

METODOLOGÍA PARA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO ANTE INUNDACIONES CON ÍNDICE DAÑO PÉRDIDA-POSESIÓN

Eduardo Hernández Samaniego¹, José Manuel Rodríguez Varela², Claudia Elizabeth Cervantes Jaimes³ y Oscar Jesús Llaguno Guilberto⁴

¹Universidad Nacional Autónoma de México, Maestría en Ingeniería Civil Hidráulica, Campus Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

^{2,3,4} Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.

E-mail: eduardo.hernandez@posgrado.imta.edu.mx, manuel_rodriguez@tlaloc.imta.mx, elizabeth_cervantes@tlaloc.imta.mx, oscar_llaguno@tlaloc.imta.mx

Introducción

Las inundaciones son más antiguas que el hombre mismo y constituyen una parte natural del ciclo hidrológico. Se definen como la *presencia del agua sobre superficies donde comúnmente no lo está*. En su mayoría son asociadas a eventos meteorológicos extremos y aun cuando presentan efectos tanto negativos como positivos, su estudio es motivado principalmente debido a sus afectaciones, pues son históricamente uno de los fenómenos más catastróficos a nivel mundial con tendencia a ir incrementando sus afectaciones (IMTA, 2015).

En épocas recientes han ido evolucionando las ideas en cuanto al agua y las inundaciones, comprendiendo que no es suficiente “protegerlos” contra ellas, es necesario comprenderlas más a fondo para crear un ambiente armónico y renovar nuestra convivencia con ellas (Vázquez Rodríguez, 2012).

Clasificación de afectaciones por inundaciones

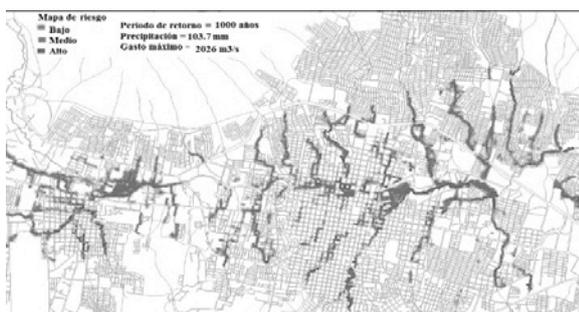
Una manera de clasificar las afectaciones por inundaciones es en directas o indirectas; dependiendo si fueron causadas por el contacto directo con el agua; otra manera es en tangibles o intangibles; dependiendo de si por su complejidad o por ética, pueden ser traducidas a valor monetario (CONAGUA, 2015b).

Mapas de riesgo ante inundaciones

Estos mapas muestran visual, simplificada y concentradamente la ubicación y magnitud de las afectaciones por inundaciones, *Figura 1*, por lo que son una herramienta que permite planear acciones para el manejo de aguas de lluvia (Cervantes Jaimes, 2012). Para su creación se realizan una serie de simplificaciones e idealizaciones, considerando al riesgo hidráulico, en valor monetario, como función del peligro hidráulico: Amenaza externa producto de la velocidad y tirante máximos de escorrentía; y de la vulnerabilidad hidráulica: Predisposición intrínseca de un ente a ser dañado por la amenaza específica; es decir, cantidad monetaria posible de ser pérdida ante un evento de inundación (Alcocer Yamanaka, et al., 2016).

$$\text{Riesgo hid. (\$)} = \text{Peligro hid. (v * y)} * \text{Vulnerabilidad hid. (\$)} \quad [1]$$

Figura 1. – Mapa de riesgo ante inundaciones Tuxtla (IMTA, 2015).



