

Artículo publicado en el Repositorio Institucional del IMTA

<i>Título</i>	Las inundaciones en un marco de incertidumbre climática
<i>Autor / Adscripción</i>	Felipe I. Arreguín-Cortés Mario López-Pérez Instituto Mexicano de Tecnología del Agua Humberto Marengo-Mogollón Consultor independiente
<i>Publicación</i>	Tecnología y Ciencias del Agua, 7(5): 5-13
<i>Fecha de publicación</i>	2016
<i>Área del conocimiento</i>	Ingeniería y tecnología
<i>Resumen</i>	<p>Se presentan los eventos naturales que causaron pérdidas en el planeta en el año 2015. Es de destacar el incremento de los eventos hidrológicos en dos veces y media de 1980 a 2012. Varios factores inciden sobre el incremento de las inundaciones, de entre ellos destacan la ausencia de ordenamiento territorial y los efectos del cambio climático sobre el ciclo hidrológico. Se comentan los tipos de daños que provoca una inundación y la complejidad de calcularlos. En el caso de México, se presenta un mapa de las zonas con riesgo de inundación; los costos que estos fenómenos han ocasionado de 2000 a 2014, según el Centro Nacional de Prevención de Desastres; el mapa de riesgo municipal por lluvias y ciclones tropicales en México, de acuerdo con los escenarios presentados por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático en 2012, y algunas reflexiones sobre la atención a estos problemas, proponiendo que se establezcan programas de control de inundaciones basados en la teoría de gestión integrada de crecidas; reducir la incertidumbre existente en materia de información hidrometeorológica, pluviográfica, de seguimiento hidrológico en ríos, y sobre todo de proyecciones climáticas; apoyar estos programas con recursos humanos altamente calificados, y revisar el funcionamiento de vertedores de presas con riesgo hidrológico.</p>
<i>Identificador</i>	http://hdl.handle.net/20.500.12013/1695

Las inundaciones en un marco de incertidumbre climática

• Felipe I. Arreguín-Cortés • Mario López-Pérez* •
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

*Autor para correspondencia

• Humberto Marengo-Mogollón •
Consultor independiente

Resumen

Arreguín-Cortés, F. I., López-Pérez, M., & Marengo-Mogollón, H. (septiembre-octubre, 2016). Las inundaciones en un marco de incertidumbre climática. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(5), 5-13.

Se presentan los eventos naturales que causaron pérdidas en el planeta en el año 2015 (1060 casos), obtenidos por el Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, entre los que destacan los hidrológicos (inundaciones y movimiento de masas de tierra) y climatológicos (temperaturas extremas, sequías e incendios) por su cantidad, pero además es notable el incremento de los eventos hidrológicos en dos veces y media de 1980 a 2012. Varios factores inciden sobre el incremento de las inundaciones, de entre ellos destacan la ausencia de ordenamiento territorial y los efectos del cambio climático sobre el ciclo hidrológico. Se comentan los tipos de daños que provoca una inundación (directos, indirectos, tangibles e intangibles) y la complejidad de calcularlos. En el caso de México, se presenta un mapa de las zonas con riesgo de inundación; los costos que estos fenómenos han ocasionado de 2000 a 2014, según el Centro Nacional de Prevención de Desastres; el mapa de riesgo municipal por lluvias y ciclones tropicales en México del *Atlas de vulnerabilidad hídrica ante el cambio climático*, elaborado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, de acuerdo con los escenarios presentados por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático en 2012, y algunas reflexiones sobre la atención a estos problemas, proponiendo que se establezcan programas de control de inundaciones basados en la teoría de gestión integrada de crecidas; reducir la incertidumbre existente en materia de información hidrometeorológica, pluviográfica, de seguimiento hidrológico en ríos, y sobre todo de proyecciones climáticas; apoyar estos programas con recursos humanos altamente calificados, y revisar el funcionamiento de vertedores de presas con riesgo hidrológico.

Palabras clave: inundaciones, crecidas, cambio climático, prevención.

Abstract

Arreguín-Cortés, F. I., López-Pérez, M., & Marengo-Mogollón, H. (September-October, 2016). Flooding in a Context of Climate Uncertainty. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*, 7(5), 5-13.

Losses from events occurring on the planet in the year 2015 (1060 cases) are described, obtained by the Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, among which hydrological (floods and mass movement of land) and climate (extreme temperatures, droughts occur and fires) are highlighted due to the quantity, but it is also a notable increase in hydrological events in two and a half times in the period 1980-2012. Several factors affect the increased flooding, among them are the lack of land use planning and the effects of climate change on the hydrological cycle. The types of damage that causes (direct, indirect, tangible and intangible) flood and the complexity of calculating them are discussed. In the case of Mexico, a flood risk map is presented as well as its associated costs from 2000 to 2014 according to the National Center for Disaster Prevention. Also a municipal risk map considering rain and tropical cyclones in Mexico, the *Water Vulnerability to Climate Change Atlas* prepared by the Mexican Water Technology Institute, according to the scenarios presented by the Intergovernmental Panel on Climate Change in 2012 and some ideas on the attention to these problems. Proposing that flood control programs should be based on the IFM programme which include reduction of uncertainty regarding hydrometeorological, pluviographic information, hydrological monitoring in rivers and especially climate projections, supporting these programs with highly qualified human resources, and addressing the dam safety operation for spillways with hydrological risk.

