DETERMINACIÓN DE ÍNDICES DE VULNERABILIDAD COSTEROS. ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

Rubén Ernesto Hernández-Uribe, Edgar Mendoza, Rodolfo Silva-Casarín y Violeta Z. Fernández-Díaz

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: RHernandezU@iingen.unam.mx, EMendozaB@iingen.unam.mx, RSilvaC@iingen.unam.mx, VFernandezD@iingen.unam.mx

Introducción

En la actualidad, el crecimiento paulatino de las grandes ciudades hace que constantemente se modifique el uso del suelo. Una de las consecuencias del cambio de uso de suelo, si se hace sin ningún tipo de análisis o criterio ecológico, es el incremento en la vulnerabilidad de algunas zonas de las ciudades. Esta vulnerabilidad, ligada a la ocurrencia de fenómenos meteorológicos extremos, invariablemente tendría consecuencias catastróficas y daños económicos relacionados con inundaciones. Según datos de la UNESCO (2018), de los desastres naturales que se presentan en el mundo, el 50% corresponde a las inundaciones, estando por encima de las hambrunas, sequias y epidemias.

El riesgo por definición es función del peligro y de la vulnerabilidad. En este caso, el peligro está definido por la ocurrencia de cualquier fenómeno meteorológico generador de lluvias de gran intensidad. La vulnerabilidad es un parámetro más complejo de identificar y de representar con un valor. La evolución de las condiciones urbanas tanto habitacionales como de infraestructura, la variabilidad de los fenómenos meteorológicos, la política pública de los gobiernos en materia de planes y programas de mitigación, la falta de datos, entre otras causas; son el origen de la complejidad. Por ello, no resulta una tarea sencilla definir y agrupar todas las variables o de los factores que intervienen en situaciones potenciales de riesgo por inundación.

En el presente trabajo se hace énfasis en la importancia de aplicar una metodología de análisis de riesgo y vulnerabilidad por inundaciones, que integre la mayoría de los parámetros involucrados. La metodología que aquí se propone y aplica, se fundamenta en las dos grandes vertientes que hoy en día existen para determinar el riesgo por inundación, siendo estas la del enfoque determinista, fuertemente basado en la modelación numérica, y la del enfoque paramétrico donde se trata de homologar los factores que intervienen en la vulnerabilidad a través de índices adimensionales (Hernández-Uribe, 2017).

El enfoque principal es de tipo puntual y a escala local en el desbordamiento de los cauces en su desembocadura al mar.

Caso de estudio

La metodología se aplica a la zona costera de la Bahía de Ensenada, en el estado de Baja California, México. El municipio de Ensenada es el más extenso del país, ubicado en la región Noroeste de la nación, representa el 73% de superficie total del estado de Baja California. Se sitúa a 106 km de la frontera norte con Estados Unidos, enmarcado en las coordenadas 32°16′ a 28°00′de latitudes norte, y 112°47′ a 116°53′ longitudes oeste. Ver Figura 1.

La Bahía de Ensenada forma parte de la Región Administrativa No. I Península de Baja California y pertenece a la región hidrológica 1 B.C. Noroeste, de acuerdo a la normativa que establece la Comisión Nacional del Agua en México.

De acuerdo al Atlas de Riesgos Naturales de Ensenada

(SEDESOL, 2012), históricamente se han presentado inundaciones en algunos sus ríos que descargan a la Bahía. Durante tormentas extraordinarias los cauces presentan desbordamientos originando severos daños económicos y sociales.

Los cauces analizados son los siguientes:

- Ensenada
- El Gallo
- San Carlos (Maneadero)
- Las Animas

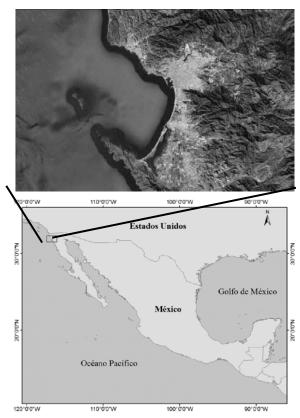


Figura 1.- Localización de la Bahía de Ensenada en México.

Las características morfológicas de las diferentes cuencas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1.- Características morfológicas de las cuencas de la Bahía de Ensenada.