Simulación computacional bidimensional de escorrentía pluvial en zonas urbanas

Es un elemento esencial para la generación de los mapas de riesgo ante inundaciones. Se realiza en un programa computacional, por ejemplo PCSWMM, el cual permite mostrar mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG) la velocidad y tirante máximos de escorrentía. Esto utilizando 3 módulos: hidrológico, hidráulico a superficie libre y presurizado. En cada módulo el programa PCSWMM resuelve de forma discreta en tiempo y espacio (2 dimensiones) las ecuaciones que describen el comportamiento mecánico de un fluido (agua) en un medio físico, considerando las características físicas de la zona que influyen en el volumen, dirección y rapidez de escurrimiento: Tormenta de diseño, uso de suelo (rugosidad e infiltración), topografía, obstáculos hidráulicos (casas, edificio y otros) e infraestructura pluvial existente (obras de captación, recolección, conducción, detención y/o retención), permitiendo simular un evento de inundación en una zona urbana y generar mapas de peligro hidráulico (Alcocer Yamanaka, et al., 2016).

Evaluación socioeconómica de proyectos de inversión pública para mitigación de afectaciones por inundaciones

En México, las acciones de mitigación de afectaciones por inundaciones se hacen mayormente con recurso público, por lo que deben cumplir con la *Teoría Económica del Bienestar*. Para esto se someten a una evaluación socioeconómica, la cual, al comparar diferentes opciones de solución ante problema pluvial específico, determine con base a supuestos razonables, estimaciones y cálculos, cuál de las acciones presenta la mejor relación entre sus costos y beneficios sociales (SHCP, 2015).

Para identificar sus beneficios se simplifican las afectaciones ante inundaciones traduciéndolas a valor monetarios aplicando el índice Daño Anual Esperado (DAE); el cual es el área bajo la curva de pérdida de daños directos tangibles, *Figura 2* (Mora Domínguez, et al., 2013).

$$DAE = \sum_{i=1}^{Núm. de Eventos} E(P (\$)|Evento i)F_A(Evento i) \quad [2]$$

Figura 2. – Curva de pérdida –(DAE) Tuxtla Gutiérrez (IMTA, 2015).



Planteamiento del problema

Las afectaciones por inundaciones además de ser cada vez más frecuentes y de mayor magnitud, también generan un mayor impacto negativo en los estratos sociales más bajos. Esto no es reflejado en los mapas de riesgo ante inundaciones que consideran únicamente las afectaciones directas tangibles, ya que no consideran las afectaciones intangibles ni indirectas debido a su dificultad de ser cuantificadas o simplificadas.

Esto lleva a que, en el mejor de los casos, las acciones de manejo de aguas de lluvias llevadas a cabo como resultado de una planeación mediante el uso de dichos mapas generen un mayor beneficio directo tangible; es decir, económico, en lugar de un mayor beneficio social, asimilando a una planeación de índole privada de relación egresos - ingresos, en vez de pública que busque satisfacer la *Teoría Económica del Bienestar* (CONAGUA, 2015a).

Aunado a esto, el uso de los mapas de daños directos tangibles impide la comparación de afectaciones tanto entre diferentes estratos sociales, pues diferentes estratos sociales pueden sufrir diferentes afectaciones aun teniendo la misma magnitud de DAE.

Criterio de índice daño pérdida-posesión

Suponiendo que con base en la vulnerabilidad hidráulica se puede inferir la capacidad de respuesta, adaptación, recuperación y retroalimentación de un ente ante inundaciones (resiliencia), se propone el presente índice *daño pérdida – posesión*; es decir, el porcentaje de pérdida del bien expuesto respecto a su costo total (Daño a menaje y daño a la estructura).

$$\text{Daño pérdida posesión (\%)} = \frac{\text{DAE (\$)}}{\text{Costo total del bien expuesto (\$)}} \quad [3]$$

Al generar mapas de riesgo ante inundaciones con el índice daño pérdida-posesión será posible identificar la variación espacial del porcentaje de pérdida y visualizar de manera sencilla las zonas de mayores afectaciones, por ende, las zonas de mayor necesidad de intervención en cuanto al manejo de aguas de lluvia.