Keywords: Floods, floods, climate change prevention.

Publicado por invitación

Introducción

El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) define inundación como el rebase de los límites normales de confinamiento de una corriente u otro cuerpo de agua, o la acumulación de la misma sobre áreas que por lo general no están sumergidas. Las inundaciones incluyen las fluviales (asociadas con desbordamiento de ríos); súbitas (*flash floods*); urbanas (p. ej., las provocadas por la falla del sistema de alcantarillado); pluviales (caracterizadas porque el agua acumulada proviene de la precipitación sobre la zona afectada, no de otros lugares, como de la parte alta de la cuenca); costeras, y asociadas con deslizamientos de glaciares (IPCC 2012). Este amplio tipo de inundaciones obedece a muchos factores, no necesariamente coincidentes para cada caso, como precipitaciones, deshielo de zonas nevadas, condiciones de drenaje de las cuencas, deforestación, urbanización, falta de sistemas de drenaje apropiados o su mal manejo, inadecuada operación de presas, falla súbita de deslizamientos que obturan los ríos, mareas y ciclones tropicales; ello obliga a establecer diferentes formas de atención a sus impactos.

Del análisis de varios casos de inundación se ha concluido que lluvias intensas de larga duración en cuencas grandes se relacionan con inundaciones fluviales, mientras que en cuencas pequeñas, lluvias intensas de corta duración pueden causar inundaciones pluviales. El control de los efectos de las inundaciones se complica por el arrastre de sedimentos, rocas, árboles, espectaculares, autos, restos de puentes, y otros objetos que pueden dañar otra infraestructura dentro o cercana a los ríos o sus llanuras de inundación, zonas urbanas o de riego, o convertirse en nuevos elementos de remanso del agua.

El problema de control de inundaciones se torna más complejo, pues los factores señalados no son constantes, y en la mayoría de los países tiende a incrementarse; por ejemplo, la intensidad de precipitación o de los ciclones tropicales están siendo afectados por el cambio climático; pero también las políticas de desarrollo inadecuadas

fomentan la urbanización no planeada de cuencas, o el estrechamiento de cauces de los ríos con puentes y otras obras, que reducen su capacidad de conducción.

Pérdidas generadas por las inundaciones

En la figura 1 pueden observarse las pérdidas por eventos sucedidos en todo el mundo en 2015 (1 060 casos), clasificados como geofísicos (sismos, tsunamis y actividad volcánica); meteorológicos (tormentas tropicales, extratropicales, convectivas y locales); hidrológicos (inundaciones y movimiento de masas de tierra), y climatológicos (temperaturas extremas, sequías e incendios) (Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, 2016).

Si ahora se seleccionan sólo los eventos meteorológicos, hidrológicos y climatológicos de 1980 a 2014 (ver figura 2), puede observarse el incremento de los dos primeros con el tiempo; es decir, las tormentas tropicales, extratropicales, convectivas y locales por un lado, y por el otro, las inundaciones y movimiento de masas de tierra. En la figura 3 se presenta el número relativo de eventos geofísicos e hidrológicos de 1980 a 2012, tomando como base 1980, donde se observa la tendencia señalada.

De los datos reportados por el Dartmouth Flood Observatory sobre las inundaciones ocurridas en el planeta de 1985 a 2010 (3 713 casos) (ver figura 4), puede notarse que el mayor número de ellas sucedió en zonas urbanas.

Costos de las inundaciones

Determinar los costos de las inundaciones es complicado, pues existen daños y costos directos asociados con el impacto del fenómeno en las zonas urbanas, agrícolas, industriales y comerciales; con el medio ambiente; con infraestructura, como carreteras, puentes, ferrocarriles, líneas eléctricas, acueductos, sistemas de distribución de agua potable, y tratamiento de aguas residuales, escuelas, hospitales; y con la vida misma de los habitantes; e indirectos, ligados con actividades de infraestructura, bienes o servicios afectados, como empleos perdidos de

