

Estimación de daños económicos en zonas urbanas inundables, con base en el Área Geoestadística Básica para obtención del Daño Anual Esperado

Yolanda Solís Alvarado, Jaqueline Lafragua Contreras y Javier García Hernández

Resumen

En la actualidad, los estudios de cambio climático incluyen un fuerte componente de gestión de riesgo asociado a la adaptación, como respuesta al aumento de eventos hidrometeorológicos y climáticos cada vez más severos (IPCC, 2014). La estimación del riesgo, en términos de daños, resulta importante en la toma de decisiones cuando se presenta la cantidad total del Daño Anual Esperado (DAE) considerando más de un evento de inundación, lo que permite construir curvas daño-probabilidad de ocurrencia para una zona o región. El presente trabajo describe la obtención del DAE, expresado en unidades monetarias, a partir de la evaluación del daño económico estimado en zonas urbanas, contemplando la severidad del daño para cinco periodos de retorno.

La estimación de dicho costo para cada periodo de retorno se lleva a cabo a través del Atlas Nacional de Riesgo contra Inundación (ANRI-Batch_PC), el cual permite obtener el valor monetario con base en una altura de agua (tirante), un índice de marginación, la clasificación del tipo de vivienda, una curva-tipo de daños y el valor de salario mínimo.

Palabras clave: Daño Anual Esperado (DAE), inundación, Área Geoestadística Básica (AGEB).

Introducción

En 2012, el Centro Nacional para la Prevención de Desastres (Cenapred) publica, dentro del Sistema de Análisis y Visualización de Escenarios de Riesgo (SAVER), el módulo Atlas Nacional de Riesgo por Inundación en México (ANRI). Derivado del ANRI, el IMTA desarrolla en 2013 el Atlas Nacional de Riesgo por Inundación en México para Computadora Personal (ANRI_Batch-PC), con la variación de que hace procesamiento por lote (masivo), para con éste luego elaborar la estimación de daños en zonas habitacionales por evento inundación con base en las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) de cada una de las zonas piloto definidas por la Comisión Nacional del Agua (Conagua) para cada Región Hidrológica Administrativa. Los DAE obtenidos se encuentran publicados en la página web del Programa de Prevención contra Contingencias Hidráulicas (Pronacch), de la Comisión Nacional del Agua.

Metodología

El ANRI_Batch-PC evalúa daños económicos en una mancha de inundación, con base en las AGEB que, a su vez, cuentan con su respectivo Índice de Marginación Urbano (IMU), bajo el supuesto de que por cada celda (píxel) de una malla (archivo *raster*), se tiene un tirante de inundación con los siguientes insumos: polígono que delimita la zona de inundación (por ejemplo, zona piloto); el modelo digital de elevaciones (MDE INEGI para las zonas piloto y el modelo SRTM para zonas donde no hay tirantes calculados); las AGEB con su respectivo IMU que se vuelve un insumo necesario para aplicar las curvas; las curvas de daños (Baró-Suárez et ál., 2011) y los tirantes de la zona de inundación. En la figura 1 se muestra la metodología usada en 2013 y 2014 para evaluar el daño económico en zonas urbanas a través del ANRI_Batch-PC, la cual incluye los siguientes insumos.

