

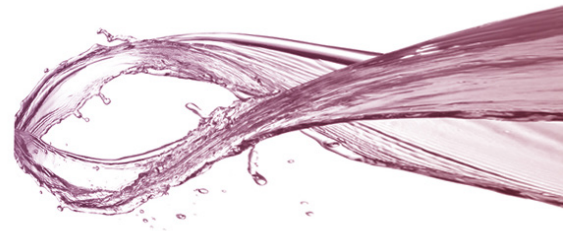
Impluvium

Publicación digital de la Red del Agua UNAM
Número 35, Abril - Junio 2026



GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO DE INUNDACIONES: ENFOQUES PREVENTIVOS, RESILIENCIA TERRITORIAL Y ADAPTACIÓN CLIMÁTICA

PRESENTACIÓN



La Gestión Integral del Riesgo de Inundación (GIRI) representa una transformación estratégica en el tratamiento de los fenómenos hídricos extremos, marcando la transición de un paradigma reactivo (enfrentar o contener)—tradicionalmente enfocado en la atención de emergencias y modelo ingenieril, este última se fundamenta en la construcción de infraestructura gris o rígida (diques, presas y encauzamiento de concreto)—hacia una política prospectiva, adaptativa y transversal. Frente al incremento en la frecuencia e intensidad de los eventos hidrometeorológicos extremos derivados de la variabilidad y del cambio climático, el enfoque ingenieril

de contención ha demostrado su insuficiencia, consolidando el principio rector de que la eliminación absoluta del riesgo es inviable. En su lugar, el planteamiento contemporáneo o moderno (convivir) postula la necesidad de fortalecer la resiliencia territorial mediante la coexistencia adaptativa con los ciclos naturales del agua.

En este marco, la reducción efectiva del riesgo se articula como un proceso multidimensional que trasciende la caracterización física del peligro. Si bien, el conocimiento hidrológico resulta indispensable, la vulnerabilidad está supeditada de manera directa a la certidumbre jurídica sobre la propiedad

del suelo, el ordenamiento del territorio, la capacidad de respuesta institucional y la participación activa de la comunidad. Por otra parte, la transmisión oportuna y rigurosa de la información técnica, junto con la consolidación de Sistemas de Alerta Temprana (SAT), constituye el pilar operativo para mitigar la exposición de la población y sus activos económicos.

Asimismo, el enfoque conceptual de la GIRI se alinea con los instrumentos multilaterales de mayor relevancia global, de manera particular, con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, la Agenda 2030 y el Acuerdo de París. A través de la instrumentación de sus cuatro prioridades estratégicas —comprender el riesgo, fortalecer la gobernanza, invertir en resiliencia e impulsar la preparación para una reconstrucción transformadora —, se promueve una transición desde las obras convencionales hacia las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) y la infraestructura verde en el ámbito de la cuenca hidrográfica.

A pesar de los avances conceptuales en la articulación de la GIRI y el Marco de Sendai, persisten

vacíos analíticos significativos sobre cómo operacionalizar la interacción entre la certeza jurídica del suelo, la percepción comunitaria del riesgo y la efectividad de las alertas tempranas en la escala micro-territorial. En ese sentido, la mayoría de las investigaciones previas abordan los modelos hidrológicos o la gobernanza institucional de forma aislada, omitiendo un análisis holístico que evalúe la sinergia entre las herramientas legales, la infraestructura socio-ecológica y la respuesta social ante la emergencia.

Los artículos presentados abordan los fundamentos, herramientas e implicaciones de política pública que sustentan la Gestión Integral del Riesgo de Inundación, analizando las dinámicas de gobernanza multinivel y la participación ciudadana como condiciones indispensables para la construcción de territorios sostenibles, seguros y resilientes.

Con este número, la Red del Agua UNAM reitera su compromiso con la generación y difusión de conocimiento útil para la toma de decisiones. Espero que este número sea un aporte valioso para comprender de mejor manera la importancia de la

Gestión Integral del Riesgo de Inundaciones, y que sus contenidos inspiren nuevas rutas de acción hacia una seguridad hídrica que ponga en el centro de la agenda el análisis de los fenómenos hidrometeorológicos extremos.

DRA. LUCÍA GUADALUPE MATÍAS RAMÍREZ
SUBDIRECTORA DE RIESGOS POR INUNDACIÓN
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES



.....

Impluvium es una publicación de la Red del Agua UNAM; puede ser reproducida con fines no lucrativos, siempre y cuando no se mutile, se cite la fuente completa y su dirección electrónica. Los artículos compartidos son responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan necesariamente la opinión de la Red del Agua UNAM o de sus miembros.

Comité editorial:

Dra. Fernando J. González Villarreal
Coordinador Técnico Red del Agua UNAM

M. en C. Jorge Alberto Arriaga Medina
Coordinador Ejecutivo de la Red del Agua UNAM

Editora invitada:

Dra. Lucía Guadalupe Matías Ramírez
Subdirectora de Riesgos por Inundación
Centro Nacional de Prevención de Desastres

Coordinación editorial y diseño:

Lic. Joel Santamaría García

Asistente de diseño

Lic. Marie Claire Mendoza Muciño

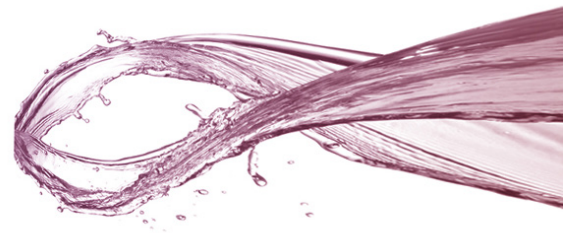
Publicación digital de la Red del Agua UNAM.
Número 35, Impluvium: Gestión integral del riesgo
de inundaciones: Enfoques preventivos,
resiliencia territorial y adaptación climática.

Abril - Junio 2026

www.agua.unam.mx/impluvium.html

.....