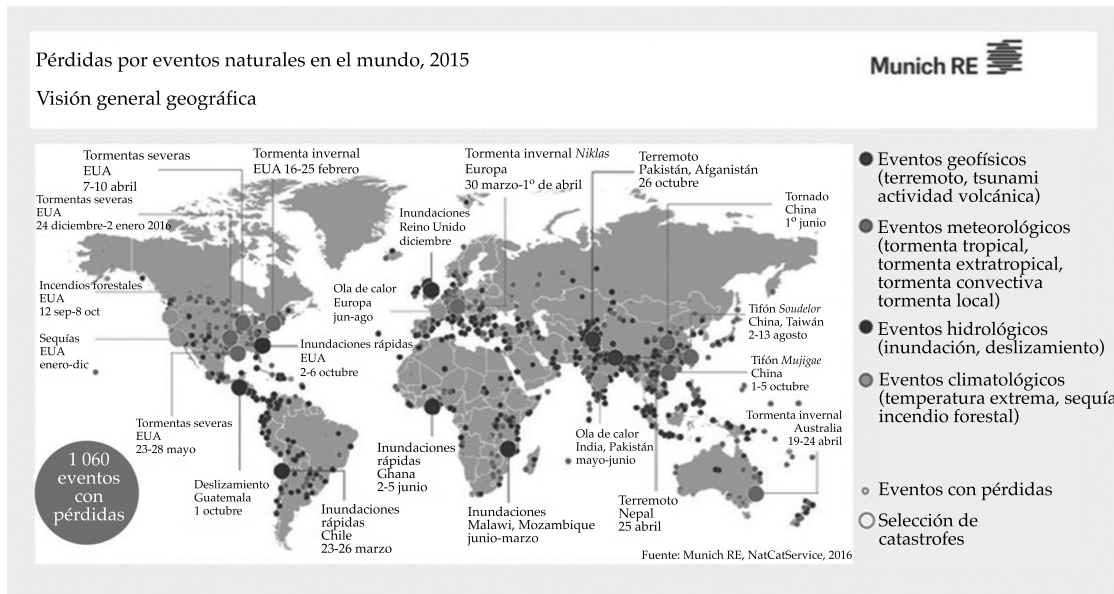


Figura 1. Pérdidas ocurridas en 2015 por eventos geofísicos, hidrológicos, meteorológicos y climatológicos. Fuente: Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, 2016.

NatCatSERVICE

Eventos naturales con pérdidas en el mundo, 1980-2014
 Número de eventos

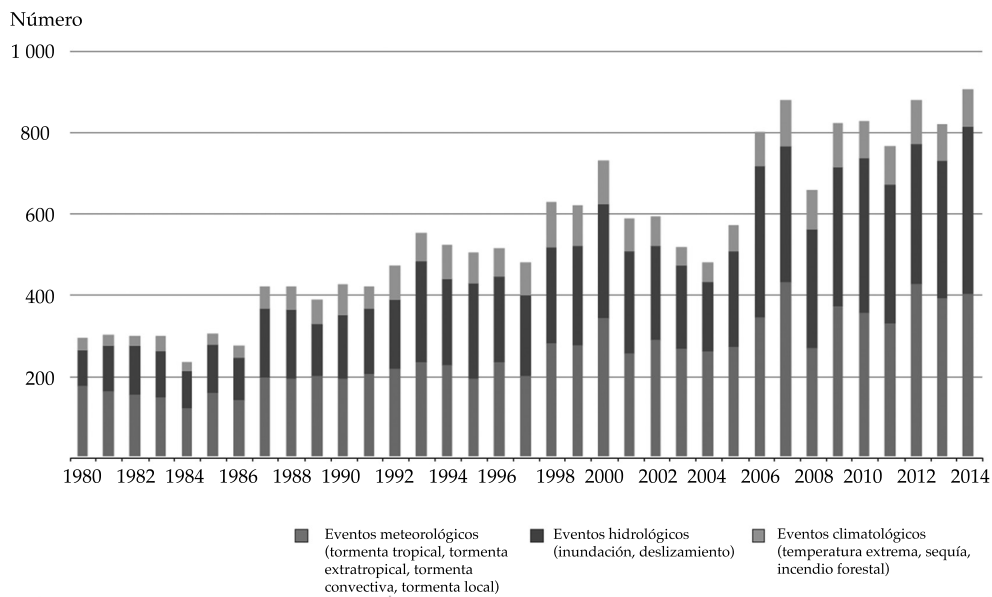


Figura 2. Eventos meteorológicos, hidrológicos y climatológicos sucedidos entre 1980 y 2014. Fuente: Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, 2016.

