

# IDENTIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD URBANA POR INUNDACIONES EN TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

## IDENTIFICATION OF URBAN VULNERABILITY DUE TO FLOODS IN TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

Teresa del Rosario Argüello M<sup>1</sup>., Delva del Rocío Guichard R.<sup>2</sup>,  
Miguel Á. Aguilar Suarez<sup>2</sup>, Beatriz E. Argüelles León<sup>1</sup>

### RESUMEN

*A partir de los conceptos que se necesitan para definir y comprender el riesgo desde su origen en una combinación de procesos sociales y su interacción con el entorno, describiendo las diferentes dimensiones de la vulnerabilidad y la exposición con relación a su contexto específico de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; este artículo tiene como objetivo proporcionar mayor entendimiento sobre las dimensiones o variables que describen la vulnerabilidad urbana frente a la amenaza de inundaciones por precipitaciones extraordinarias, que posibiliten la definición de escenarios de riesgos delimitados, con sus correspondientes mapas de riesgo de daños por inundación. Se requiere generar un mapa de amenazas de inundación y flujos torrenciales y otro de elementos expuestos, los cuales deben ser contrastados para identificar los niveles de exposición existentes.*

**Palabras clave:** Vulnerabilidad urbana, escenarios de riesgos, inundaciones.

### ABSTRACT

Based on the concepts needed to define and understand risk from its origin in a combination of social processes and their interaction with the environment, descri-

bing the different dimensions of vulnerability and exposure in relation to the specific context of the city of Tuxtla Gutierrez, Chiapas; this article aims to provide greater understanding of the dimensions or variables that describe urban vulnerability to the threat of flooding due to extraordinary precipitation, making it possible to define delimited risk scenarios, with their corresponding flood damage risk maps. It is necessary to generate a map of flood and torrential flow hazards and another of exposed elements, which should be contrasted to identify existing exposure levels.

**Keywords:** Urban vulnerability, risk scenarios, floods.

### INTRODUCCIÓN

La población urbana desconoce lo que pasa con los volúmenes de agua que provocan las lluvias debido a los cambios realizados en los cauces de ríos y arroyos en las ciudades para ocultarlos, que no se han hecho para planificar los escurrimientos sino para evitar ver un cauce contaminado. La falta de planeación en el crecimiento de las ciudades originó descontrol en el saneamiento de los afluentes que terminaron siendo receptores de residuos líquidos y sólidos contaminantes, tal es el caso de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (Fig. 1) (Rodríguez, Alcocer, Albornoz, Llaguno y Maldonado, 2012). La implementación de una cultura de prevención de estrategias y prácticas efectivas de adaptación y gestión de riesgo de desastre requiere del conocimiento de las dimensiones de exposición y vulnerabilidad.

Un desastre es un proceso social, que se inicia cuando ocurre un evento natural (potencial amenaza) que impacta las infraestructuras, a las personas y sus propiedades de una comunidad específica en condiciones dinámicas de vulnerabilidad de los bie-

<sup>1</sup> Profesores de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas. Email: teresa.mendez@unach.mx

<sup>2</sup> Profesores de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas. Email: dguich@unach.mx; maas@unach.mx

nes físicos y de fragilidad social e institucional que no permite a dicha comunidad hacer frente a los efectos del evento (materialización del riesgo), “cuyos impactos superan la capacidad de respuesta o recuperación del sistema... afectado, y por ello requiere apoyo externo” (Vera, J. y Albarracín, A., 2017, p.110) para recuperar su funcionamiento.

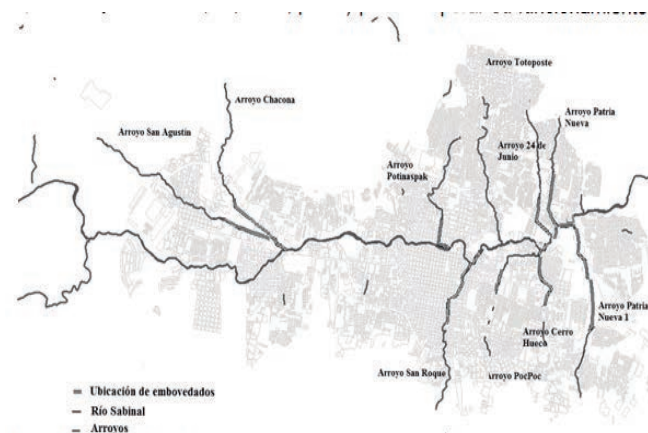


Figura 1. Mapa de Tuxtla Gutiérrez con sus afluentes embovedados. (Rodríguez et al., 2012)