Impluvium es la publicación digital de divulgación de la Red del Agua UNAM, Año 14, No.35, Abril – Junio 2026. Es una publicación trimestral editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, a través de la Red del Agua de la UNAM, Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, Instituto de Ingeniería, edificio 5, Col. Copilco, Del. Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, Tel. (55) 56233600 ext.8745, <http://www.agua.unam.mx/impluvium.html>, jarriagam@iingen.unam.mx. Editor responsable: M. en C. Jorge Alberto Arriaga Medina. Reserva de Derechos al uso Exclusivo: en trámite., ISSN: en trámite, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Red del Agua UNAM, M. en C. Jorge Alberto Arriaga Medina, Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, Instituto de Ingeniería, edificio 5, Col. Copilco, Del. Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México fecha de la última modificación, Agosto 2026.



CONTENIDO

Presentación2

Dra. Lucía Guadalupe Matías Ramírez

ARTÍCULOS

Componentes y tendencias del Riesgo por Inundación en México 10

Miryam Ortiz Osornio y Daniel Jesus Gante Cruz

Del fenómeno a la gestión: variabilidad multiescalar de inundaciones y propuestas para su manejo integral. . . . 20

Edith Bonilla-López, Benito Corona-Vásquez,
y René Lobato-Sánchez

Peligrosidad hidráulica y resiliencia territorial frente a inundaciones en la Región Hidrológica 30 Grijalva–Usumacinta. 30

Yaridalia Ramírez Abundis

Gestión integral del riesgo de inundaciones en el Valle Metropolitano de San Luis Potosí: urbanización, vulnerabilidad socioespacial y adaptación territorial 42

Jonathan Abraham Quintero García

Cambio de uso de suelo e inundaciones en Reynosa, Tamaulipas: un reto para la resiliencia territorial. 53

Nazdry Briones-Escobedo

Diseño de un índice de riesgo hidro-climático urbano para la priorización de inversiones públicas 63

Marcelo Somenson, Sebastián Mantegna y Lautaro Contin

De la calibración estática a la gestión dinámica del drenaje urbano ante inundaciones extremas 71

José Roberto Cagigas Velásquez, Maritza Liliana Arganis Juárez
y Ramón Domínguez Mora

Infraestructura verde y soluciones basadas en la naturaleza para la gestión integral del riesgo de inundaciones: enfoques preventivos y resiliencia territorial ante el cambio climático 83

Juan Manuel Figueroa Mendiola

Conectividad, aguas subterráneas y soluciones basadas en la naturaleza: hacia una ciudad esponja. 97

Patricia Moreno-Casasola, Andrés De la Rosa y

Hugo López-Rosas

Eventos de precipitación extrema y adaptación climática: la importancia de los humedales costeros 108

Abril Montijo-Galindo y Arturo Ruiz-Luna

**Cuando la basura inunda: deber municipal
de prevención y gestión jurídica
del riesgo hidrometeorológico
en Chilpancingo 118**

Erick Javier García Ocampo

**Anticipar el riesgo de inundaciones
en un clima cambiante: hacia una
evolución de los sistemas de
alerta temprana en México 128**

Mildred Castro Hernández y Rodolfo Lacy Tamayo

**Resiliencia Sanitaria y Vigilancia
Ambiental en la Farmacia Hospitalaria
ante el Riesgo de Inundaciones 139**

Yazmin Hernández Melchor



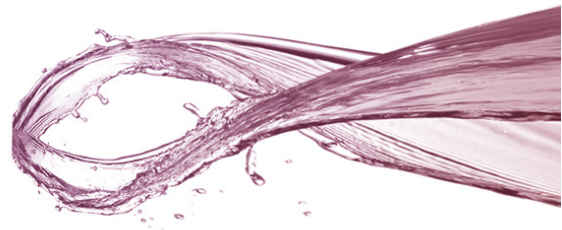
COMPONENTES Y TENDENCIAS DEL RIESGO POR INUNDACIÓN EN MÉXICO

MIRYAM ORTIZ OSORNIO

PROFESORA-INVESTIGADORA, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO,
ACADEMIA DE PROTECCIÓN CIVIL Y GESTIÓN DE RIESGOS, PLANTEL CUAUTEPEC

DANIEL JESUS GANTE CRUZ

EL COLEGIO DE MORELOS, ESTUDIANTE DE LA MAESTRÍA EN ANTROPOLOGÍA



Resumen

El riesgo es un sistema integrado por peligro, vulnerabilidad y exposición. La existencia de distintos fenómenos meteorológicos condicionan la evolución de las precipitaciones y con esto la ocurrencia de declaratorias de emergencia que pueden derivar en desastres. La vulnerabilidad es un elemento importante para la ocurrencia de desastres, sin embargo la construcción de índices de vulnerabilidad no está estandarizada, por lo que su seguimiento tiende a ser ambiguo. La revisión de distintas propuestas sugiere que el análisis debe realizarse regionalmente y posteriormente microzonificarse para la atención particular de las vulnerabilidades sociales. En el te-

rritorio nacional, las declaratorias de desastres y de emergencia se constituyen en un 50% y 33% respectivamente por eventos relacionados con inundaciones.

Palabras clave: Riesgo por inundación, Gestión de Riesgos, Peligros hidrometeorológicos

Introducción

La gestión del riesgo de desastres exige un enfoque transdisciplinar que reconozca al riesgo como la interacción entre peligro, vulnerabilidad y exposición (UNDRR, 2017). Los parámetros que definen estos subsistemas no se correlacionan linealmente,

por lo que su análisis requiere contextualización. Los peligros hidrometeorológicos, especialmente tormentas e inundaciones, constituyen una proporción significativa de los desastres a nivel global y generan impactos masivos en población y economía (CRED, 2026). En México, la frecuencia e intensidad de inundaciones fluviales y pluviales están condicionadas por la variabilidad climática y fenómenos como “El Niño”, así como por tendencias asociadas al cambio climático (CONAGUA, 2023; NOAA, 2026).

Estas condiciones aumentan la necesidad de comprender cómo la vulnerabilidad social, entendida como la propensión de individuos y sistemas a sufrir daños, y la exposición territorial amplifican los efectos de los eventos extremos. Por tanto, la construcción de índices de vulnerabilidad social constituye una herramienta clave para identificar desigualdades y orientar estrategias de mitigación. La integración de escalas macro y micro, junto con metodologías multivariadas y evidencia cualitativa, permite avanzar hacia una gestión integral del riesgo que responda a las condiciones específicas de cada comunidad y territorio.

