

Desarrollo de un hindcast híbrido de oleaje espectral para el atolón de Majuro (República de Las Islas Marshall)

Autora: Alba Ricondo Cueva

Directores: Fernando J. Méndez Incera, Laura Cagigal Gil

Convocatoria: octubre 2019

RESUMEN

En pequeñas islas del Pacífico, donde la mayor parte de la superficie emergida apenas supera los 3 m de altitud, es esencial disponer de un hindcast de oleaje preciso que permita reducir su susceptibilidad a la inundación y mejore la adaptación al cambio climático. El objetivo de este trabajo es desarrollar una metodología que permita transferir la información del oleaje espectral de profundidades indefinidas a costa para el atolón de Majuro (República de las Islas Marshall). La metodología combina la creación de un input basado en la agregación de los sistemas de oleaje que llegan a Majuro, técnicas de selección y clasificación MDA (algoritmo de máxima disimilitud), downscaling dinámico con el modelo numérico SWAN y reconstrucción de las series en un punto cercano a costa mediante la técnica de interpolación RBF (Funciones de base radial).

La información del oleaje espectral proviene del hindcast de CSIRO de 40 años de datos 1979-2019 en el que se usó el modelo de oleaje WaveWatch III sobre una malla global de $0.4 \times 0.4^\circ$ con una serie de mallas anidadas en las regiones del Pacífico Occidental y Australia. Todas las mallas fueron forzadas con vientos CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) horarios y de resolución espacial 0.3° .

La batimetría de la zona de estudio se ha obtenido a partir de la malla global GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans), una malla con cobertura global en una cuadrícula de 15 arcosegundos de resolución. Los 450 m de resolución de la malla no son capaces de incluir los procesos de transformación del oleaje, por lo que se anida una segunda batimetría de mayor resolución para dicha zona. Esta segunda batimetría se ha obtenido a partir del modelo digital de elevación topo batimétrico de 5 m de resolución desarrollada por el USGS (United States Geological Survey).

La definición del input se realiza a partir de las particiones del espectro direccional completo, diferenciando entre sea y diferentes swells por el método watershed (Hanson and Phillips, 2001) y parametrizando cada sistema en sus variables representativas. Para el caso de mar de viento se obtendrán los siguientes parámetros: Altura de ola significativa (H_s), periodo pico (T_p), dirección media (θ_m), dispersión direccional (σ), el parámetro γ de Jonswap obtenido mediante la relación entre periodo pico y periodo medio y las variables asociadas a la velocidad y dirección del viento (W_{spd} , W_{dir}). En el caso de mar de fondo o swells, los parámetros serán los mismos a excepción de las variables asociadas al viento. De forma paralela, y para su comparación con el caso del uso de particiones, la metodología se aplicará además para un input basado únicamente en los parámetros agregados del espectro (H_s , T_p , θ_m).

Previo a la clasificación MDA, se ha realizado un análisis de sensibilidad del periodo de pico T_p , dispersión angular σ , gamma de Jonswap γ y nivel del mar, observando el aumento significativo de la altura de ola propagada cuando aumenta el nivel del mar o se reduce el periodo de pico.

Modificando la forma del espectro hacia un espectro tipo swell disminuyendo la dispersión angular o aumentando el gamma de Jonswap también se aumenta la altura de ola al concentrar la energía en menos frecuencias.

El alto coste computacional que supondría propagar las distintas particiones a lo largo de un periodo de 40 años hace necesario emplear herramientas estadísticas que permitan reducir el conjunto de datos a un número de casos representativos para realizar un downscaling híbrido. Se emplea para ello el algoritmo MDA para la selección de un subconjunto de 500 casos en cada conjunto de datos (parámetros agregados, seas y swells). Los casos previamente seleccionados se propagan con el modelo numérico de tercera generación SWAN. Para conocer la propagación de los restantes casos se usan una técnica de interpolación no lineal basada en RBF.