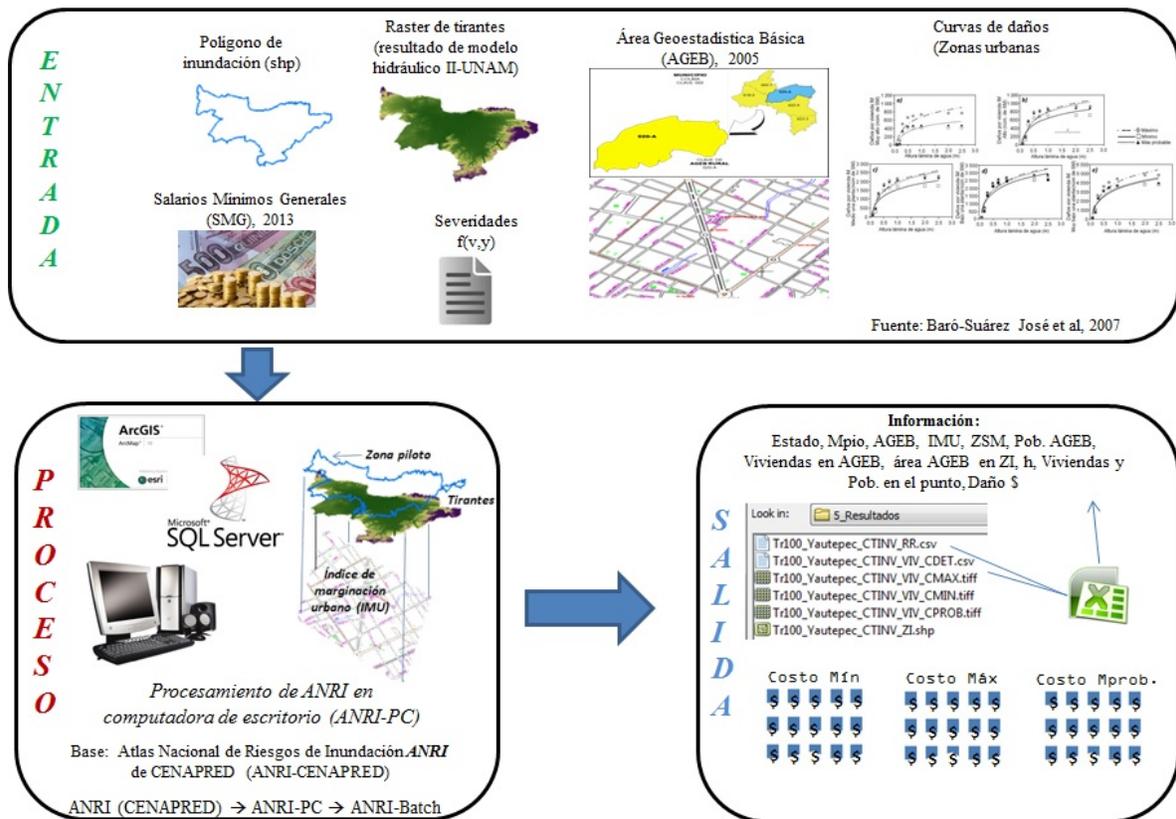


Figura 1. Metodología para evaluar el daño económico en zonas urbanas con ANRI_Batch-PC.

El polígono que delimita la zona de inundación (en formato *shape*, con proyección UTM de preferencia para zonas grandes, o bien, en Cónica Conforme de Lambert) que es el área donde se estimarán daños.

Las (AGEB) son el área geográfica que corresponde a la subdivisión de las Áreas Geoestadísticas Municipales (AGEM), y constituye la unidad básica del Marco Geoestadístico Nacional. Dependiendo de sus características, se clasifican en dos tipos: AGEB urbana o AGEB rural. El ANRI_Batch-PC usa las AGEB urbanas, de donde se obtiene básicamente el conjunto de IMU o IM existentes en la zona de inundación, por celda de *raster* de tirantes.

El *modelo digital de elevaciones*, que corresponde al continuo de elevaciones escala 1:50,000 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) con una resolución de 50 x 50 m, aproximadamente. Asimismo, el ANRI_Batch-PC tiene integrado el modelo SRTM (*Shuttle Radar Topography*) de cobertura mundial, recortado para cubrir la república mexicana, publicado por el Instituto de Tecnología de California; su resolución aproximada es 90 x 90 m y se usa en el modo procesamiento por lotes para calcular tirantes con el método de promedios móviles.

El *raster de tirantes de inundación*, que tiene un valor de profundidad de inundación por cada celda a evaluar y es resultado de modelación hidráulica. En caso de no existir el *raster* de tirantes, el ANRI_Batch-PC puede aplicar el algoritmo de promedios móviles para estimar tirantes de inundación.