La componentes del Riesgo

El riesgo, visto desde un punto de vista sistémico, resulta de la interacción de tres subsistemas principales: el peligro (P), la vulnerabilidad (V) y la exposición (E). Cada uno de estos cuenta con una fenomenología particular cuyo estudio requiere una visión transdisciplinar. Aunque existen propuestas para cuantificar el riesgo, como la sugerida por la oficina para la reducción de riesgo de desastres de las Naciones Unidas (UNDRR, por sus siglas en inglés), donde el riesgo: , es importante mencionar que siempre existe correlacionan entre sí. Cabe también mencionar que, el estudio epistemológico de los desastres parte de una vaga definición del concepto riesgo, alternándose en significado con el de peligro en sus orígenes históricos hacia la segunda mitad del siglo pasado.

Se entiende como peligro al potencial de que un fenómeno, natural o antrópico, produzca daños físicos, emocionales, económicos o ambientales en un sistema determinado (UNDRR, 2017). Existe un total de 281 peligros, clasificados en ocho categorías (UNDRR e ISC, 2025) y diez peligros específi-

cos asociados a inundaciones. El EM-DAT reportó 358 desastres asociados con peligros naturales en el 2025, de los cuales 156 (43.6%) fueron por tormentas y 119 (33.2%) por inundaciones (CRED, 2026). Particularmente las inundaciones generaron 5,235 (31.52%) defunciones, 22.2 millones (20.1%) de damnificados y 28.7 mil millones de dólares en pérdidas (16.9%) (CRED 2026). Así pues, a nivel global, las inundaciones no solo se colocan entre los peligros más frecuentes, sino también entre los de mayor impacto.

Por su parte, la vulnerabilidad se define como la susceptibilidad individual o conjunto de sistemas complejos a sufrir afectaciones ante diversos peligros, condicionada por factores económicos, sociales, físicos o ambientales previamente establecidos (UNDRR, 2017). Aunque se reconoce como una pieza fundamental en la reducción del riesgo de desastres, su integración es más reciente. En consecuencia, a diferencia del análisis de peligros, no existe un método estandarizado para el estudio de su comportamiento histórico. Finalmente, la exposición hace referencia a las personas, vivienda,

infraestructura, capacidades productivas y otros activos tangibles en las zonas propensas a la ocurrencia de peligros (UNDRR, 2017). Si bien, es un componente cuya medición resulta más directa, está limitado por las capacidades de cada comunidad, ciudad o país para mantener un registro constante que permita un análisis histórico recurrente.

Peligro por Inundaciones en México

La clasificación de la UNDRR y el ISC (2025) categoriza diez peligros relacionados con diferentes tipos de inundaciones, como lo son las inundaciones repentinas, costeras, fluviales, pluviales, entre otras. En nuestro país son frecuentes las inundaciones fluviales y pluviales, generalmente se producen por precipitaciones puntuales y se ven incrementadas por el bloqueo de escorrentías resultado de la urbanización no regulada y la acumulación de basura; tan solo en lo que va del año el se han recolectado cerca de 400 toneladas de basura en las barrancas del Estado de México (Chávez González, 2026). Las lluvias en México tienen una alta variabilidad espacial y temporal, con tendencia a sequías en el no-

roeste y lluvias extremas en el sureste principalmente (CONAGUA, 2023). En el año corriente, esta tendencia podría verse modificada debido al cambio climático y la ocurrencia de “El Niño”, cuyo pronóstico es de “muy fuerte” hacia el tercer trimestre del 2026, cuando podría registrarse el evento más intenso de esta naturaleza desde 1950 (NOAA, 2026).

Por otra parte, el promedio anual normal de precipitaciones en México es de 747.6 mm, con mínimos por debajo de los 700 mm en 2009 y 2011 y máximos ligeramente superiores a los 900 mm en 2010 y 2013. El máximo histórico ocurrió en 1958 con 997.8 mm promedio a nivel nacional. Los últimos seis períodos han mostrado una ten-

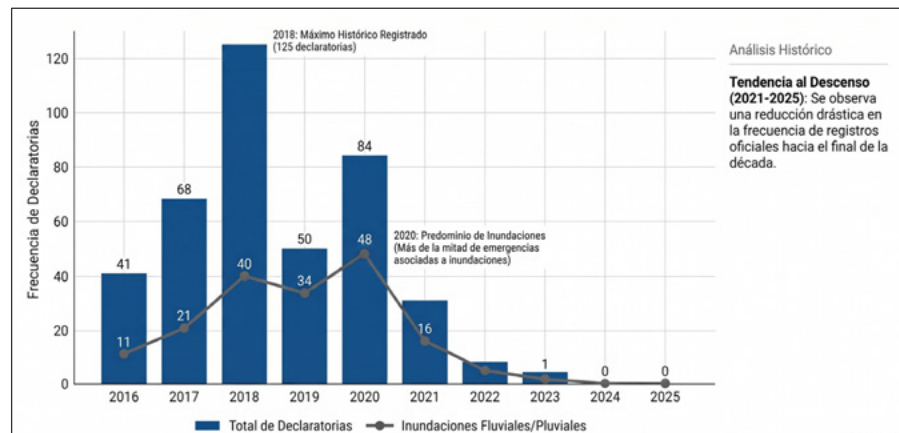


Figura 1. Evolución de las declaratorias de emergencia en México, la línea gris indica las relacionadas con inundaciones fluviales o pluviales.

Elaboración propia con información del DOF, generada con IA de NotebookLM y modificada de forma independiente.

dencia descendente, siendo el 2025 con 769 mm acumulados, el primer año con una diferencia positiva respecto al anterior (SMN, 2026). De acuerdo con pronósticos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2026), los promedios mensuales de precipitación podrían ser sobrepasados en el mes de agosto para los estados de Baja California, Chihuahua y Sonora.

En el histórico de declaratorias de emergencia reportadas en el diario oficial de la federación (DOF) en la última década, las precipitaciones juegan un papel preponderante, en promedio son más de una tercera parte (ver Figura 1).

La ausencia de declaratorias de emergencia y de desastre en 2025 y lo que va de 2026 no refleja necesariamente la inexistencia de fenómenos naturales, sino cambios en la forma institucional de gestionarlas y publicarlas. Tras la desaparición del FONDEN en 2020, los apoyos comenzaron a canalizarse mediante mecanismos administrativos directos y programas sociales universales, reduciendo la necesidad de declaratorias formales. Además, algunos dictámenes técnicos se registran en bases internas de Protección Civil o en comunicados estatales sin llegar al DOF, y en 2025 la única declaratoria publicada tuvo carácter administrativo más que operativo.

