



EL USO DE EVENTOS SINTÉTICOS EN LA INGENIERÍA CIVIL DEL FUTURO

CHRISTIAN M. APPENDINI

Para que una obra de ingeniería civil sea exitosa hay que determinar los parámetros de diseño, para ello, es necesario contar con una importante recopilación de información. En México, es muy difícil disponer de datos que permitan sustentar una estructura marítima, ya que, por un lado, no siempre existen programas nacionales de registro y, por otro, los eventos que se deben considerar son de muy baja ocurrencia. Este es el caso de los huracanes y los tsunamis, que actualmente estudiamos en el Laboratorio de Ingeniería y Procesos Costeros (LIPC).

En México los huracanes afectan desde dos zonas de generación, el Atlántico y el Pacífico Nororiental. Si bien existe información de huracanes en dichas zonas desde 1850 y 1949 respectivamente, la información de los huracanes es solamente precisa a partir de la era satelital (1970). Así, entre 1970 y 2016 tenemos solamente 102 eventos afectando territorio mexicano, de los cuales se cuenta con información más precisa sobre la trayectoria y la intensidad del viento. Esta cantidad de eventos no es suficiente para su caracterización estadística en una localidad. Para tener una idea de la frecuencia de estos eventos, en un radio de 100 km de Cancún (Quintana Roo) han ocurrido cuatro huracanes desde 1970, mientras que en Salina Cruz (Oaxaca) se ha presentado solamente un evento para el mismo periodo.

Con el fin de estimar los parámetros de diseño de una manera más garantizada y segura, el LIPC utiliza los eventos sintéticos de huracanes. Estos eventos son generados en base a la física de los ciclones tropicales utilizando la metodología de Emanuel *et al.* (2006, 2008). Esta metodología nos permite contar con un número alto de huracanes para una zona determinada y así realizar estadísticas robustas. En el LIPC, utilizamos los eventos sintéticos de huracán para determinar la climatología de oleaje y de marea de tormenta para los mares mexicanos (Meza-Padilla *et al.* 2015). Los eventos sintéticos de huracanes también se pueden utilizar para la generación de

mapas de riesgo por inundación, así como para determinar la intensidad de vientos, para el diseño de puentes, edificios, etc.; en el LIPC incluso los hemos utilizado para implementar sistemas de pronóstico de peligro por oleaje y marea de tormenta derivados de huracanes (Appendini *et al.* 2017b). Además, estos eventos nos permiten hacer proyecciones a futuro, ya que al basarse en la física de los ciclones tropicales, basta con utilizar las condiciones atmosféricas de los modelos de circulación global bajo escenarios de cambio climático para generar los eventos.

En el artículo de Appendini *et al.* (2017) presentamos la estimación de la altura de ola para el Golfo de México en el clima actual y para el clima futuro, encontrando que en aproximadamente 50 años el clima de oleaje podrá ser más intenso en varias zonas del Golfo de México. Esto es de gran relevancia cuando consideramos que actualmente se están explorando yacimientos de hidrocarburos en aguas profundas del Golfo de México, como es la zona del Cinturón Plegado Perdido. Si pensamos que se encontrará petróleo en estas zonas en los próximos cinco años, posiblemente se estarán construyendo las plataformas para su explotación entre 10 a 15 años, y éstas estarán operando para 2035, con una vida útil hasta 2070. A partir de 2070 podemos esperar que a consecuencia del cambio climático se presenten alturas de ola para un periodo de diseño de hasta 5 m mayor a las esperadas actualmente. Con el uso de eventos sintéticos podemos hacer un mejor diseño y reducir considerablemente las probabilidades de fallo de las plataformas.

Otro ejemplo de eventos sintéticos, analizado en el LIPC son los tsunamis. A pesar de que México se encuentra en una zona muy expuesta a estos fenómenos, debido a los sismos que se generan en las zonas de subducción, realmente se han experimentado muy pocos tsunamis. En el periodo de 1995 a la fecha únicamente se han registrado valores del nivel del mar