“La interacción entre la amenaza y la vulnerabilidad genera condiciones [de riesgo de] desastre, el cual puede ser catastrófico o crónico” (Pelling, 2003, citado en Ruiz, 2011, p.65) “de acuerdo con la temporalidad que se genera y desencadena” (Ruiz, 2011, p.65). La magnitud de los impactos que se puedan provocar por eventos hidrometeorológicos, sean extremos o no, depende en gran medida del nivel de vulnerabilidad y a la exposición a tales eventos que tienen los asentamientos humanos.

En la literatura se encuentran diferentes formas de expresar el riesgo. Entre las principales se encuentran las definiciones emitidas por la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, por sus siglas en inglés), la del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) y, a nivel nacional, la del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).

- UNDRR (por sus siglas en inglés, anteriormente UNISDR) (2009, p.29) “La combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas...”.

- IPCC. (2012, p.4) “La probabilidad de que... se produzcan alteraciones graves al funcionamiento normal de una comunidad o una sociedad debido a los fenómenos físicos peligrosos que interactúan con condiciones sociales vulnerables, dando lugar a efectos humanos, materiales, económicos o ambientales...”.
- CENAPRED. (2014, p.15) “La probabilidad de ocurrencia de daños, pérdidas o efectos indeseables sobre sistemas constituidos por personas, comunidades o sus bienes, como consecuencia del impacto de eventos o fenómenos perturbadores”.

El evento de amenaza no es el único factor de riesgo, los efectos adversos que puedan suscitarse están determinados en buena parte por la vulnerabilidad y exposición de las sociedades y los sistemas socioecológicos, en el territorio considerado.

A principios de siglo, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) consideraba que el riesgo se componía por unas condiciones de vulnerabilidad y de peligro. El IPCC, a partir del Quinto Informe, en sus esquemas de riesgo considera la combinación de tres elementos: el peligro, la vulnerabilidad y la exposición. De forma similar, el CENAPRED, pone al riesgo en función del peligro (agente o fenómeno perturbador), por la exposición (sistema afectable) y la vulnerabilidad (predisposición a ser afectado).

La UNDRR, a partir del 2015 propone una nueva integración del riesgo considerando 4 elementos: el peligro, la exposición, la vulnerabilidad y la resiliencia, como factor de ajuste, es un coeficiente de reducción puesto que, a mayor resiliencia, menor es el riesgo.

Entonces para el diagnóstico del riesgo es preciso determinar el potencial de peligro y los niveles de exposición y vulnerabilidad a que está expuesto el sistema afectable. Por lo que retomando las definiciones oficiales:

- Peligro. “Se define como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino de cierta intensidad, durante un cierto periodo de tiempo y en un sitio dado. Sus características específicas son magnitud e intensidad. La magnitud es una medida del tamaño del fenómeno, de su potencial destructivo y de la energía que libera. La intensidad es una medida de la fuerza con que se manifiesta el fenómeno en un sitio dado” (CE-

NAPRED, 2014, p.16).

- Exposición. “Se refiere a la cantidad de personas, bienes y sistemas que se encuentran en el sitio y que son factibles de ser dañados...En cuanto mayor sea el valor de lo expuesto, mayor será el riesgo que se enfrenta” (CENAPRED, 2014, p.17).
- Vulnerabilidad. “Las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza” (UNISDR, 2009, p.34).

De acuerdo a la conceptualización de UNDDR, el otro componente del riesgo es la resiliencia:

- Resiliencia. “La capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas” (UNISDR, 2009, p.28).

La resiliencia urbana es la capacidad que tienen las ciudades de resistir los embates de fenómenos hidrometeorológicos y climáticos, adaptarse a las circunstancias cambiantes del clima, recuperarse ante situaciones críticas o de desastre y prepararse para eventos futuros. “Crear resiliencia en las ciudades tiene como principal objetivo que los sistemas que la componen puedan mantener un nivel aceptable de funcionamiento ante una situación crítica e inusual, mientras se lleva a cabo un proceso para restablecer las condiciones normales” (Bahena, 2017, p.73).