Vulnerabilidades y el riesgo por inundaciones

La vulnerabilidad es un componente esencial para comprender el riesgo. Para Ramos (2018) condiciona

planificación, resiliencia, cohesión social y pobreza, lo que puede ayudar a explicar por qué poblaciones, expuestas al mismo fenómeno hidrometeorológico presentan impactos diferenciados. Los desastres resultan de la interacción entre peligros naturales y condiciones sociales, económicas, institucionales y territoriales que determinan la capacidad de respuesta y recuperación (UNDRR, 2022). Cutter et al. (2003) propone que variables censales sobre vivienda, demografía, educación y servicios permiten evaluar diferencias espaciales. Rufat et al. (2015) añaden que la infraestructura, la salud y la capacidad adaptativa son determinantes en inundaciones. En América Latina, Kaztman (2000) y Ramos (2018) vinculan la vulnerabilidad con exclusión y segregación territorial, por lo que los índices deben considerar el contexto.

La medición de la vulnerabilidad debe distinguir claramente entre una escala macro, orientada a identificar patrones espaciales mediante indicadores censales comparables, y una escala micro, centrada en las dinámicas sociales locales, la percepción del riesgo y las estrategias de adaptación

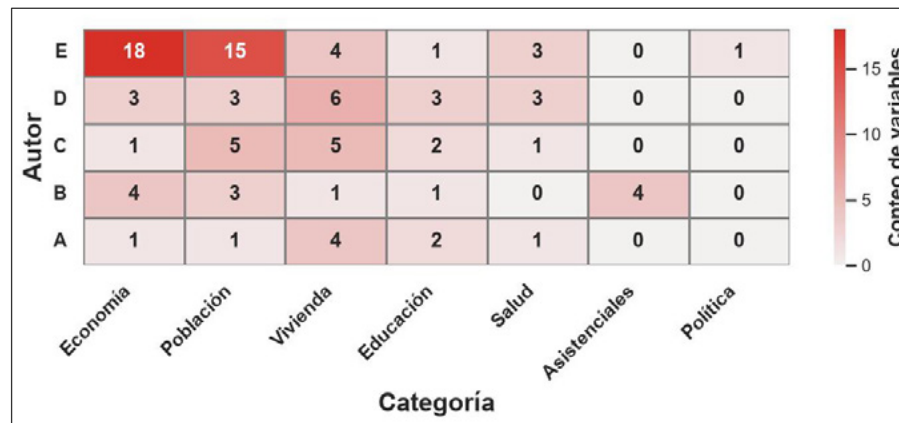


Figura 2. Variables incluidas en el cálculo del índice de vulnerabilidad social según diferentes propuestas. Elaboración propia con datos de: (A) Aguilar (2022), (B) Ayuntamiento de Madrid (2018), (C) Ruiz et al. (2022), (D) CENAPRED (2021) y (E) Cutter (2003).

comunitarias. La combinación de ambas escalas permite construir índices más robustos y operativos. Técnicas multivariadas, como la propuesta por Cutter et al. (2003), facilitan la reducción de dimensionalidad y la selección de variables. Pero su aplicación debe reconocer el carácter dinámico y contextual de la vulnerabilidad frente a las inundaciones (Rufat, 2015), adaptando indicadores y pesos según el territorio y los objetivos de la intervención.

Al revisar diferentes propuestas para la construcción de indicadores de vulnerabilidad social, se concluyó que las variables se pueden agrupar (ver Figura 2). Inspirados en el mapa de calor sugerido por Rufat et al. (2015), se procedió a categorizar las variables con el fin de identificar los componentes que adquieren mayor relevancia en distintos contextos. En el caso de México, los trabajos de Aguilar (2022), Ruiz et al. (2022) y CENAPRED (2021) otorgan un peso significativo a las condiciones de vivienda, lo cual resulta coherente con las afectaciones históricas que los fenómenos hidrometeorológicos han generado en esta región. Por su parte, el Ayuntamiento de Madrid (2018) y Cutter (2003)

destacan la importancia de la capacidad económica y de los datos demográficos en la construcción de sus índices. De manera gráfica, se observa que la definición del índice está condicionada por el contexto comunitario, social y espacial. Esto sugiere que las variables empleadas a nivel macro no necesariamente ofrecen la misma información en un análisis micro. En consecuencia, la construcción de un índice de vulnerabilidad debe adaptarse a las condiciones particulares y a los objetivos específicos de cada investigación.

Desastres asociados a inundaciones

Al igual que las declaratorias de emergencia emitidas hasta 2024, todos los eventos extremos que ocasionaron afectaciones o pérdidas humanas o económicas importantes se publicaron en el DOF. Sin embargo, debido a modificaciones en las políticas gubernamentales, este procedimiento cambió y en los últimos dos años no se han emitido declaratorias de desastre como tales. Algunos eventos, como las precipitaciones intensas en la región del Golfo y la explosión de una pipa en el incidente conocido

como El Puente de la Concordia, en la alcaldía Iztapalapa, habrían cumplido con los estándares internacionales para ser considerados desastres, pero no fueron clasificados de esa manera debido al nuevo marco normativo nacional.

El análisis de la información de declaratorias de desastre publicadas en el DOF (2016-2024) revela que, en promedio, el 50% de estas se relacionan con inundaciones fluviales o pluviales (ver Figura 3). Asimismo, la mayoría de estos eventos ocurren en estados con alta pluviosidad y precariedad económica, como Chiapas, Veracruz y Tabasco. Cabe destacar que, si bien el año 2020 registró un máximo histórico de declaratorias de desastre, se observó una reducción en aquellas vinculadas a inundaciones, coincidiendo con una disminución en los acumulados anuales de precipitaciones. Esto demuestra que la ocurrencia de un fenómeno hidrometeorológico es, por sí sola, insuficiente para detonar un desastre, pues requiere de una población vulnerable. Lo anterior subraya la importancia de monitorear continuamente tanto los peligros como las vulnerabilidades asociadas.