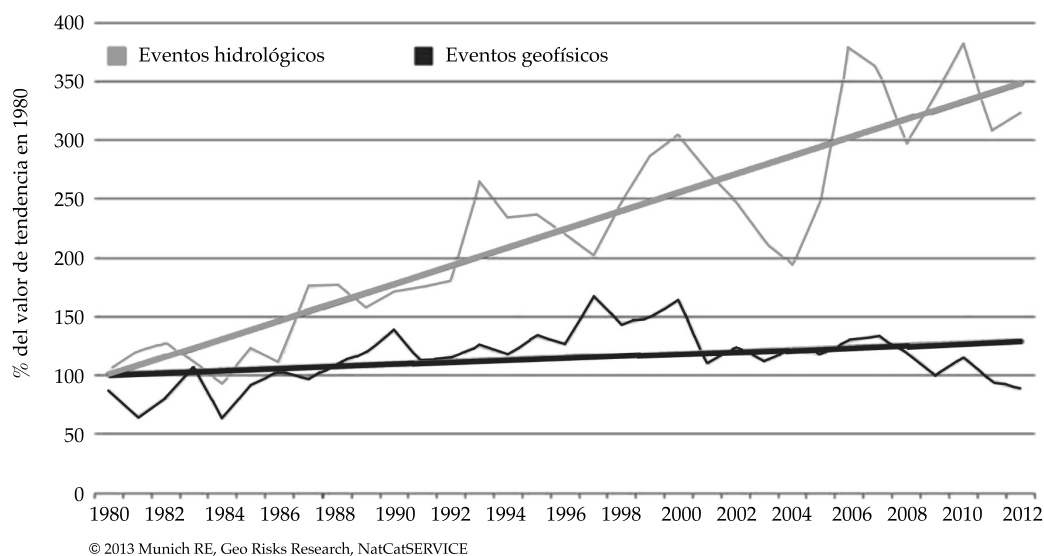


Figura 3. Número relativo de eventos geofísicos e hidrológicos de 1980 a 2012, tomando como base 1980. Fuente: Munich Re NatCatSERVICE, June, 2013.

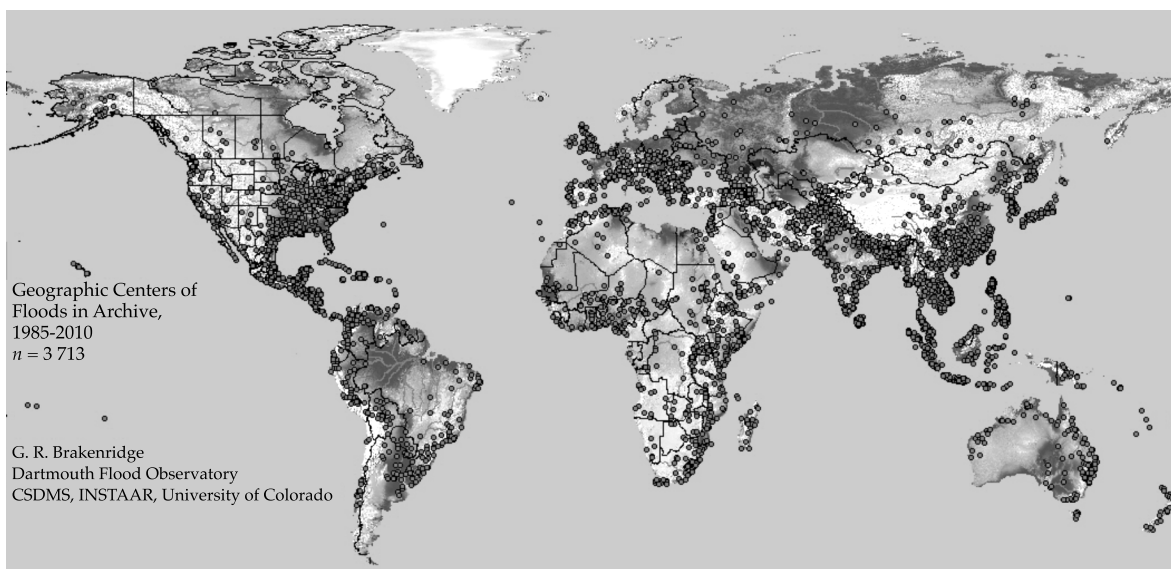


Figura 4. Inundaciones registradas de 1985 a 2010 (3 713). Fuente: Space-Based Measurement, Mapping, and Modeling of Surface Water.

forma temporal o definitiva, o actividades de las cadenas de producción.

Los costos directos e indirectos, además, incluyen impactos tangibles e intangibles, lo cual es sumamente complicado de evaluar. El

caso más representativo de intangibles es la salud humana.

Existen otros enfoques para estimar los costos. Uno de ellos propone calcular los daños causados de modo directo por el fenómeno,

y sumar los costos de reducción de riesgos y mitigación (Parry et al., 2009).

El caso de México

Por su ubicación geográfica, México es susceptible a la presencia de eventos hidrometeorológicos extremos en el Golfo de México y el océano Pacífico. Se ha estimado que 162 000 km² del territorio nacional son susceptibles de inundarse (figura 5).

En la figura 6 se presentan los daños directos estimados por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred), en el país de 2000 a 2014 (Cenapred, 2015).