Metodología

La metodología se asemeja a la utilizada para generar mapas de riesgo ante inundaciones con daños directos tangibles por (Alcocer Yamanaka, et al., 2016), con la variante de adicionar la división entre el DAE y costo total del bien expuesto, de manera resumida la metodología es:

- Selección área de estudio;
- Obtención de información del área de estudio: Base de datos socioeconómicos (AGEBs INEGI), características de infraestructura pluvial existente, planimetría (traza urbana), orto imagen, modelo digital de elevaciones (MDE), datos pluviométricos y/o pluviográficos;
- Pre proceso. - Generación de archivos para el modelo digital de simulación: Obstáculos hidráulicos (.shp), uso de suelo (.shp), microcuencas urbanas y cuencas de aportación (.shp), tormenta de diseño a periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 años;
- Proceso. - Simulaciones computacionales de escorrentía a los mismos periodos de retorno que la tormenta de diseño en programa PCSWMM;

- Post proceso. - Generación de mapas de:
 - Vulnerabilidad hidráulica;
 - Peligro hidráulico;
 - Riesgo ante inundaciones;
 - Costos de daño a menaje;
 - Costos de daño a estructura;
 - Costo total de daño directos tangibles (DAE);
 - Daño pérdida-posesión;

Conclusiones

- Las inundaciones impactan negativamente en mayor medida a los estratos socioeconómicos más bajos, esto no se refleja en los mapas de riesgo ante inundaciones con base al DAE, ni ha sido comprobado de manera cuantitativa;
- El criterio daño pérdida-posesión permitirá, tomando en cuenta la capacidad de recuperación de los afectados inferida a partir de datos públicos y con base a un análisis hidráulico-hidrológico, la generación de mapas de riesgo que faciliten identificar las zonas de mayores afectaciones por inundaciones. Permitiendo la planeación priorizada de acciones de mitigación de afectaciones por inundaciones mejor alienadas a la *Teoría Económica del Bienestar*.
- Asimismo, este criterio homogeneizará la unidad de medida para la generación de mapas de riesgo ante inundaciones; índice daño pérdida-posesión, con lo cual será factible comparar las afectaciones por inundaciones entre diferentes estratos sociales de la misma ciudad, entre diferentes ciudades e inclusive entre diferentes países.
- Es necesario aumentar nuestro conocimiento y generar una visión amplia sobre las inundaciones y otros fenómenos del ciclo hidrológico para renovar y mejorar nuestra convivencia con el agua.

Bibliografía

- Alcocer Yamanaka, V. H. et al., 2016. Metodología para la generación de mapas de riesgo por inundación en zonas urbanas. *Tecnología y Ciencia del Agua*, VII(5), pp. 33-55.
- Cervantes Jaimes, C. E., 2012. *Tesis: Generación de Mapas de Riesgo de Inundación Mediante Modelación en 2D*. Jiutepec(Morelos): UNAM.
- CONAGUA, 2015a. Metodologías de Evaluación Socioeconómica y Estructuración de Proyectos de Inversión (Agua Potable, Alcantarillado, Saneamiento, Mejoramiento de Eficiencia y Protección a Centros de Población). In: *Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento*. México: s.n.
- CONAGUA, 2015b. Drenaje Pluvial Urbano. In: *Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento*. Ciudad de México: s.n.
- IMTA, 2015. *Estudio de riesgos de inundaciones en zonas urbanas de la república mexicana*, Jiutepec Morelos: IMTA.
- Mora Domínguez, R., Torres, M. A. & Mora Domínguez, R., 2013. Vulnerabilidad y Riesgo por Inundaciones. *ReaserchGate*, 11.
- SHCP, 2015. *LINEAMIENTOS para la elaboración y presentación de los análisis costo y beneficio de los programas y proyectos de inversión*. 2015 ed. México(Ciudad de México): Seretaría de Hacienda y Crédito Público.
- Vázquez Rodríguez, H. G., 2012. *Tesis Inundaciones en Zonas Urbanas. Medidas Preventivas y Correctivas, Acciones Estructurales y No Estructurales*. Jiutepec(Morelos): Universidad Autónoma de México.