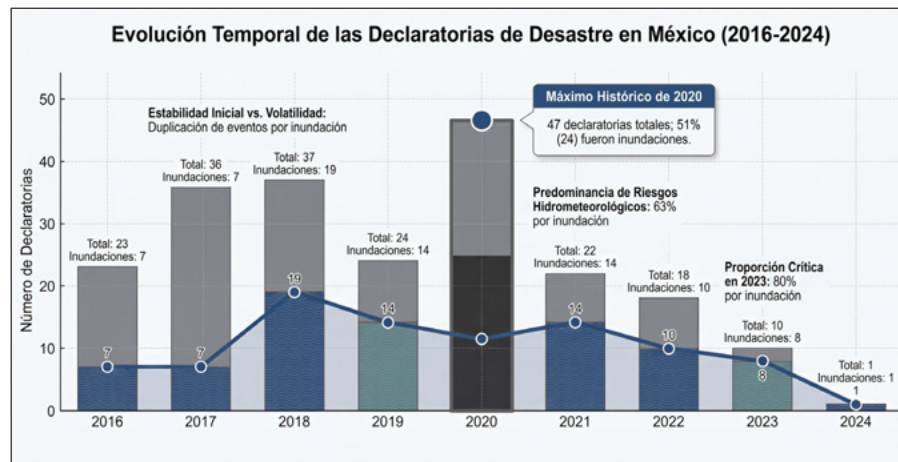


Figura 3. Declaratorias de desastre nacionales, la línea azul indica los desastres ocasionados por inundaciones fluviales o pluviales.

Elaboración propia con datos del DOF y generada con IA de NotebokLM.

Conclusiones

El riesgo es un sistema complejo compuesto por peligro, vulnerabilidad y exposición. En México, las inundaciones pluviales son agravadas por el cambio climático, la distribución asimétrica de lluvias y la vulnerabilidad social. Aunque la tendencia reciente de precipitaciones es descendente, el pronóstico de un evento “El Niño” severo anticipa una superación del promedio anual y con esto potencia la ocurrencia de inundaciones. Un

desafío crítico para la Gestión Integral de Riesgos es la falta de estandarización en la construcción de indicadores de vulnerabilidad; las propuestas actuales se enfocan principalmente en factores económicos, omitiendo la política gubernamental y capacidades locales. Por otro lado, existe una clara correlación entre precipitaciones extremas y más del 50% de las declaratorias anuales de emergencia y desastre. No obstante, los cambios en las políticas gubernamentales desde 2020 dificultan el seguimiento. Esto se evidenció en 2024 y 2025, años en los que, a pesar de registrarse eventos significativos, no se emitieron declaratorias formales.

Nota metodológica. Se emplearon Gemini 3.5 y Copilot para Windows en la revisión de estilo y redacción del presente artículo. NotebokLM se utilizó para la generación de imágenes.

Bibliografía

- Aguilar, D. (2022) Propuesta de un índice de vulnerabilidad social ante inundaciones para los municipios del estado de Tabasco, México (2010–2020). *Universita Ciencia*, 10(29), pp. 156–174.
- Ayuntamiento de Madrid, Área de Coordinación Territorial y Cooperación Público Social, Servicio de Estudios y Evaluación Territorial (2018) Metodología para la elaboración del Índice de Vulnerabilidad Territorial de Barrios y Distritos de Madrid y ranking de vulnerabilidad. Madrid: Ayuntamiento de Madrid.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) (2021) Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos: Evaluación de la Vulnerabilidad Física y Social. México: CENAPRED.
- Chávez González, S. (2026, 3 de julio). Basura agrava riesgo de inundaciones: CAEM retira 369 toneladas de desechos en barrancas de Edomex. *La Jornada*.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2023). Estadísticas del Agua en México 2023. Subdirección General Técnica.
- Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. (2003) Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly*, 84(2), 242–261.
- Ramos, D. (2018) Entendiendo la vulnerabilidad social: una mirada desde sus principales teóricos. Cuba: *Revista Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*.
- Kaztman, R. (2000). Notas sobre la medición de la vulnerabilidad social. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- NOAA Climate Prediction Center. (2026, 29 de junio). ENSO: Recent Evolution, Current Status and Predictions. National Weather Service, NCEP.
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR) (2022). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2022*.
- Rufat, S., Tate, E., Burton, C. G., & Maroof, A. S. (2015). Social vulnerability to floods: Review of case studies and implications for measurement. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 14, 470–486.

Ruiz, M., Rivera, M., y Hernández, J. (2022) Capacidad de respuesta ante inundaciones en sectores con vulnerabilidad social de la delegación Félix Osores Sotomayor del municipio de Querétaro. *Acta Universitaria, Multidisciplinary Scientific Journal*.

Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2026). Reporte del clima en México: Informe anual 2025. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

United Nations Office for Disaster Risk Reduction & International Science Council (UNDRR e ISC). (2025). Hazard Definition & Classification Review: 2025 update of the technical report.

United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). 2017. The Sendai Framework Terminology on Disaster Risk Reduction.

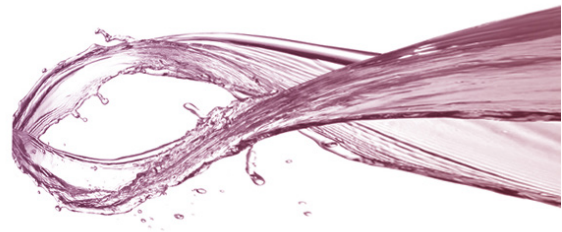
DEL FENÓMENO A LA GESTIÓN: VARIABILIDAD MULTIESCALAR DE INUNDACIONES Y PROPUESTAS PARA SU MANEJO INTEGRAL.