El desarrollo de ciudades en las planicies de inundación es histórico en todo el mundo y México no es la excepción. El aprovechamiento de la planicie tabasqueña (Arreguín & Rubio, 2014) y de las cuencas baja del río Bravo (Tamaulipas); baja del río Pánuco (Tamaulipas y Veracruz); baja del río Coatzacoalcos (Veracruz);

baja del río Papaloapan (Veracruz), de la Costa de Chiapas (Chiapas); los ríos Atoyac, Jamapa, Tecolutla, Nautla y Antigua (Veracruz), la del río Tulancingo (Hidalgo), y el Valle de México, son ejemplos claros de zonas en las que pueden esperarse inundaciones frecuentes.

Un ejemplo de obturación de un cauce de un río y su posible falla repentina ocurrió en 2007, cuando hubo un deslizamiento en una ladera del río Grijalva, el segundo más caudaloso del país, que acarrió 55 millones m³ de roca y suelo, y formó una presa natural que obstruyó el cauce del río. El tapón de 80 m de alto, 800 m de largo y 300 m de ancho se ubicó entre las presas Malpaso (aguas arriba) y Peñitas (aguas abajo). La localidad de Juan de Grijalva, situada en la margen derecha del río, fue afectada por el movimiento en bloque del terreno y por la inundación repentina de una ola, producto del deslizamiento, que provocó la muerte de 25 personas. Del material deslizado, 15 millones de metros cúbicos quedaron sobre el cauce y

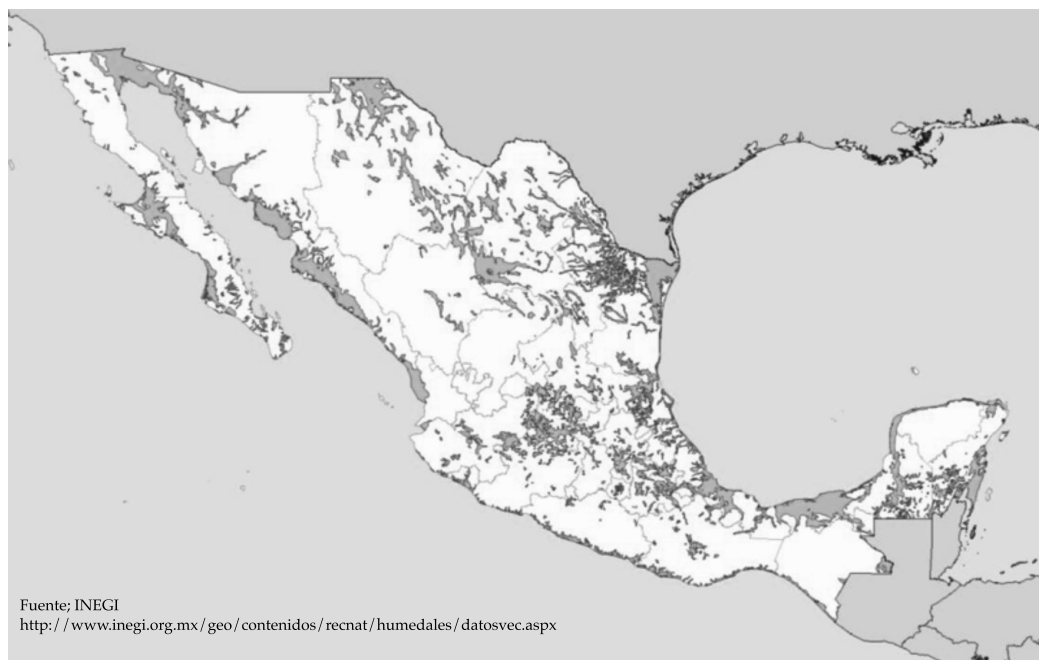


Figura 5. Humedales potenciales. Mapa que muestra la ubicación y delimitación de los principales humedales del país.
 Fuente: INEGI (2012), <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/humedales/datosvec.aspx>.