Las *curvas de daños* para estimación de daños en viviendas fueron publicadas por Baró-Suárez et ál., quien calculó el valor del daño con base en el costo de cada bien, obteniendo así el valor en pesos de los daños económicos para cada altura de lámina de agua alcanzada y para cada una de las AGEB presentes en la zona de inundación.

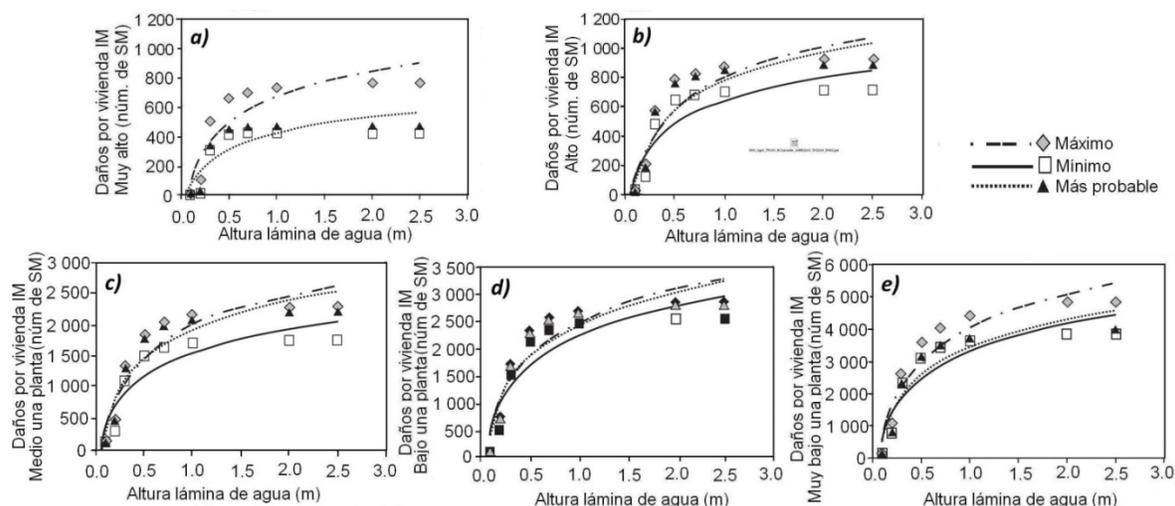


Figura 2. Curvas tipo de daños (máximo, mínimo y más probable) por inundación en zonas habitacionales, para una vivienda. AGEB correspondiente a un índice de marginación: a) Muy alto, b) Alto, c) Medio, d) Bajo y e) Muy bajo. SMG de 2009. Fuente: Adaptado de Baró-Suárez 2011.

Estos daños totales son convertidos en número de salarios mínimos. El monto obtenido se divide por el número de viviendas habitadas en cada una de las AGEB, y así se obtiene el valor de los daños para una vivienda. Se consideran tres tipos de menaje que corresponden a los contenidos en las viviendas, de acuerdo con la tipificación del menaje para viviendas Tipo I, Tipo II y Tipo III. El ANRI-PC maneja cinco de las ocho curvas publicadas por Baró-Suárez y corresponden a IMU: Muy alto, Alto, Medio, Bajo y Muy bajo.

En la tabla 1 se observan las ecuaciones generadas por Baró-Suárez et ál., para cada uno de los cinco índices de marginación implementados en el ANRI-PC.

Tabla 1. Ecuaciones obtenidas de las curvas de daños potenciales directos en zonas habitacionales. Fuente: Baró-Suárez, 2011.

Índice de marginación	Ecuación
Muy Alto	DDHmáx=247.63 Ln(h) + 668.44 DDHmín=141.36 Ln(h) + 382.45 DDHmp=156.92 Ln(h) + 424.33
Alto	DDHmáx=289.63 Ln(h) + 801.56 DDHmín=228.58 Ln(h) + 637.93 DDHmp=280.51 Ln(h) + 777.60
Medio	DDHmáx=709.63 Ln(h) + 1976.04 DDHmín=544.93 Ln(h) + 1546.60 DDHmp=685.51 Ln(h) + 1913.15
Bajo	DDHmáx=877.28 Ln(h) + 2479.23 DDHmín=797.24 Ln(h) + 2233.19 DDHmp=865.56 Ln(h) + 2443.20
Muy Bajo	DDHmáx=1521.80 Ln(h) + 4051.63 DDHmín=1210.14 Ln(h) + 3321.20 DDHmp=1255.78 Ln(h) + 3428.17