La falta de resiliencia está determinada por aspectos como deficientes niveles de gobernabilidad y de capacidad de ordenación y gestión ambiental del territorio, bajos niveles de preparación y diseño de planes de manejo de emergencias y gestión del riesgo, poca capacidad de endeudamiento y de ahorro, sin transferencia de riesgos mediante pólizas de aseguramiento, entre otras imposibilidades culturales para cumplir con un conjunto de condiciones sociales, económicas y espaciales (umbrales) que se asocian al bienestar, que si no se cubre, representan una situación de pérdida, precariedad, carencia y/o dificultad; un ‘serio daño’ ante el impacto de fenómenos indeseados (Vera y Albarracín, 2017. Ruiz, 2011).

La resiliencia es un concepto multifactorial, con diferentes componentes, se tiene que establecer de qué tipo de resiliencia se está hablando, si es social,

técnica o infraestructura, o ambiental, económica, etc. Es polivalente, tiene una acción ante diferentes agentes perturbadores, se pueden desarrollar en nuestras zonas urbanas resiliencia ante ciclones tropicales, o ante incendios o inundaciones, etc. Para que un ente pueda considerarse resiliente debe cumplir estas 4 características esenciales de la resiliencia: preparación, resistencia, adaptación y recuperación (Bahena, 2017).

Es importante destacar que las metodologías de cálculo de resiliencia no aplican a diferentes escenarios de riesgos. Por tanto, debe especificarse a que componente de la resiliencia se refiere y el tipo de riesgo a analizar. El CENAPRED ha desarrollado el índice de resiliencia a nivel municipal (componente socio-económico), disponible en la web del atlas nacional de riesgos. Otras instituciones desarrollan sus propias metodologías, a partir de metodologías previas.

Una vez que se han calculado el peligro y la vulnerabilidad, y si a la integración del riesgo se quiere integrar la resiliencia, se calcula el riesgo final a partir de una matriz del nivel de impacto esperado, y ajustar el nivel de riesgo de acuerdo a grado de resiliencia.

## ANÁLISIS DEL RIESGO POR INUNDACIONES URBANAS

“Las ciudades con riesgo de inundación requieren de una estrategia de adaptación, para garantizar asentamientos seguros frente a estos fenómenos. Por lo general se han aceptado condiciones de frontera inamovibles para las zonas en riesgo, no se aborda

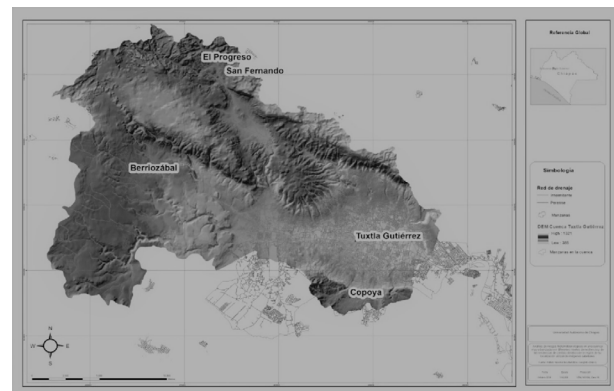


Figura 2. Cuenca del Río Sabinal, región hidrológica No. 30 denominada Grijalva-Usumacinta, y drena una superficie de 407.44 kilómetros cuadrados. (CENAPRED, 2020)

el problema con una visión de que las ciudades son parte de una cuenca "(Arreguín, López y Marengo, 2016, p.12), que no termina donde termina la ciudad, donde termina el pavimento. Las fronteras de la cuenca van mucho más allá de la mancha urbana (Fig. 2).

La mejor solución ante estos cambios en los patrones de las inundaciones es generar una ... gestión integrada de crecidas... maximizar los beneficios de las llanuras de inundación y reducir al mínimo las pérdidas, es una combinación de medidas políticas, administrativas, financieras y físicas. En la cuales debe estar involucrada toda la ciudadanía; todo ello,...a través de acuerdos institucionales, partiendo de la relación entre dependencias del gobierno federal y una mejor comunicación y colaboración entre los distintos órdenes de gobierno: Federal, Estatal y Municipal, procurando que se delimiten responsabilidades en la aplicación de planes para protección contra inundaciones... Una debilidad inicial de este tipo de programas es la incertidumbre existente en materia de información hidrometeorológica, pluviográfica, de seguimiento hidrológico en ríos y arroyos, y sobre todo, de proyecciones climáticas; sin datos confiables es muy difícil tomar decisiones y planificar. La información de calidad servirá principalmente para la adecuada calibración de modelos y la concientización de la sociedad sobre la dimensión de los escurrimientos y su impacto (Arreguín et al., 2016. pp.12 y 13).