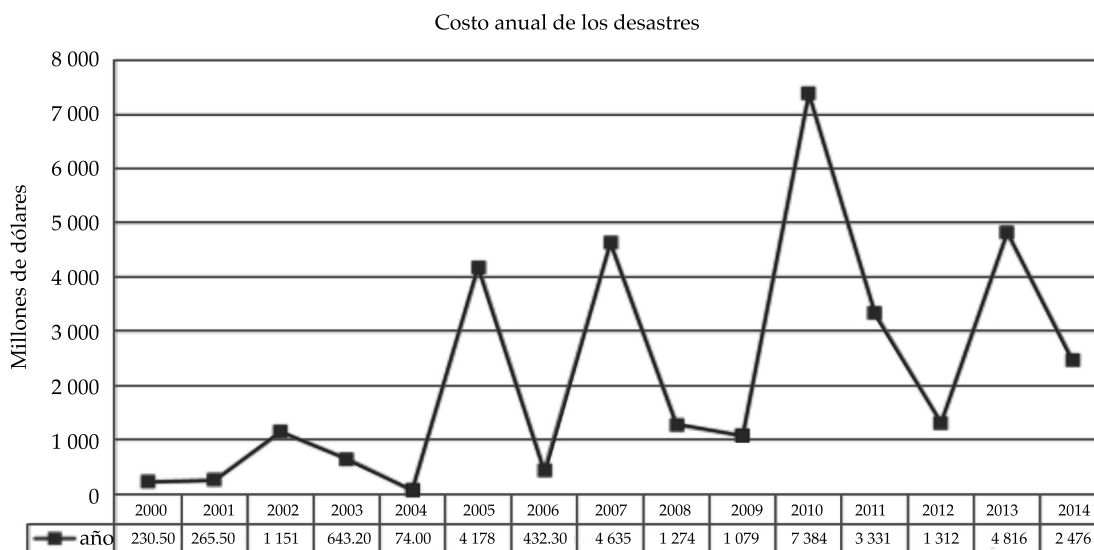


Figura 6. Costo de los daños provocados por ciclones, tormentas e inundaciones en México de 2000 a 2014.
Fuente: Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred, 2015).

obstruyeron totalmente el paso del agua. La potencial falla del obstáculo sobre el río significaba un riesgo muy grande para la presa Peñitas, y para las ciudades aguas abajo de la misma, como Villahermosa, Cárdenas, Comalcalco y Huimanguillo, Tabasco, con una población de más de tres millones de personas (figura 7).

Como ya se comentó, el cambio climático es uno de los factores que debe tomarse en cuenta en cualquier programa de prevención y reducción de vulnerabilidad. México ha actualizado su *Atlas de vulnerabilidad hídrica ante el cambio climático* (IMTA, 2015) de acuerdo con los escenarios presentados por el IPCC en 2012, estimando el riesgo municipal por lluvias y ciclones tropicales (figura 8).

Se creó el Programa Nacional de Atención a Contingencias Hidráulicas, cambiando el enfoque reactivo por uno preventivo, en el que se contemplan cuatro ejes: monitoreo, vigilancia, pronóstico y alerta temprana; determinación de zonas inundables; creación de programas de prevención de contingencias hidráulicas por organismo de cuenca, y el diseño de políticas públicas para la reducción del riesgo.

Algunas reflexiones

La relación humana con las inundaciones ha cambiado. Cada vez son más frecuentes los asentamientos en terrenos que antes no estaban poblados y en los cuales se desarrollaba el ciclo hidrológico y, en particular, el de las inundaciones.

Han variado también las inundaciones. Los cambios de uso de suelo han transformado los bosques en pastizales, zonas agrícolas o ciudades; se ha impermeabilizado el suelo; el agua que se infiltra es mucho menor, y la mayor parte escurre por las calles y sistemas de drenaje, y por último se descarga a los ríos. Esto genera un proceso complicado, que cambia el comportamiento de las inundaciones; es decir, se va transformando su ciclo.

También se ha modificado la apreciación humana alrededor de las inundaciones. Con el crecimiento de las ciudades y el entubamiento de los ríos, la población ha perdido la noción de lo que pasa con los volúmenes de agua que caen durante la lluvia, y esto complica el compromiso de la sociedad con programas de prevención.