Por último, la validación de las series reconstruidas frente a datos de boya muestra la capacidad del downscaling híbrido para mejorar el conocimiento del clima marítimo en pequeñas islas. A partir de los datos de una boya situada al este del atolón se ha podido comparar el resultado de la altura de ola significativa reconstruida mediante las particiones del espectro y mediante parámetros agregados. Los parámetros agregados no son capaces de recoger toda la energía del espectro al estar ésta influenciada por los vientos del este que encuentran en su propagación el atolón de Arno al este de Majuro. El método de las particiones, por el contrario, proporciona una validación satisfactoria de la altura de ola significativa, recogiendo con mayor exactitud la energía de todas las direcciones de las familias de oleaje que llegan a Majuro.

Palabras clave: Hindcast, Downscaling híbrido, Particiones espectrales, Espectro direccional, Sistemas de oleaje espectrales, Clima marítimo, Mar de viento, Mar de fondo

Referencias

- Booij, N, R. C. Rics, L. H. Holthuisjensen. A third-generation wave model for coastal regions: 1. Modelo description and validation (1999)
- Camus, P., Mendez, F. J., Medina, R., & Co, A. S. (2011). Analysis of clustering and selection algorithms for the study of multivariate wave climate, 58, 453–462. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2011.02.003>
- Ford, M., Merrifield, M. A., Becker, J. M., & Ford, M. (2018). Inundation of a low - lying urban atoll island : Majuro , Marshall Islands. *Natural Hazards*. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3183-5>
- Hasselmann, K., Barnett T.P., Bows, E., Carlos, H., Cartwright, D.E., Enke, K., Ewing, J.A., Gienapp, H. Hasselmann, D.E., Kruseman, P., Meerburg, A., Müller, P., Olbers, D.J., Richter, K., Dell, W., Walden, H. Measurements of Wind-Wave Growth and Swell Decay during the Joint Nort Sea Wave Project (JONSWAP) 1973
- Hanson, J. L., & Philips, O. M. (2001). Automated Analysis of Ocean Surface Directional Wave Spectra, 277–294.
- Hoeke, R. K., Mcinnes, K. L., Kruger, J. C., Mcnaught, R. J., Hunter, J. R., & Smithers, S. G. (2013). Widespread inundation of Paci fi c islands triggered by. *Global and Planetary Change*, 108, 128–138. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.06.006>
- Portilla, J (2012). Storm-Source-Locating Algorithm Based on the Dispersive Nature of Ocean Swells., Vol 4 No 1. Pags C22-C36
- Portilla-yandún, J., Cavaleri, L., Ph, G., & Vledder, V. (2015). Ocean Surface Waves Wave spectra partitioning and long term statistical distribution, 96, 148–160. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2015.06.008>

On the development of a hybrid spectral wave hindcast for Majuro Atoll (Republic of Marshall Islands)

Author: Alba Ricondo Cueva

Directors: Fernando J. Méndez Incera, Laura Cagigal Gil

Call: October 2019

ABSTRACT

In small Pacific islands, where most of the surface area is just over 3 m above sea level, it is essential to have an accurate wave hindcast to reduce susceptibility to flooding and improve adaptation to climate change. The aim of this work is to develop a methodology to transfer spectral wave information from deep water to the coast for Majuro Atoll (Marshall Islands Republics). The methodology combines the creation of an input based on the aggregation of the wave systems arriving at Majuro, MDA (maximum dissimilarity algorithm) selection and classification techniques, dynamic downscaling with the SWAN numerical model and reconstruction of the series at a particular point close to the coast using the RBF (radial base functions) interpolation technique.

The spectral wave information comes from the 40 year hindcast (1979-2019) of CSIRO, in which the WaveWatch III wave model was used on a $0.4 \times 0.4^\circ$ global mesh with a series of nested meshes in the Western Pacific and Australian regions. All the meshes were forced with CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) hourly winds with 0.3° of spatial resolution.

The bathymetry of the study area has been obtained from the global mesh GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans), a mesh with global coverage in a grid of 15 arcseconds of resolution. The 450 m resolution of the mesh is not capable of including the processes of wave transformation, so a second bathymetry of higher resolution is nested for this area. This second bathymetry has been obtained from the digital model of topo-bathymetric elevation of 5 m of resolution developed by the USGS (United States Geological Survey).