Con información veraz es posible realizar mapas de riesgos y vulnerabilidad hídrica ante el cambio climático por lluvias, mediante el empleo de las tecnologías de información y comunicación para obtener indicadores estadísticos que sean relevantes para la operación de un sistema en el monitoreo del ciclo hidrometeorológico para el desarrollo, implementación y operación de sistemas de alerta temprana ante precipitaciones extraordinarias. Para lo cual se requiere el desarrollo de capacidades, que incluye la formación especializada de recursos humanos, y la aplicación y desarrollo de tecnología a nivel municipal. Es importante recordar que estas metodologías se aplican sobre modelaciones de simulación del peligro a que se está expuesto, es una idealización de la realidad, de ella la importancia de la calidad y la precisión de la información con la cual se dispone; por ello es necesario contar con un número ma-

yor de estaciones climatológicas automáticas y una red de radares, donde exista una inversión federal y estatal, para el mantenimiento de estas tecnologías. Además de tener a nivel municipal especialistas en riesgos hidrometeorológicos con capacidades en el uso de cartografía digital, de imágenes satelitales y conocimientos hidroclimáticos; con la información meteorológica e hidrométrica, validada y disponible para consulta y descarga, y el desarrollo de programas de control de inundaciones (Consultar el Programa nacional contra contingencias hidráulicas. PRONACCH, 2019).

Un mapa de riesgos por inundación es una representación gráfica de las inundaciones (agente perturbador) asociado a los daños que ocasiona a una zona de estudio, que puede ser una zona urbana, donde se relaciona la magnitud del evento a través del tirante y la velocidad del agua, la distribución espacial del evento, es decir su ubicación, extensión o radio de afectación, y la interacción que tiene con el sistema, se refiere a las afectaciones a las poblaciones o a la infraestructura. Estos mapas muestran visual, simplificada y concentradamente la ubicación y magnitud de las afectaciones por inundaciones.

Para la construcción de un mapa de riesgos por inundaciones se precisa de establecer un criterio de riesgo, saber cómo combinar los factores que componen el riesgo, esta información se extrae de los mapas de peligro y mapas de vulnerabilidad. Para la construcción de estos últimos mapas, igualmente se requiere de haber establecido criterios para definir niveles de vulnerabilidad y de peligro, que, combinados mediante la exposición, determinan el riesgo.

El peligro de inundación se calcula a través de las modelaciones hidrológicas e hidráulicas. Entre los factores a considerar en las inundaciones están: la distribución espacial de la lluvia y las características de los terrenos (topografía, pendientes, cobertura vegetal, usos de suelo, los residuos sólidos dejados en las calles, la expansión de la mancha urbana sin planificación en las zonas inundables) y las características físicas de los arroyos y ríos (las transformaciones de vías de escurrimientos e hidráulicas del tránsito de avenidas); donde se obtienen los polígonos de inundación, tirantes y velocidades, y a través de criterios de peligro desarrollados en la literatura que establecen una relación entre velocidad y tirantes se determinan los niveles de peligro (bajo, medio, alto, etc.)

(Rodríguez et al., 2012; Bahena, 2017). Para la elaboración de los mapas de peligro se requiere de mapas de velocidades máximas de escurrimientos y los mapas de tirantes máximos (profundidad de la inundación), estos se realizan frecuentemente a partir de simulaciones computacionales (a veces verificadas en campo sobre información histórica), con información hidrológica e hidráulica, este es un modelo simplificado, pues dependiendo de la profundidad de alcance e información disponible, también se llega a considerar el tiempo de residencia, la cantidad y calidad de sedimentos y la carga de agentes bioquímicos. Los mapas pueden hacerse para recrear eventos ya pasados con información recabada histórica o para crear escenarios futuros. Dependiendo del ente de análisis se define el criterio de peligro a utilizar, pues cada criterio establece sus límites; como el propuesto en el Estudio de Riesgos de inundaciones en zonas urbanas de la República Mexicana propuesto por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) en 2015 para la generación de mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo por inundación.

