

EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN COSTERA ASOCIADO AL CAMBIO CLIMÁTICO EN ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

Violeta Z. Fernández Díaz, Rodolfo Silva Casarín, Edgar G. Mendoza Baldwin
y Román A. Canul Turriza

Coordinación de Hidráulica, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Escolar s/n,
Edificio 17, Ciudad Universitaria, CP 04510, Coyoacán, Ciudad de México, México.

Tel. +52(55)56233600 ext. 8633

E-mail: VFernandezD@iingen.unam.mx, RSilvaC@iingen.unam.mx, EMendozaB@iingen.unam.mx, RCanulT@iingen.unam.mx

Introducción

La población que vive en áreas costeras bajas o sobre planicies costeras situadas a escasos metros del nivel del mar, cada vez experimentan inundaciones con mayor frecuencia. En términos generales, estas inundaciones están asociadas a la construcción inadecuada de infraestructura y a la presencia de fenómenos de origen marino (oleaje, marea astronómica y de tormenta, tsunamis, Oscilación del Atlántico Norte, incremento del nivel del mar, etc.) (Nicholls, 2002).

El incremento del nivel medio del mar es uno de los asuntos más preocupantes y mayormente difundidos en el mundo sobre los impactos potencialmente adversos de la variabilidad y cambio climático, debido a que nos encontramos en un momento de cambio en la frecuencia, magnitud y duración de los fenómenos climáticos. Debido al crecimiento de la población, de las economías y de la urbanización, las zonas costeras han experimentado grandes cambios durante el siglo XX. En la medida en que persiste el rápido desarrollo de las costas, la sociedad es cada vez más vulnerable al aumento y variabilidad del mar, como evidenció el huracán Katrina en Nueva Orleans en 2005 (Nicholls, 2002; Nicholls et al., 2010 y UNDP¹, 2010).

La última estimación realizada por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) y presentada en su Quinto Informe de Evaluación (2014), argumenta que el nivel medio del mar a nivel global ha aumentado en 0.19 m en el periodo de 1901-2010, esto es 1.7 mm/año y que continuará incrementando durante el siglo XXI con rangos probables de 0.26-0.54 m (escenario optimista) y 0.45-0.81 m (escenario catastrófico) en el periodo 2081-2100.

El incremento del nivel medio del mar tiene una gran variedad de efectos sobre los procesos costeros. Además de elevar el nivel del océano, incrementa también todos los procesos costeros que operan en torno a él, como es la marea y el oleaje, incluyendo la altura de ola durante eventos extremos (periodo en el que el nivel del mar es superior al promedio). Los efectos inmediatos del aumento del nivel del mar, por lo tanto, incluyen inundación en las costas y el aumento en la frecuencia y la profundidad de éstas. Aunque se mantengan constantes la trayectoria, la frecuencia y la intensidad de las tormentas, el aumento del nivel del mar puede reducir el periodo de retorno de eventos extremos. A su vez, estos efectos inmediatos traen impactos sobre el medio físico, como es la erosión de playas, e impactos socioeconómicos potenciales directos e indirectos a las zonas costeras afectadas, como son la pérdida de infraestructura urbana y de comunicación situada en primera línea de costa, el aumento en la carga e impacto por parte del oleaje extremo sobre las estructuras de protección, efectos relacionados con el turismo, la agricultura y la acuicultura, suministro y calidad de agua dulce, pesquerías, servicios financieros y de salud, pérdida directa de valores económicos, culturales y de subsistencia a causa de la pérdida de tierras, infraestructura y hábitats costeros (Nicholls et al., 2007).

Es importante evaluar el papel que juega el incremento del nivel

del mar sobre las inundaciones en la zona costera, para identificar zonas propensas a inundación, evaluar la vulnerabilidad y tener un mayor entendimiento de las posibles implicaciones a la población, la infraestructura y el medio ambiente (Kuhn, et al., 2011); y de esta manera establecer estrategias de adaptación que tengan como base, mapas que muestre las zonas de riesgo (Córdova-López, 2001) y criterios y políticas de actuación basadas en estudios previos.

Ensenada es una ciudad portuaria desarrollada sobre planicies costeras, localizada dentro de la bahía de Todos Santos (BTS) a 110 km al sur de la frontera entre México y Estados Unidos, en el estado de Baja California (IMIP, 2010), en donde el uso sostenible de la infraestructura y los recursos naturales costeros para el desarrollo socioeconómico de la ciudad, dependen en gran medida de las actividades involucradas con la zona costera.

Por lo anterior, el presente trabajo propone una evaluación del riesgo de inundación en la zona costera de Ensenada, considerando escenarios de incremento del nivel del mar establecidos por el IPCC.