The definition of the input is made from the partitions of the full directional spectrum, differentiating between sea and different swells by the watershed method (Hanson and Philips, 2001) and parameterizing each system in its representative variables. In the case of wind sea, the following parameters will be obtained: Significant wave height (H_s), peak period (T_p), mean direction (θ_m), directional dispersion (σ), the Jonswap parameter (γ) obtained through the relationship between peak period and mean period and the variables associated with wind speed and direction (W_{spd} , W_{dir}). In the case of swells, the parameters will be the same except for the variables associated with the wind. In parallel, and for comparison with the case of the use of partitions, the methodology will also be applied for an input based only on the aggregated parameters of the spectrum (H_s , T_p , θ_m).

Prior to the MDA classification, a sensitivity analysis of the peak period T_p , angular dispersion σ , Jonswap gamma (γ) and sea level has been performed, observing the significant increase in the propagated wave height when sea level rises or the peak period falls. Modifying the shape of

the spectrum towards a swell spectrum by decreasing the angular dispersion or increasing the Jonswap gamma also increases the wave height by concentrating the energy in fewer frequencies.

The high computational cost of propagating the different partitions over a period of 40 years requires statistical tools to reduce the data set to a representative number of cases to perform hybrid downscaling. The MDA algorithm is used to select a subset of 500 cases in each data set (aggregated parameters, seas and swells). The previously selected cases are propagated with the third generation SWAN numerical model. In order to know the propagation of the remaining cases, a non-linear interpolation technique based on RBF is used.

Finally, the validation of the reconstructed series against buoy data shows the ability of hybrid downscaling to improve knowledge of the maritime climate on small islands. From the data of a buoy located east of the atoll, it has been possible to compare the result of significant wave height reconstructed using spectrum partitions and aggregated parameters. The aggregated parameters are not able to collect all the energy of the spectrum because it is influenced by the east winds that find in its propagation the atoll of Arno east of Majuro. The partition method, on the contrary, provides a satisfactory validation of the significant wave height, collecting more accurately the energy from all directions of the families of waves that arrive at Majuro.

Keywords: Hindcast, hybrid downscaling, Spectral partitioning, Directional wave spectra, Spectral wave systems, Spectral wave climate, Wind sea, Swell

References

- Booij, N, R. C. Rics, L. H. Holthusijsen. A third-generation wave model for coastal regions: 1. Modelo description and validation (1999)
- Camus, P., Mendez, F. J., Medina, R., & Co, A. S. (2011). Analysis of clustering and selection algorithms for the study of multivariate wave climate, 58, 453–462. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2011.02.003>
- Ford, M., Merrifield, M. A., Becker, J. M., & Ford, M. (2018). Inundation of a low - lying urban atoll island : Majuro , Marshall Islands. *Natural Hazards*. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3183-5>
- Hasselmann, K., Barnett T.P., Bows, E., Carlos, H., Cartwright, D.E., Enke, K., Ewing, J.A., Gienapp, H. Hasselmann, D.E., Kruseman, P., Meerburg, A., Müller, P., Olbers, D.J., Richter, K., Dell, W., Walden, H. Measurements of Wind-Wave Growth and Swell Decay during the Joint Nort Sea Wave Project (JONSWAP) 1973
- Hanson, J. L., & Philips, O. M. (2001). Automated Analysis of Ocean Surface Directional Wave Spectra, 277–294.
- Hoeke, R. K., Mcinnes, K. L., Kruger, J. C., Mcnaught, R. J., Hunter, J. R., & Smithers, S. G. (2013). Widespread inundation of Paci fi c islands triggered by. *Global and Planetary Change*, 108, 128–138. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.06.006>
- Portilla, J (2012). Storm-Source-Locating Algorithm Based on the Dispersive Nature of Ocean Swells., Vol 4 No 1. Pags C22-C36
- Portilla-yandún, J., Cavaleri, L., Ph, G., & Vledder, V. (2015). Ocean Surface Waves Wave spectra partitioning and long term statistical distribution, 96, 148–160. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2015.06.008>