En resumen, para cada Índice de Marginación se tienen tres curvas de daños potenciales directos: DDHmáx, DDHmín y DDHmp en zonas habitacionales para calcular el costo mínimo, máximo y más probable; dichas curvas son del tipo:

$$a*\ln(h)+b \quad (1)$$

donde,

h es el valor de lámina de agua; *a* y *b* dependen del índice de marginación (para costo mínimo, máximo y más probable).

<i>IMU</i>	<i>a</i>	<i>h</i>	<i>b</i>
A	DDHmáx = 289.63 Ln(h) + 801.56		DDHmáx = 289.63 Ln (0.30) + 801.56 = 453 núm. SMG/vivienda * SMG
L	DDHmín = 228.58 Ln(h) + 637.93		DDHmín = 228.58 Ln (0.30) + 637.93 = 363 núm. SMG/vivienda * SMG
T			
O	DDHmp = 280.51 Ln(h) + 777.60		DDHmp = 280.51 Ln (0.30) + 777.60 = 440 núm. SMG/vivienda * SMG

DDHmáx: daños directos en zona habitacional. Costo máximo.
DDHmín: daños directos en zona habitacional. Costo mínimo.
DDHmp: daños directos en zona habitacional. Costo más probable.
h: altura de lámina de agua.

Figura 3: Ejemplo de la aplicación de las curva de daños máximo, mínimo y más probable, tomadas de la tabla 1.

Metodología para estimar el DAE en viviendas, en zona de inundación

Una vez estimado el daño por celda para la zona de inundación y para los periodos de retorno de los que se tenga información, se procede a calcular el DAE. Se ha establecido que la evaluación del riesgo sigue principalmente una perspectiva de evaluación económica. Usando esta idea del riesgo para estimar el DAE por inundación, se tiene que el DAE se calcula con la integración del área bajo la curva que se forma al graficar la probabilidad de ocurrencia del daño respecto del monto económico de daños (figura 4), mediante la fórmula (Meyer et ál, 2012):

$$\bar{d} = \sum_{i=1}^k D[i] \times \Delta P_i \quad \bar{d} = \text{Daño Anual Esperado} \quad (2)$$

Donde

$$D[i] = \frac{D(P_{i-1}) + D(P_i)}{2} \quad D[i] = \text{media del daño de dos eventos de daño } D[P_{1-i}] \text{ y } D[P_i]$$

$$\Delta P_i = |P_i - P_{i-1}|$$

ΔP_i = intervalo de probabilidad entre las probabilidades de excedencia de ambos eventos