EDITH BONILLA-LÓPEZ, BENITO CORONA-VÁSQUEZ

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL,
UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS, PUEBLA

RENÉ LOBATO-SÁNCHEZ

COORDINACIÓN DE SEGURIDAD HÍDRICA,
INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA



ARTÍCULO

Resumen

Los procesos climatológicos, hidrológicos e hidráulicos, así como las condiciones de uso de suelo, que generan las inundaciones operan simultáneamente a diferentes escalas espaciales y varían en el tiempo, produciendo una variabilidad multiescalar que los criterios técnicos de manejo actuales no siempre reflejan. Este desfase entre un fenómeno dinámico y marcos normativos de carácter estático representa uno de los principales retos para la gestión integral del riesgo de inundación. A partir de una revisión del marco normativo internacional y mexicano vigente, este trabajo analiza los enfoques pre-

dominantes en la gestión del riesgo de inundación y propone criterios técnicos ajustados, considerando la condición de variabilidad del fenómeno a escala de subcuenca, cuenca y planicie. El enfoque multiescalar presentado busca contribuir a una base técnica para la toma de decisiones, el ordenamiento territorial y el fortalecimiento de la resiliencia ante inundaciones.

Introducción

La interacción dinámica de los procesos climatológicos, hidrológicos e hidráulicos, con las condicio-

nes antropogénicas, representadas por el uso de suelo, características fisiográficas de las cuencas y planicies, se asocia con el desarrollo del fenómeno de inundación. De esta relación, al observarse algún cambio en las condiciones de origen de este fenómeno, según la escala espacial analizada, resulta en respuestas hidrológicas e hidráulicas dinámicas (Duha Metin et al., 2020) y en consecuencia, en extensiones de inundación variables.

Para algunas de las primeras civilizaciones, existen registros sobre asentamientos humanos ubicados en las márgenes de los ríos, en donde el riesgo por inundación era reconocido y se crearon estrategias de planeación y alertamiento para dichas zonas inundables (Nakamura & Oki, 2018). Con el paso del tiempo, entre el periodo comprendido entre los años 2000 y 2020, Wang et al. (2022) observaron la transición del control de inundaciones a manejo de inundaciones, posteriormente a manejo del riesgo por inundación y, por último, su evolución hacia la resiliencia. La situación general actual plantea que la dinámica fluvial de las corrientes y planicies se mantiene homogénea, sin

considerar adecuadamente la dependencia espacial de las inundaciones ante procesos climatológicos, hidrológicos e hidráulicos, y la vigencia de medidas de manejo (Duha Metin et al., 2020).

A su vez, los cambios de uso de suelo pueden alterar el riesgo de inundación cuando una cuenca se encuentra urbanizada (Visessri & Ekkawatpanit, 2020; Thiha et al., 2021) y las políticas de uso de suelo pueden ser insuficientes o inadecuadas para mitigar los impactos para futuros desarrollos (Gori et al., 2019), promoviendo la ocupación de zonas inundables. Tal como lo menciona Bubeck et al. (2017), la capacidad de la infraestructura de protección contra inundaciones ha sido retada por la ocurrencia de eventos de inundación en zonas que se consideraban protegidas.

Para atender efectivamente al fenómeno de inundación, se requiere que los tomadores de decisiones consideren soluciones integrales multinivel, que involucren diferentes sectores y territorios (Glaus, 2020). Desde una perspectiva multiescalar, es posible revisar las acciones de gestión de inundaciones con el fin de reducir la probabilidad y su

impacto. Como comentaron Li et al. (2025), se puede alcanzar una mitigación de los daños por inundaciones y una resiliencia más eficiente, adaptando la gestión del riesgo de inundaciones a varias escalas espaciales.

En este contexto, el presente trabajo revisa los criterios técnicos a nivel nacional e internacional, para el manejo de inundaciones y propone, de acuerdo con la condición de variabilidad multiescalar de inundaciones, ajustes generales de medidas estructurales y no estructurales, orientados a fortalecer la base técnica para el manejo integral del riesgo por inundación, incluyendo el ordenamiento territorial en México.

Desarrollo

Revisión de criterios técnicos para el manejo de inundaciones

Se analizó la información disponible referente a los criterios técnicos para manejo de inundaciones establecidos dentro de instrumentos normativos, planes, programas, leyes o guías, para diferentes países dentro de los diferentes continentes (Tucci, 2007; Alfaro,

2011; Jha et al., 2012; Bubeck et al., 2017; Parvin et al., 2018; Almoradie et al., 2020; Fan & Huang, 2020; Glaus, 2020; MMAyA, 2021; Santos Zambrano, 2021; Sheehan & Brown, 2021; SGRD, 2025; Byaruhanga et al., 2025). Para Europa, se revisaron las consideraciones de Reino Unido, Alemania, Países Bajos, Suiza y España. En cuanto a Asia, los países de Bangladesh, China y Japón. En América, se analizaron México, Colombia, Perú, Bolivia, Brasil, Argentina y Estados Unidos. Mientras que, en el caso de África, se contó con información de Ghana y Sudáfrica.

La Figura 1, resume de manera general, las principales estrategias consideradas en cada región alrededor del manejo de inundaciones y del riesgo ante este fenómeno. A escala internacional, se observa una transición hacia la aplicación de medidas no estructurales, principalmente en Europa y Asia, donde su normatividad incluye el manejo integral y adaptativo. Mientras que, en América aún se da prioridad a las medidas estructurales y la responsabilidad de gestión se ubica a escala local. Para el caso de África, las estrategias consisten en atención reactiva y recuperación post-desastres.

AMÉRICA • Responsabilidad mayormente local • Prioridad a medidas estructurales • Normativa nacional y regional	EUROPA • Transición a medidas no estructurales • Normatividad europea y nacional • Manejo integral y adaptativo
ÁFRICA • Enfoque en inversión post-desastres • Coordinación interinstitucional	ASIA • Normatividad y planes de manejo integral • Enfoque en resiliencia climática • Cooperación nacional y local
OCEANÍA • Instrumentos de transferencia de zonas inundables a otros usos • Diferenciación entre zonas inundables agrícolas y urbanas • Grupo de asesores nacional	

Figura 1. Panorama regional para el manejo de inundaciones a escala internacional.

También se presenta la Figura 2, agrupando aspectos particulares del manejo de inundaciones en México (CONAGUA, 2011, 2019; LGPC, 2012; LGAHOTDU, 2013; LGEEPA, 2015; CENAPRED, 2016; PND, 2025; LAN, 2025; LGA, 2025; PNH 2026-2030, 2026; SEDATU, 2024, 2025). Se cuenta con un marco normativo robusto, para el manejo de inundaciones y sobre zonas no susceptibles para asentamientos humanos por riesgo, así como, la participación de

múltiples instituciones y comités intersecretariales, para la atención principalmente de sequías, inundaciones y cambio climático. En el caso de algunos de los instrumentos aplicables, estos buscan orientar, desarrollar e implementar las medidas y acciones alrededor del manejo de inundaciones, representando una base institucional con oportunidad de fortalecerse al incorporar la variabilidad multiescalar de las inundaciones como parte de los criterios técnicos.