Es pieza clave el modelo computacional de simulación de inundaciones, el cual debe estar calibrado y se alimenta principalmente del uso de suelo considerado en la planificación urbana, las micro cuencas y cuencas de aportación, la tormenta de diseño que puede calcularse con datos históricos para construir lluvias posibles con cierto periodo de retorno, la probabilidad de ocurrencia, o a través de datos de un evento específico; se requiere además de mapas de distribución espacial para incluir los obstáculos hidráulicos de la ciudad y las características de la cuenca (área, longitud del cauce principal, coeficiente de escurrimiento, coeficiente de rugosidad, entre otras). Un mapa de simulación de inundaciones muestra información en la mancha urbana de la extensión del agua durante una inundación y a qué velocidad se presenta, a partir de ella, se utilizan unos criterios de peligro, que relacionan el tirante que alcanza el agua y la velocidad de inundación, estos criterios dependen del tipo de peligro a evaluar.

Esta información se plasma en los mapas de peligro y exposición que se determina a partir de la ubicación de los elementos (e.g. población, viviendas, edificaciones gubernamentales y la infraestructura y equipamientos públicos, ecosistemas, sistemas de producción) por su cercanía a las aéreas de influen-

cia del fenómeno perturbador, que juega un papel muy importante para determinar el nivel de riesgo. Con ello se elabora el mapa de peligro con la localización y simbología de nivel de peligro de cada elemento.

## RESULTADO Y DISCUSIÓN DEL CASO DE ESTUDIO.

Para el caso de estudio se generó un mapa de densidad poblacional con información del INEGI, el cual muestra las áreas de mayor susceptibilidad a la ocurrencia de un desastre (Figs. 3 y 4).

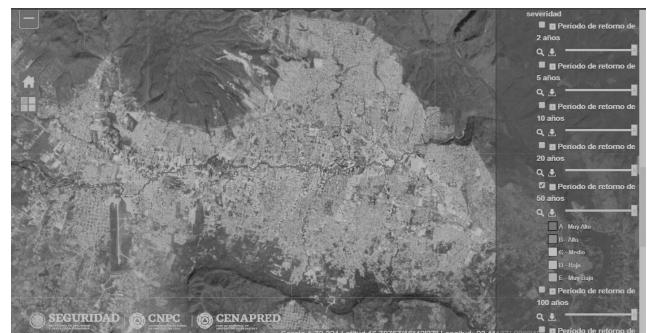


Figura 3. Mapa de peligro para un período de retorno de 50 años de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. (CENAPRED, 2020)

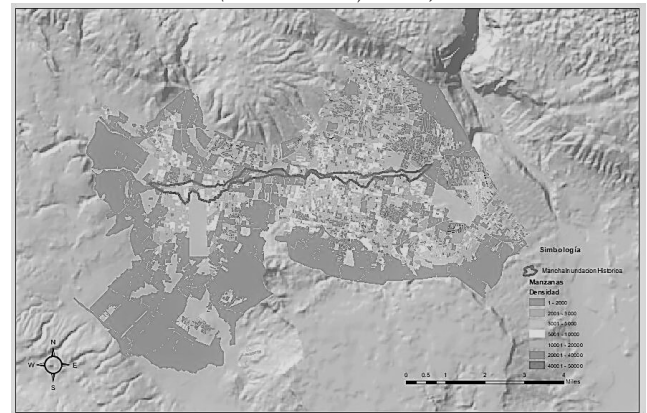


Figura 4. Mapa de densidad poblacional de Tuxtla Gutiérrez. (Elaboración propia a partir de datos INEGI)

Dentro de estas áreas, se procesaron y filtraron los registros del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), para extraer las unidades pertenecientes al sector público que se ubican dentro de ellas, agrupándolas en los rubros de Salud, Educación, Cultura, Abasto, Recreación y Deporte, generando el mapa de exposición del equipamiento en riesgo (Fig. 5).



Una vez que se tiene calculado el nivel de vulnerabilidad y el nivel de peligro del sistema, a través de un criterio de riesgo, se elabora una matriz de riesgo en función del peligro y la vulnerabilidad y porcentaje de daño causado al ente en estudio, se determina el nivel de riesgo asociado (Tabla 3). Teniendo de un lado el mapa de peligro, y del otro el de vulnerabilidad, se calcula el nivel de riesgos, a través de algebra de mapas de un sistema de información geográfica; para este caso, se construye el mapa de riesgo con los criterios de riesgo ante inundaciones establecidos, plasmando la información representada con la simbología determinada.