Cuenca	Área [ha]	Long. Cauce[km]	Pendiente[%]	Tc [hr]
Ensenada	21,480	42.25	2.83	5.03
El Gallo	12,511	35,08	3.84	3.95
San Carlos	83,764	103,85	2.28	11.50
Las Animas	88,558	104.52	2.18	11.69

La morfología de las cuencas superficial obedece una pendiente de oriente a poniente, desde la Sierra de Baja California hasta la descarga a la Bahía.

Metodología y resultados

De acuerdo con el Manual para el Control de Inundaciones (CENAPRED, 2011), el período de retorno con el cual debe calcularse la avenida de diseño para una estructura de protección contra inundaciones es de entre 50 y 100 años para protección a poblaciones entre pequeñas y medianas, que es el caso de la población de Ensenada. Así, se adoptaron estos periodos de retorno para el análisis de las avenidas de diseño, que se calcularon mediante los métodos empíricos de Burklie-Ziegler, Mc Math y el Racional, y los métodos hidrológicos del Hidrograma Unitario Instantáneo (HUI), del Hidrograma Unitario Sintético (HUS) y del Hidrograma Unitario Triangular (HUT).

Las simulaciones numéricas para determinar zonas de inundación costera se realizaron con modelos 2D (IBER/HEC-RAS). Se consideraron tres escenarios para diferentes periodos de retorno, el primero con un Tr=2 años para calibrar el modelo, y los otros dos con condiciones extraordinarias de Tr=50 y 100 años. Por otro lado, la metodología para determinar la vulnerabilidad de la zona está fuertemente basada en la metodología propuesta por Balica (2012), donde componentes de origen social, económico, ambiental y físico se agrupan en índices de vulnerabilidad por inundación adimensionales, Ambos enfoques son complementarios y su aplicación simultánea permite reflejar una mayor certitud en la determinación de zonas en riesgo.

El principio de la metodología es generar un índice de vulnerabilidad costero IVC (Balica, 2012), para componentes antrópicos y físicos; además, en cada índice se consideran los tres conceptos fundamentales que definen a la vulnerabilidad: Exposición, Susceptibilidad y Resiliencia, a través de las siguientes expresiones:

$$IVC_{Antr\acute{o}pico} = \frac{P_{fa}, U_a, dis, C_m}{P_e, AP, C_{pr}, W_s, E_r, HDI'}$$
[1]

$$IVC_{Fisico} = \frac{U_g, R_{ainfall}, T, P_r}{\frac{E_v}{R_{ainfall}}, \frac{D_{sc}}{V_{vear}}, D_l},$$
 [2]

Donde, en el componente antrópico las variables corresponden a número de población, índice de desarrollo, % de área urbanizada, rutas de evacuación, etc. Por otro lado, el componente físico las variables son indicadores de uso de suelo, lluvias, áreas de inundación, nivel del mar, y caracterizaciones de la zona.

En la Figura 2 se muestran las cuencas estudiadas y numeradas del 1 – 4. En la parte izquierda de la figura se encuentran los puntos de modelación. Como se mencionó, los índices de vulnerabilidad corresponden a las zonas de descarga de los cauces principales de las cuencas en la Bahía de Ensenada. El Área definida para los IVC corresponde a las áreas de inundación obtenidas por las simulaciones numéricas.

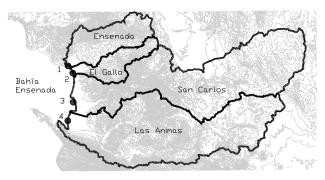


Figura 2.- Cuencas estudiadas y puntos de modelación en la descarga de los cauces principales en la Bahía de Ensenada.

Referencias bibliográficas

Balica, S. F., Popescu, I., Beevers, L., Wright, N. G. (2012). "Parametric and physically based modelling techniques for flood risk and vulnerability assessment: A comparison". *Journal of Environmental Modelling & Software*, Vol. 41, 84-92.

Balica, S. F., Wright, N. G., van de Meulen, F. (2012). "A Flood Vulnerability Index for Coastal Cities and Its Use in Assessing Climate Change Impacts" *Natural Hazards*, Vol. 64.

CENAPRED. (2011). *Manual para el control de inundaciones*. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

Hernández-Uribe, R. E., Barrios-Piña, H., & Ramírez, A. "Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac." *Tecnología y Ciencias del Agua* 8(3) (2017): 5-24.

SEDESOL (2012) "Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Ensenada 2012" Versión 30 de Marzo 2012.

UNESCO(2018).

http://webworld.unesco.org/water/wwap/facts_figures/gestionar_riesgos