Implicaciones de incluir la condición de variabilidad multiescalar de inundaciones en su manejo

En cuanto a la determinación de la variabilidad de los parámetros climatológicos, antropogénicos, hidrológicos e hidráulicos, asociados con el fenómeno de la inundación, diversos estudios han abordado diferentes perspectivas, desde el uso de medidas estadísticas, porcentaje de cambio, modelos de regresión y tendencia, entre otros (Kumar et al., 2023; Panikkar et al., 2023). La aplicación de dichas técnicas para la cuantificación de la variabilidad, permiten



Figura 2. Panorama nacional para el manejo de inundaciones en México.

caracterizar la dinámica del fenómeno y funcionar como base técnica para la propuesta de ajustes a las acciones de manejo de inundación, sin que ello implique sustituir los criterios técnicos vigentes, sino fortalecerlos y adaptarlos a las condiciones de variabilidad del fenómeno.

La Tabla 1, resume la propuesta de ajustes generales a los criterios técnicos, incluyendo medidas estructurales y no estructurales, así como soluciones basadas en la naturaleza, considerando su relación con la condición de variabilidad de las inundaciones y el impacto esperado según la escala espacial.

Conclusión

En conjunto, estas propuestas de ajuste presentan un enfoque que atiende la necesidad de reducir la brecha entre las características dinámicas de las inundaciones y los criterios técnicos de carácter estático, incorporando la condición de variabilidad y una visión multiescalar, dentro de las acciones de manejo de inundaciones. En este sentido, se busca alcanzar una gestión integral del riesgo por inundación adaptable y fortalecer la resiliencia territorial, basada en evidencia técnica y particularidades de las diferentes corrientes, cuencas y planicies de nuestro país.

A partir del análisis presentado, es posible plantear algunas conclusiones respecto al manejo

Tabla 1. Propuestas generales de manejo de inundaciones considerando variabilidad y escala espacial.

Tipo	Condición de variabilidad	Ajuste de criterio	Impacto esperado a escala espacial
Estructurales	A mayor variabilidad de las condiciones generadoras del fenómeno de inundación, posibilidad de insuficiencia de parámetros de diseño originales	Revisión y ajuste periódico de parámetro de diseño según grado de variabilidad	Subcuenca: disminuye riesgo de falla de infraestructura de control. Cuenca: control de caudales hacia aguas abajo Planicie: reducción de extensión de inundación
Soluciones basadas en naturaleza	Mayor margen de adaptación ante la variabilidad del fenómeno.	Priorizar alternativa o combinar con otras medidas ante mayor variabilidad.	Subcuenca: atenuación de escurrimientos. Cuenca: control de tránsito de avenidas hacia aguas abajo Planicie: reducción de velocidad de flujo, favorece infiltración.
No estructurales	Instrumentos que pierden vigencia ante mayor variabilidad.	Fortalecer la actualización de instrumentos de planeación, sistemas de alerta temprana y comunicación del riesgo.	Subcuenca: mejorar monitoreo y anticipación ante evento crítico. Cuenca: agiliza coordinación para respuesta oportuna. Planicie: reducción de exposición de población y bienes con alertamiento.

de inundaciones, incorporando su variabilidad multiescalar.

Los criterios técnicos de manejo requieren de la incorporación de la condición variable de las inundaciones, en las diferentes escalas a las que ocurren los procesos que las generan.

Las propuestas presentadas constituyen un punto de partida conceptual que requiere, de una evaluación de viabilidad técnica y aplicabilidad, de acuerdo con la normatividad vigente y el marco teórico actual.

Al explorar este enfoque de manejo de inundaciones basado en información de su condición variable, se contribuye a los Objetivos de Desarrollo Sostenible 11, 13 y 15 de las Naciones Unidas, al fortalecer la resiliencia y la capacidad de adapta-

ción frente a riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales.

Anclar las políticas, estrategias y planes de gestión de inundaciones en México al conocimiento de la variabilidad del fenómeno a diferentes escalas espaciales permite avanzar hacia una protección más efectiva de la población, sus bienes, zonas agrícolas, así como a los ecosistemas asociados a ríos y planicies de inundación.

Referencias

- Alfaro, T. (2011). Gestión de riesgos ante inundaciones en el Perú.
- Almoradie, A., de Brito, M. M., Evers, M., Bossa, A., Lumor, M., Norman, C., Yacouba, Y., & Hounkpe, J. (2020). Current flood risk management practices in Ghana: Gaps and opportunities for improving resilience. *Journal of Flood Risk Management*, 13(4). <https://doi.org/10.1111/jfr3.12664>
- Bubeck, P., Kreibich, H., Penning-Rowsell, E. C., Botzen, W. J. W., de Moel, H., & Klijn, F. (2017). Explaining differences in flood management approaches in Europe and in the USA – a comparative analysis. *Journal of Flood Risk Management*, 10(4), 436–445. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12151>
- Byaruhanga, N., Kibirige, D., & Mkhonta, G. (2025). Understanding South Africa's Flood Vulnerabilities and Resilience Pathways: A Comprehensive Overview. In *Water*, 17(17). <https://doi.org/10.3390/w17172608>
- CENAPRED. (2016). Guía de Contenido Mínimo para la elaboración de Atlas de Riesgos. (15).
- CONAGUA. (2011). Manual para el control de inundaciones (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ed.; 2011th ed.). Comisión Nacional del Agua. www.conagua.gob.mx
- CONAGUA. (2019). Programa Nacional Contra Contingencias Hidráulicas (PRONACCH). <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/programa-nacional-de-prevencion-contra-contingencias-hidraulicas-pronacch>
- Duha Metin, A., Viet Dung, N., Schröter, K., Vorogushyn, S., Guse, B., Kreibich, H., & Merz, B. (2020). The role of spatial dependence for large-scale flood risk estimation. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(4), 967–979. <https://doi.org/10.5194/nhess-20-967-2020>
- Fan, J., & Huang, G. (2020). Evaluation of flood risk management in Japan through a recent case. *Sustainability*, 12(13). <https://doi.org/10.3390/su12135357>
- Glaus, A. (2020). Policy design in flood risk management: Studying policy preferences in three sub-catchment areas in Switzerland. *WIT Transactions on the Built Environment*, 194, 35–47. <https://doi.org/10.2495/FRIAR200041>

