Figura 3). Un punto de particular interés ocurrió entre 1995-1996, indicando el inicio de la tendencia al alza pues coincide con la potencia máxima (12 kW/m) observada en la Figura 2. En general, la tendencia hacia arriba de la potencia en el sitio AWT no es significativa entre 1990 y 2019.

Referencias

- Félix, A., Mendoza, E., Chávez, V., Silva, R. y Rivillas-Ospina, G. (2018). Wave and wind energy potential including extreme events: a case study of Mexico. *Journal of Coastal Research*, 85: 1336-1340.
- Haces-Fernández, F., Li, H. y Ramírez, D. (2018). Wave energy characterization and assessment in the U.S. Gulf of Mexico, East and West Coast with Energy Event concept. *Renewable Energy*, 123: 312-322.
- Chatterjee, S., Bisai, D. y Khan, A. (2014). Detection of Approximate Potential Trend Turning Points in Temperature Time Series (1941-2010) for Asansol Weather Observation Station, West Bengal, India. *Atmospheric and Climate Sciences*, 4: 64-69.



1er Congreso Internacional
CEMIE-Océano