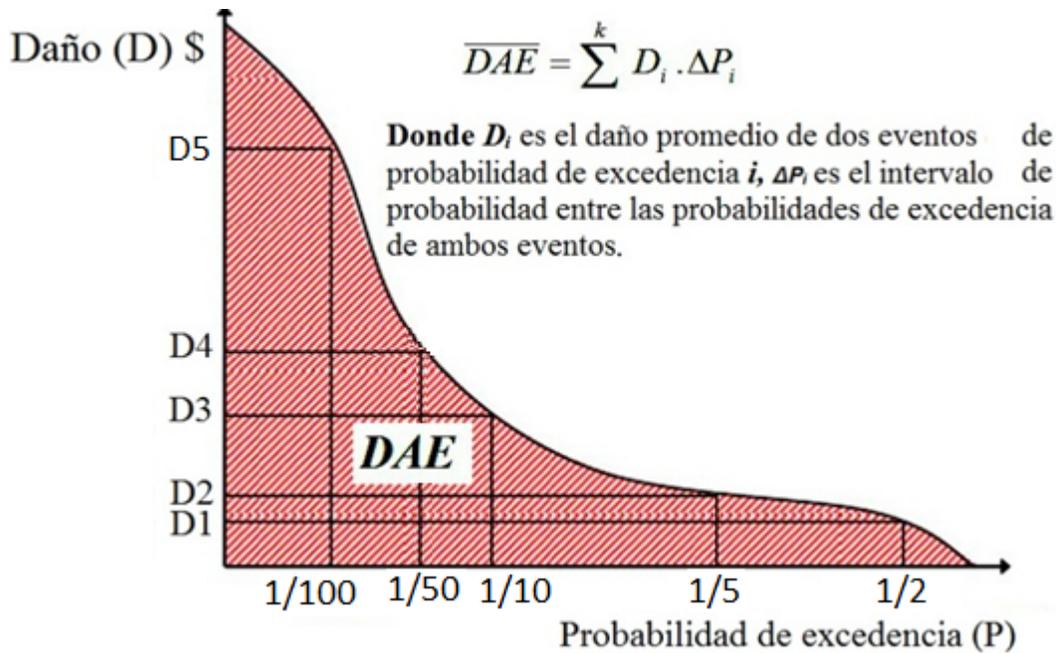


Figura 4. Evaluación del DAE.

La estimación del DAE consiste, entonces, en calcular el daño promedio de dos eventos de probabilidad de excedencia i , con un intervalo (ΔP_i) de probabilidad entre las probabilidades de excedencia de ambos eventos. La estimación del DAE se realiza para los periodos de retorno en que se tenga información de tirantes.

Periodo de retorno (Tr)	Daño Estimado	No. de puntos evaluados	Área	Viviendas	Población	Probabilidad de Ocurrencia	$D[i] = (D(P_i - 1) + D(P_i)) / 2 \Delta P_i = P_i - P_{i-1} $
100	191,529,138.63	40,881.00	3,258,578.65	6,584.00	21,622.00	0.01	
50	117,291,200.77	28,071.00	2,213,316.20	4,694.00	15,629.00	0.02	\$1,544,101.70
10	91,425,181.63	19,191.00	1,480,424.84	3,435.00	11,611.00	0.10	\$8,348,655.30
5	58,237,230.53	5,048.00	369,968.91	714.00	2,408.00	0.20	\$7,483,120.61
2	48,456,768.41	4,580.00	332,883.83	633.00	2,138.00	0.50	\$16,004,099.84
DAE (Sin fraccionar por tipo de daño)							\$33,379,977.44

Cálculos hechos evaluando daños completos

Figura 5. Ejemplo de estimación del DAE, con base en los Daños Directos Habitacionales (DDH) calculados para periodo de retorno 2, 5, 10, 50 y 100 años.

Conclusiones

Más allá de saber si el daño estimado es poco o mucho, lo rescatable de los montos en pesos resultantes es que se tiene un punto de partida para evaluar la reducción de riesgo.

Los resultados de DAE obtenidos han servido para establecer un panorama inicial (cuantificación) de daños en algunas zonas de inundación en México, a fin definir acciones de mitigación y respuesta para la preparación, planificación a mediano y largo plazos en el manejo de emergencias, así como proponer políticas públicas al respecto.

Referencias

- Baró-Suárez, J. E., Díaz-Delgado, C., Calderón-Aragón, G., Cadena-Vargas, E. y Esteller-Alberich, M. V. (2011), "Costo más probable de daños por inundación en zonas habitacionales de México", en *Tecnología y Ciencias del Agua, antes Ingeniería Hidráulica en México*, vol. II, núm. 3, julio-septiembre 2011, pp. 201-218.
- IPCC (2014), *Cambio climático 2014. Impacto, adaptación y vulnerabilidad*, ONU, New York.
- Meyer V. et ál. (2012), "Economic Evaluation of Structural and Non-Structural Flood Risk Management Measures: Examples from the Mulde River", *Nat Hazards*, 62, pp. 301-324. DOI 10.1007/s11069-011-9997-z. Received: 21 April 2011 / Accepted: 25 September 2011 / Published online: 14 October 2011_ Springer Science+Business Media B.V. 2011.