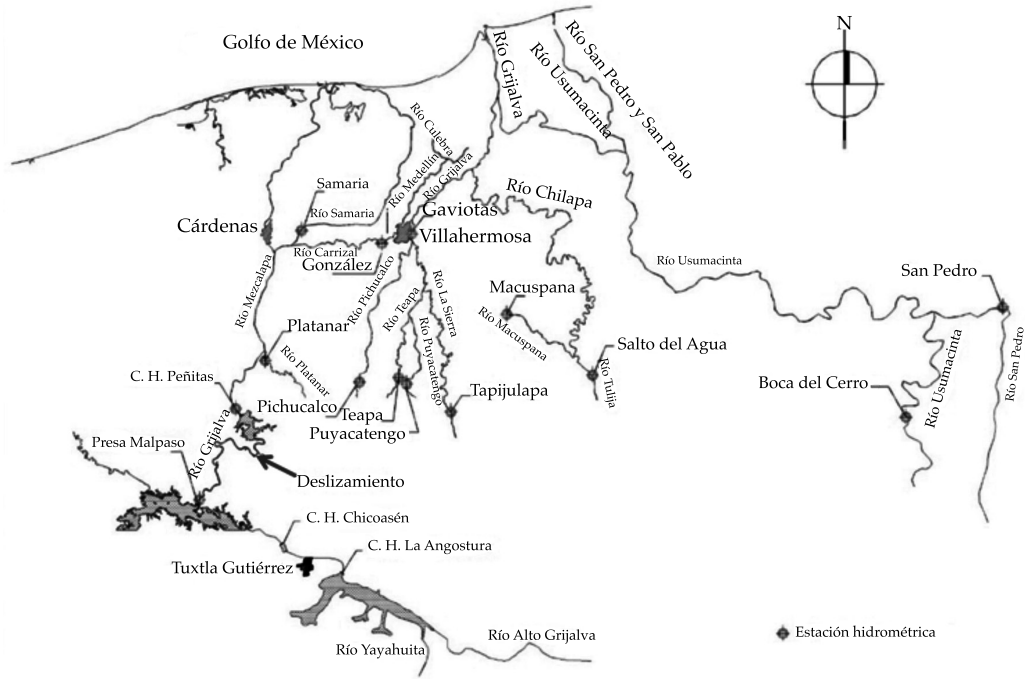


Figura 7. Sistema hidrológico del Bajo Grijalva.

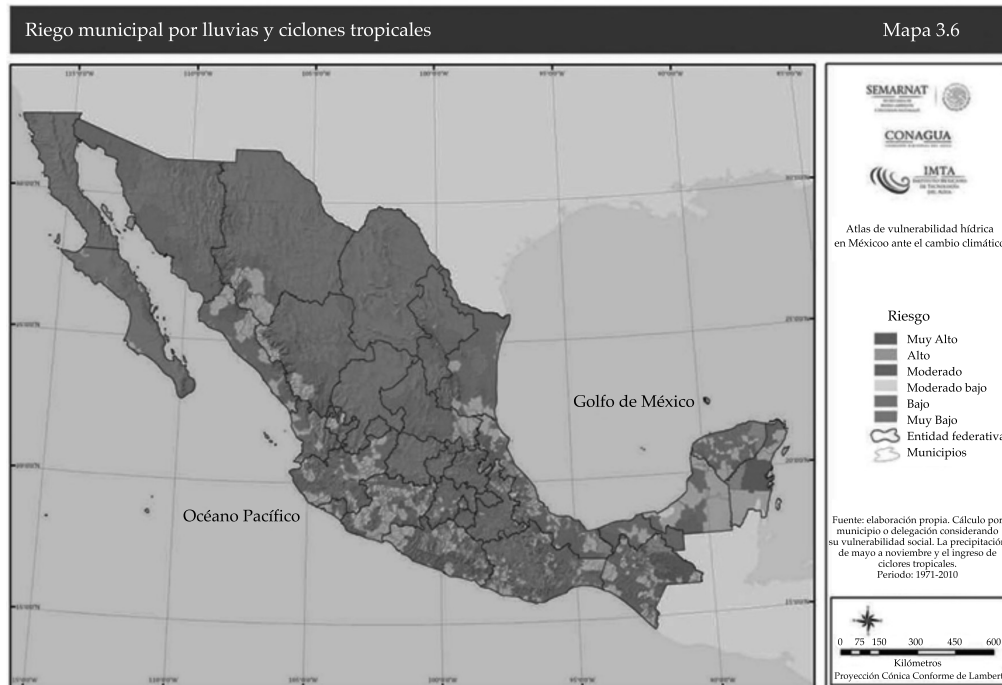


Figura 8. Riesgo municipal por lluvias y ciclones tropicales en México. Fuente: IMTA (2015).

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 el problema con una visión de que las ciudades son parte de la cuenca.

La gestión integrada de crecidas tiene como finalidad maximizar los beneficios de las llanuras de inundación y reducir al mínimo las pérdidas. Es una combinación de medidas políticas, administrativas, financieras y físicas. La mejor manera de hacer frente a las inundaciones es 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, municipal, procurando que se delimiten responsabilidades en la aplicación de planes para protección contra inundaciones.

La base de todo sistema de gestión es la información, sin embargo, la incertidumbre existente en materia de información hidrometeorológica, pluviográfica, de seguimiento hidrológico en ríos, y sobre todo de proyecciones climáticas, hace necesario contar con sistemas modernos de predicción hidrológica en tiempo real, aplicar mejores programas de ordenamiento territorial y establecer planes de desarrollo urbano que consideren crecimientos urbanos fuera de zonas de riesgo.

La participación de la sociedad para enfrentar el problema de las inundaciones es básica. Se requiere crear en la población una cultura al respecto, para lo cual es vital la comunicación social. Indemnizaciones y seguros contra afectaciones complementan los retos enunciados.

La operación de presas para el control de avenidas debe dar prioridad a la protección a centros de población; se requieren memorias técnicas, caracterizando las inundaciones desde la hidrología hasta las afectaciones, y formar un archivo histórico con bases de datos. Es impostergable la revisión del estado de conservación de vertedores de excedencias en presas con riesgo hidrológico.

Es urgente el desarrollo de capacidades. Esto incluye la formación especializada de recursos humanos, y la aplicación y desarrollo de tecnología.