Descripción del área de estudio

La ciudad de Ensenada (31°40'-31°56'N y 116°36'-116°50'O) se ubica sobre la costa Noroeste de la Península de Baja California en la Bahía de Todos Santos (BTS) a 111 km al Sur de la frontera México-Estados Unidos. La ciudad originalmente se construyó sobre planicies costeras y aluviales en las cuales se asienta gran parte de la mancha urbana actual. La ciudad se divide en regiones, siendo la región norte la correspondiente a El Sauzal, la región central el primer cuadro de la ciudad y la región sur-suroeste el Valle de Maneadero, Ex-Ejido Chapultepec y los humedales del Estero de Punta Banda (Figura 1).

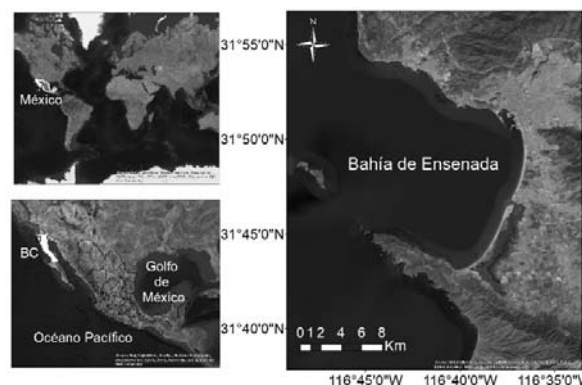


Figura 1.- Área de estudio.

En el ámbito socioeconómico se puede destacar que sobre la línea costera de El Sauzal, la ciudad posee infraestructura habitacional sobre la que se asienta parte de la población e infraestructura industrial que sirve para realizar actividades productivas de las que depende la economía local y también influyen la economía regional. La bahía cuenta con dos

puertos, el de Ensenada y El Sauzal que forman parte del Sistema Portuario Nacional y son impulsores para el desarrollo de diversas actividades industriales, comerciales, pesqueras y turísticas. (API Ensenada, 2017). En el ámbito físico/ambiental una zona importante de la ciudad es El Estero de Punta Banda, una laguna costera situada a lo largo del margen sureste de la bahía que se caracteriza por tener un canal en forma de "L" y se separa del mar por una barra arenosa que se extiende desde Punta Banda hacia el noroeste con más de 7 km de longitud, en donde se localiza un Área Natural Protegida y varios asentamientos residenciales (IMIP, 2010).

Metodología y Resultados

Establecer el clima de las olas es muy relevante para ampliar el conocimiento actual sobre las condiciones de las olas que afectan principalmente al medio ambiente y las actividades humanas cerca de la costa. La determinación del clima de oleaje proporciona información sobre el rango de condiciones para las que se pueden presentar los riesgos asociados (por ejemplo, efecto de tormenta, inundación en la costa, cambios topográficos). La distribución de la altura de las olas, el período y la dirección de las olas corresponde a la descripción del clima de las olas.

La evaluación y caracterización del clima de oleaje se llevó a cabo utilizando los datos de clima de ola del modelo numérico WAVEWATCH III (WWIII) (Tolman, 1997), modelo de tercera generación desarrollado por la NOAA/NCEP (Wamdig, 1988, Komen et al., 1994) capaz de resolver la ecuación de conservación del espectro de densidad de onda. Los datos del clima de ola en aguas profundas (altura de ola significativa H_s , dirección de propagación pico D_p y período pico T_p) y viento fueron extraídos del nodo localizado en la coordenada 117.066427°W y 31.800084°N correspondiente a la malla de datos del WWIII para la región del Pacífico, para el período comprendido entre el 01 de abril de 2005 al 31 de julio de 2015.

Se obtuvieron las condiciones extremas anuales para los datos de oleaje y viento asociadas a un período de retorno utilizando el software CAROL V1.0 desarrollado por el Instituto de Hidráulica de Cantabria y códigos desarrollados en Matlab (Figura 2). Además se obtuvieron los valores de marea de tormenta con base en los datos de viento y utilizando las curvas de elevación del nivel del mar generadas por el Instituto de Ingeniería a través modelo numérico MATO (Posada, 2007).