**Tabla 3. Criterio de riesgo en función del peligro y la vulnerabilidad y porcentaje de daño causado al menaje de la casa.**

Vulnerabilidad por tipo de vivienda	Peligro			
	Nulo	Bajo	Medio	Alto
Muy baja (Tipo IV)	Riesgo Nulo RN (0%)	RN (0%)	Riesgo Bajo RB (10%)	Riesgo Medio RM (50%)
Baja (Tipo III)	RN (0%)	RB (10%)	RM (50%)	Riesgo Alto RA (100%)
Media (Tipo II)	RN (0%)	RB (10%)	RM (50%)	RA (100%)
Alta (Tipo I)	RN (0%)	RM (50%)	RA (100%)	RA (100%)

Fuente: Estudio de Riesgo de Inundación en Zonas Urbanas de la República mexicana (IMTA, 2015)

En ello, de acuerdo a la metodología elegida, puede o no considerarse los índices de resiliencia, que se determinan "...con los integrantes del sistema a evaluar, que pueden estar en función de una o más variables, que en conjunto miden una característica o atributo de la variable principal en estudio. Una forma de analizar las cuatro características fundamentales de la resiliencia es dar respuesta a las siguientes interrogantes: 1. ¿Cómo resiste la ciudad ante el impacto de los fenómenos hidrometeorológicos? 2. ¿Cómo se recupera la ciudad ante el impacto de los fenómenos hidrometeorológicos? 3. ¿Cómo se adapta la ciudad ante el impacto de los fenómenos hidrometeorológicos? 4. ¿Cómo se prepara la ciudad ante el impacto de los fenómenos hidrometeorológicos?" (Bahena, 2017, p.42).

La información generada a través de estos mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo permite el establecimiento de estrategias de mitigación y control de inundaciones, es decir mitigar los efectos de las inundaciones, y con ello, incrementar la resiliencia urbana.

## CONCLUSIONES

Cierto es que el riesgo no debe ni puede realmente eliminarse; pero sí debe entenderse, aceptarse y gestionarse hasta niveles en los cuales la sociedad pueda continuar con su vida cotidiana. Para ello, 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. Los desastres naturales NO existen, la lluvia y el agua no son un desastre sino una expresión de la naturaleza misma. El desastre es que no sepamos convivir con ellas, anticipar sus consecuencias, prever sus afectaciones e incluso aprovechar sus efectos (Hernández et al., 2018).

Las inundaciones son consideradas como uno de los peligros naturales más frecuentes en la tierra, a los cuales los sistemas urbanos se enfrentan frecuentemente. Las inundaciones urbanas ya no son solo un fenómeno natural. El componente social del sistema urbano está contribuyendo a aumentar la tendencia de las inundaciones urbanas. El daño de la sociedad a la naturaleza intensifica fenómenos naturales de manera que, a su vez, provocan afectaciones cada vez mayores en la misma sociedad. El riesgo es un proceso social, se construye y se deconstruye socialmente. Los desastres son problemas no resueltos del desarrollo, a pesar de que actualmente es posible tener un vasto entendimiento de los procesos hidrológicos e hidráulicos, y la tecnología capaz de representarlos, pero si se carece de planeación, articulación, gestión adecuada de acciones de mitigación y, en muchas ocasiones de ética suficiente, la probabilidad de pérdidas socioeconómicas se elevará exponencialmente ante los fenómenos hidrometeorológicos.

Las acciones se clasifican por su tiempo de aplicación en preventivas, correctivas y reactivas. Por su tiempo de obtención de beneficios se clasifican a corto, mediano o largo plazo. También pueden dividirse en acciones estructurales y no estructurales, las primeras son aquellas donde se construye un elemento físico, y las no estructurales no conllevan construcción de elementos físicos. Como estructurales están las estructuras de detención (regulación), de retención (infiltración), parques lineales hundidos, captación de agua de lluvia, pavimentos permeables, canalización y rectificación de cauces, bordos

de protección o drenaje pluvial urbano, entre otras. Y las no estructurales pueden ser la creación de programas de planificación urbana, reforestación y restauración de suelo, reubicación de zonas de bajo peligro, programas de inspección y limpieza de arroyos y canales pluviales, sistemas de alerta temprana, planes de contingencia y programas de cultura hídrica, entre otros.