El caso más urgente de atención es el Valle de México, dada su alta vulnerabilidad y relevancia social y económica. Para el país resulta de vital importancia contar con un ordenamiento territorial con una visión sustentable para el manejo del agua como factor básico de desarrollo. Una alternativa es una Procuraduría Federal del Riesgo, que fortalezca el asentamiento urbano controlado y evalúe el nivel de vulnerabilidad de las zonas por inundación, con el objeto de tomar decisiones y acciones de mitigación y adaptación.

Hay que prever las incertidumbres en la vigilancia, previsión, monitoreo y pronóstico de la lluvia (distribución espacial y temporal de la precipitación), y su transformación en escurrimiento, lo que requiere mayor investigación y estudio. En ese mismo orden de ideas, también existe incertidumbre en el seguimiento hidrológico en ríos. Las medición de niveles, velocidades y caudales en avenidas no es tan trivial, pues el monitoreo a tiempo real aún es poco confiable.

Conclusiones y recomendaciones

El número de inundaciones en el planeta, 3 713 de 1985 a 2010, y su incremento en dos veces y media de 1980 a 2012 son el producto de muchos factores, en especial problemas de ordenamiento territorial. El número de asentamientos humanos en zonas inundables crece, con los consecuentes cambios de características de las cuencas, que producen escurrimientos cada vez más difíciles de controlar.

Esta situación, aunada a los efectos que tiene el cambio climático sobre el ciclo hidrológico (incremento de la intensidad de las lluvias y pronóstico de ciclones tropicales más intensos, entre otros efectos), obliga a la construcción de programas de control de inundaciones que protejan a las poblaciones y se genere verdadera resiliencia ante estos fenómenos.

Los programas de control de inundaciones deben basarse en la gestión integrada de crecidas, cuya finalidad es maximizar los beneficios de las planicies de inundación y reducir al mínimo las pérdidas.

Una debilidad inicial de este tipo de programas es la incertidumbre existente en materia de información hidrometeorológica, pluviográfica, de seguimiento hidrológico en ríos, y sobre todo de proyecciones climáticas. Es necesario contar con sistemas modernos de predicción hidrológica en tiempo real y con recursos humanos calificados. Asimismo, es urgente revisar los vertedores de las presas con mayor riesgo hidrológico, pues las avenidas de diseño han sido modificadas por factores antropogénicos y los relacionados con cambio climático.

Una forma de involucrar a la sociedad sería al crear comités y comisiones de cuenca con representación de los tres órdenes de gobierno, usuarios organizados y organismos no gubernamentales con carácter multisectorial, para conocer, analizar y discutir con anticipación la información, opciones de control y mitigación de inundaciones, al igual que necesidades de formación y capacitación de dirigentes locales ante inundaciones, y sobre la atención de operación, mantenimiento y monitoreo de las obras construidas.

Referencias

- Arreguín, F., & Rubio H. (mayo-junio, 2014). Análisis de las inundaciones en la planicie tabasqueña en el periodo 1995-2010. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5(3), 5-32.
- Cenapred (2015). *Sistema Nacional de Protección Civil, 318 infografías de desastres en México. Impacto social y económico*. México, DF: Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- Dartmouth Flood Observatory (2016). *Observatory Mission Statement: Space-Based Measurement, Mapping, and Modeling of Surface Water, For Research, Humanitarian, and Water Management Applications*. Flood Observatory Director, Observatory Mission Statement. Community Surface Dynamics Modeling System Boulder, USA: University of Colorado.
- INEGI (2012). México, DF: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/humedales/Default.aspx>.
- IMTA (2015). *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático. Efectos del cambio climático en el recurso hídrico de México*. Jiutepec, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- IPCC (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance, Climate Change Adaptation Special Report of the IPCC*. Cambridge: Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, Geo Risks Research (2016). *Natural catastrophe database analysis and information platform*. Munich: Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, Geo Risks Research.
- Parry, M. et al. (2009). *Assessing the Costs of Adaptation to Climate Change: A Review of the UNFCCC and Other Recent Estimates*. London: International Institute for Environment and Development and Grantham Institute for Climate Change.

Dirección institucional de los autores

Dr. Felipe Ignacio Arreguín-Cortés

Director general
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Paseo Cuauhnáhuac 8532, colonia Progreso
62550 Jiutepec, Morelos, México
Teléfono: +52 (777) 3 28 36 00, extensión 313
felipe_arreguin@tlaloc.imta.mx

M.C. Mario López-Pérez

Coordinador de Hidrología
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Paseo Cuauhnáhuac 8532, colonia Progreso
62550 Jiutepec, Morelos, México
Teléfono: +52 (777) 3 28 36 00, extensión 345
mario_lopezperez@tlaloc.imta.mx

Dr. Humberto Marengo-Mogollón

International Commission On Large Dams
Teléfono: +52 (55) 4362 7780
hmarengom@gmail.com



Haga clic aquí para escribir al autor