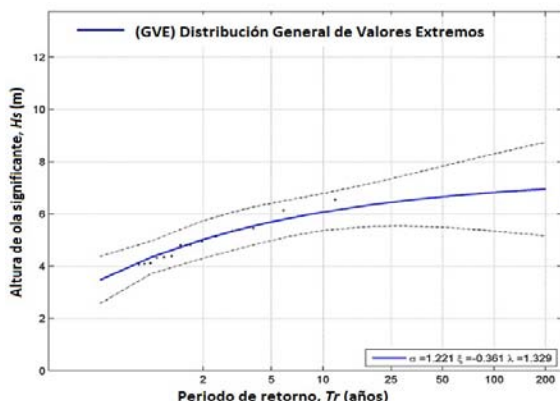


Figura 2.- Análisis extremo por el método excedencias sobre un umbral de H_s asociados a períodos de retorno

Los datos de clima de ola en condiciones extremas asociados a un período de retorno y marea de tormenta, sirvieron de entrada para alimentar el modelo numérico Mike Zero desarrollado por el Instituto de Hidráulica Danés (DHI por sus siglas en inglés). El modelo numérico Mike Zero es una herramienta muy útil y

eficiente para simular inundaciones costeras, sobre una malla de la zona de estudio, basadas en escenarios de incremento propuestos por el IPCC.

Para conocer las zonas sujetas a inundación debido a la variación del nivel del mar asociado a eventos extremos, se generaron las condiciones de frontera en los módulos hidrodinámico y de oleaje dentro del modelo numérico Mike21/3 acoplado de malla flexible ((Figura 3) las cuales fueron simuladas posteriormente en MikeZero para establecer los escenarios de incremento del nivel del mar con base en el IPCC. Los escenarios de incremento se eligieron con base en los escenarios establecidos por Cayan et al., (2007) para la costa de California, Estados Unidos. Los mapas de inundación se generaron utilizando técnicas SIG.

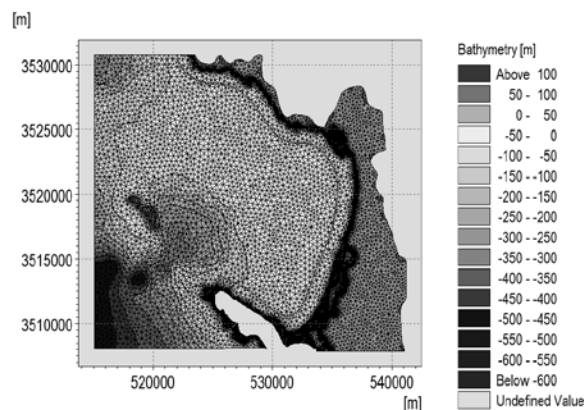


Figura 3.- Malla de simulación sobre topografía de la zona de estudio. La línea de costa se marca en negro por resolución de la malla.

Referencias bibliográficas

- Nicholls, R. J. (2010). Impacts and Responses to Sea-Level Rise. En: Understanding Sea-Level Rise and Variability. Oxford: Wiley-Blackwell. 17-43.
- Córdova-López, L. (2001). El incremento del nivel medio del mar. Causas y efectos sobre el hombre y el medio ambiente. Ingeniería hidráulica y ambiental. Vol. XXII, No. 3. 27-34.
- Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ensenada (IMIP) (2009). Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Ensenada 2030. Diario Oficial del Estado de Baja California. 117. Mexicali, Baja California, México.
- Komen, G. J., L. Cavaleri, M. Donelan, K. Hasselmann, S., P. A. E. M. Janssen. (1994). Dynamics and Modelling of Ocean Waves. Cambridge University Press, 532 pp.
- Kuhn, M., Tuladhar, D., Corner, R. (2011). Visualizing the spatial extent of predicted coastal zone inundation due to sea level rise in South West Western Australia. *Ocean & Coastal Management* 54:796-806.
- Nicholls, R. J. (2002). Analysis of global impacts of sea-level rise: a case study of flooding. *Physics and Chemistry of the Earth*. Vol. 27, 1455-1466.
- Nicholls, R. J., Wong, P.P., Burkett, V.R., Codignotto, J.O., Hay, J.E., McLean, R.F., Ragoonaden, S., Woodroffe, C. (2007). Coastal systems and low-lying areas. Cambridge University Press. 315-356.
- Nicholls, R. J. (2010). Impacts and Responses to Sea-Level Rise. En: Understanding Sea-Level Rise and Variability. Oxford: Wiley-Blackwell. 17-43.
- Posada, G. (2007). Modelo numérico hidrodinámico tridimensional para la predicción de la evolución de una descarga de una substancia conservativa de un emisor submarino. Tesis doctoral, UNAM, México.
- Tolman, H. L. (1997). User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.15. NOAA/NWS/NCEP/OMB Technical Note 151, 97 pp.
- Wamdig. (1988): The WAM model – A third generation ocean wave prediction model. *Journal of Physical Oceanography*, 18, 1775-1810.