Soluciones basadas en la naturaleza (SbN) que imitan los procesos de la naturaleza que son alternativas más viables económicamente hablando para gestión de riesgos, y específicamente para inundaciones, pueden ser retención de agua en el paisaje, crear espacio para el agua y conectividad y transporte. Para ello, hay que comprender el papel que juegan los ecosistemas en la reducción del riesgo ante inundaciones. Se ha demostrado que en aquellas zonas donde se ha conservado el ecosistema sin grandes alteraciones, como por ejemplo los manglares en zonas costeras, resisten más ante eventuales peligros de inundaciones por tormentas y marejadas, que aquellas localidades donde se han eliminado las zonas de manglares.

Muchas de las medidas de acciones de diseño SbN están encaminadas a regular los caudales, para aplanar la curva del caudal en el tiempo, que el gasto pico sea menor, y entonces la infraestructura pluvial no se vea rebasada, no se requiera mayores acciones estructurales costosas y de alto mantenimiento, y además, a la par, se recuperan áreas verdes. Tales como la creación de lagunas de retención en las cuencas medias que captan los escurrimientos de las cuencas altas para que estos escurrimientos no lleguen a las cuencas bajas donde se localizan los centros de población, empleando esas aguas para riego o para infiltrarla a los mantos acuíferos (e.g. Parque hídrico La Quebradora en Iztapalapa); o una versión más reducida son los camellones inundables en avenidas. Otro ejemplo son los humedales artificiales o parques inundables para captar aguas de lluvia e infiltrarla al subsuelo; o los techos verdes, que además de absorber agua de lluvia, sirven de aislamiento térmico, hábitat para vida silvestres, captar CO<sup>2</sup> y disminuir efectos de isla de calor; o acciones para recuperar los cauces naturales de afluentes que anteriormente fueron embovedados, como se están incrementando los escurrimientos en las zonas urbanas, entonces la infraestructura pluvial que se diseñó

años atrás está rebasando su capacidad de diseño, y con este tipo de acciones se puede volver a recuperar las secciones naturales de los cauces (e.g. Rescate del río Cheonggyecheon, Corea del Sur). Con este tipo de acciones se busca la regulación de escurrimientos, aplanado la curva disminuyendo el gasto pico en el hidrograma de escurrimiento; y además se logra enverdecer la estructura gris.

## REFERENCIAS

- Arreguín C., F., López P., M. y Marengo M., H. (marzo, 2016). Las inundaciones en un marco de incertidumbre climática. *Tecnol. cienc. agua* vol.7 no.5. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/>
- Bahena A., R. (2017) Índice de resiliencia en ciudades ante fenómenos hidrometeorológicos. Tesis doctoral. UNAM, Ciudad de México, México.
- CENAPRED (2014). Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Conceptos básicos sobre Peligros, Riesgos y su Representación Geográfica. Serie Atlas Nacional Riesgos. Centro Nacional de Prevención de Desastres, Secretaría de Gobernación, Ciudad de México, México. Recuperado de [www.cenapred.gob.mx](http://www.cenapred.gob.mx)
- Hernández E., Rodríguez J., Cervantes C. y Llaguno O. (septiembre de 2018). Metodología para generación de mapas de riesgo ante inundaciones con índice daño pérdida-posesión. En P. Bereciartúa (Presidencia), en el XXVIII Congreso Latinoamericano De Hidráulica. INA. Buenos Aires, Argentina.
- IPCC (2012) Gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático. Resumen para responsables de políticas. Intergovernmental Panel on Climate Change. Recuperado de <https://www.ipcc.ch/report/>
- Rodríguez J., Alcocer V., Albornoz P., Llaguno O. y Maldonado J. (2012). Problemática de inundaciones en zonas urbanas y propuestas de solución desde un enfoque matemático, IMTA. Recuperado de [www.imta.gob.mx](http://www.imta.gob.mx)
- Ruiz R., N. (2011) La definición y medición de la vulnerabilidad social. Un enfoque normativo. *Invest. Geog* no.77 México abr. 2012. Recuperado <http://www.scielo.org.mx/>



- UNDRR (antes UNISDR) (2009). Terminología sobre reducción del riesgo de desastres. Oficina de las Naciones Unidas para Reducción de Riesgo de Desastres, ONU, Ginebra, Suiza. Recuperado de <https://www.eird.org/>
- UNESCO (2018) Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018. WWAP. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura París.
- Vera, J. y Albarracín, A. (2017) Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas. *Cienc. Ing. Neogranad*, vol.27, n.2, pp.109-136. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/>