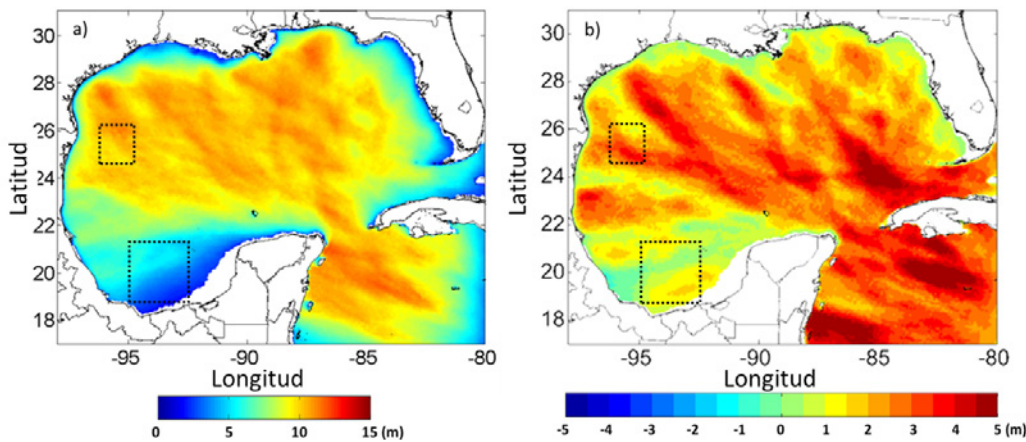


Figura 1. a) Altura de ola de diseño para un periodo de retorno de 100 años con base en el clima actual (1980-2010) y b) incremento en la altura de ola de diseño en el clima futuro (2070-2100). Los recuadros muestran las zonas de exploración en aguas profundas, el Cinturón Plegado Periodo en la parte noreste del Golfo de México y la Cuenca Salina en la parte sur.

para dos tsunamis: uno el 9 de octubre de 1995 y otro el que generó el temblor del 19 de septiembre de 2017, este último con una amplitud muy baja. Esta información es insuficiente para establecer mapas de riesgos o para determinar parámetros de diseño por tsunami en costas Mexicanas.

Sin embargo, a pesar de que la ocurrencia de los tsunamis no es frecuente debemos estudiarlos, incluso simulando escenarios extremos que pudieran presentarse por muy insólito que parezca. Un ejemplo es el caso de un tsunami al momento de entrada de un ciclón tropical simulado por Appendini *et al.* (2015). Apparentemente esta simulación parecía ser sólo un capricho de modelación, pero un caso así sucedió en 1932 en Cuyutlán (Manzanillo), que de acuerdo a diarios locales se presentó a la llegada de un ciclón tropical. ¿Es entonces relevante esta modelación? La respuesta a esta pregunta se debe ponderar considerando las necesidades de un proyecto específico, pero es fundamental contar con la capacidad técnica para estudiarlo, en caso de estimarlo conveniente. Gracias a los eventos sintéticos de sismos, podemos modelar los tsunamis y establecer cómo éstos llegarán a la zona costera. En este tema queda mucho trabajo por desarrollar en colaboración entre ingenieros, geofísicos y oceanógrafos, que permita generar los eventos sintéticos que cumplan los objetivos de los proyectos, ya sea diseño estructural, diseño funcional, mapas de riesgo, etc.

En efecto, el uso de eventos sintéticos en la ingeniería nos permite evaluar escenarios hipotéticos en base a la física de los procesos, para así poder determinar parámetros de diseño u otras necesidades en proyectos. Las aplicaciones que aquí describimos son sólo algunas de las que hemos implementado en el LIPC, sin embargo, existe un gran abanico

de oportunidades para generar información sólida que permita un mejor desarrollo para aquellos proyectos en los que los fenómenos naturales de baja ocurrencia son un factor determinante.

Referencias

- Appendini C. M.; Meza-Padilla R.; Avendaño F.; Patricio A. Catalán (2015). Interaction of tsunamis and tropical cyclones. Proc Coast Sediments 2015. doi: 10.1142/9789814689977_0186.
- Appendini C. M.; Pedrozo-Acuña A.; Meza-Padilla R.; *et al.* (2017a). On the Role of Climate Change on Wind Waves Generated by Tropical Cyclones in the Gulf of Mexico. Coast Eng J. doi: 10.1142/S0578563417400010.
- Appendini C. M.; Rosengaus M.; Meza-Padilla R.; Camacho-Magaña V. (2017b). Operational hazard assessment of waves and storm surges from tropical cyclones in Mexico. Bull Am Meteorol Soc. doi: 10.1175/BAMS-D-15-00170.1.
- Emanuel K.; Ravela S.; Vivant E.; Risi C. (2006). A statistical deterministic approach to hurricane risk assessment. Bull Am Meteorol Soc 87:299-314. doi: 10.1175/BAMS-87-3-299.
- Emanuel K.; Sundararajan R.; Williams J. (2008). Hurricanes and Global Warming: Results from Downscaling IPCC AR4 Simulations. Bull Am Meteorol Soc 89:347-367. doi: 10.1175/BAMS-89-3-347.
- Meza-Padilla R.; Appendini C. M.; Pedrozo-Acuña A. (2015). Hurricane-induced waves and storm surge modeling for the Mexican coast. Ocean Dyn. doi: 10.1007/s10236-015-0861-7.