Gobierno de México. (2025). Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2025-2030. <https://www.gob.mx/presidencia/documentos/plan-nacional-de-desarrollo-2025-2030-391771>

Gori, A., Blessing, R., Juan, A., Brody, S., & Bedient, P. (2019). Characterizing urbanization impacts on floodplain through integrated land use, hydrologic, and hydraulic modeling. *Journal of Hydrology*, 568, 82-95. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.10.053>

Jha, A. K., Bloch, R., & Lamond, J. (2012). Cities and Flooding A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century. <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-8866-2>

Kumar, S., Mishra, A., & Singh, U. K. (2023). Assessment of Land Cover Changes and Climate Variability Effects on Catchment Hydrology Using a Physically Distributed Model. *Sustainability*, 15(13). <https://doi.org/10.3390/su151310304>

Ley de Aguas Nacionales (LAN). (2025). Diario Oficial de la Federación. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lan/LAN_ref11_11dic25.pdf

Ley General de Aguas (LGA). Diario Oficial de la Federación. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lan/LAN_ref11_11dic25.pdf

Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (LGAHOTDU). (2013). Diario Oficial de la Federación. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGAHOTDU.pdf>

Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA). (2015). Diario Oficial de la Federación. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf>

Ley General de Protección Civil (LGPC). (2012). Diario Oficial de la Federación. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPC.pdf>

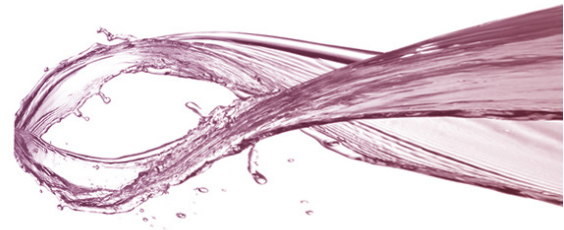
Li, H., Wang, Q., Zuo, M., Long, X., & Zang, X. (2025). Scale effects and driving mechanisms of flood in a multilevel sub-basin perspective - A case study of Haihe River Basin, China. *Environmental Impact Assessment Review*, 115. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2025.107984>

- MMAyA. (2021). Catálogo de medidas de protección y mitigación para reducir riesgos para eventos de inundación y crecidas en áreas agrícolas y urbanas en cuencas alta y baja.
- Nakamura, S., & Oki, T. (2018). Paradigm Shifts on Flood Risk Management in Japan: Detecting Triggers of Design Flood Revisions in the Modern Era. *Water Resources Research*, 54(8), 5504–5515. <https://doi.org/10.1029/2017WR022509>
- Panikkar, U. R., Srivastav, R., & Srivastava, A. (2023). Multiscale Variability of Hydrological Responses in Urbanizing Watershed. *Remote Sensing*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/rs15030796>
- Parvin, G. A., Rahman, R., Fujita, K., & Shaw, R. (2018). Overview of flood management actions and policy planning in Bangladesh. *International Journal of Public Policy*, 14(6), 423–443. <https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Ganges-Brahmaputra->
- Santos Zambrano, O. A. (2021). Revisión de normas y procedimientos para el estudio de las inundaciones en Colombia, comparación con la normativa europea vigente. [Tesis, Universidad Industrial de Santander].
- Secretaría de Gobernación. (2026). Programa Nacional Hídrico (PNH) 2026-2030. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5787687&fecha=18/05/2026#gsc.tab=0
- SEDATU. (2025). Estrategia Nacional de Ordenamiento Territorial (ENOT). Diario Oficial de la Federación. <https://www.gob.mx/sedatu/documentos/estrategia-nacional-de-ordenamiento-territorial-de-la-sedatu-2020-2040>
- SEDATU. (2024). NOM-006-SEDATU-2024. Diario Oficial de la Federación. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/982111/NOM-006-SEDATU-2024.pdf>
- SGRD. (2025). Plan Multisectorial ante Lluvias Intensas y Peligros Asociados.
- Sheehan, J., & Brown, J. (2021). Flood risk management: Property rights-focussed instruments in Australia. *Environmental Science and Policy*, 119, 12–17. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.11.008>

PELIGROSIDAD HIDRÁULICA Y RESILIENCIA TERRITORIAL FRENTE A INUNDACIONES EN LA REGIÓN HIDROLÓGICA 30 GRIJALVA-USUMACINTA

YARIDALIA RAMÍREZ ABUNDIS

ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS DE LA TIERRA (ENCiT),
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



Resumen

La Región Hidrológica 30 Grijalva–Usumacinta (RH30) presenta una alta susceptibilidad ante inundaciones debido a sus características hidrológicas, geomorfológicas y climáticas. El presente trabajo analiza la peligrosidad hidráulica y la resiliencia territorial mediante modelación hidráulica, análisis espacial y escenarios de cambio climático. Se utilizaron resultados obtenidos con HEC-RAS para estimar profundidades y velocidades asociadas a caudales máximos en distintos sectores de la RH30, integrando además mapas de inundación y criterios de peligrosidad hidráulica basados en el diagrama de Dorrigo. Se incorporaron proyecciones climá-

ticas regionalizadas bajo escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5. Los resultados muestran sectores con alta peligrosidad hidráulica y potencial de daño significativo sobre población, infraestructura y territorio. Las proyecciones climáticas indican modificaciones en precipitación y aumento de temperatura hacia finales del siglo XXI, lo que podría intensificar la ocurrencia de inundaciones extremas. El estudio destaca la importancia de fortalecer estrategias de resiliencia territorial, planeación preventiva, monitoreo hidrometeorológico, ordenamiento territorial y gestión integral del riesgo en el sureste de México, especialmente en zonas expuestas a desbordamien-

tos recurrentes y ocupación humana cercana a cauces principales. Además, se reconoce la necesidad de integrar herramientas prospectivas para apoyar futuras decisiones de adaptación climática regional.

Introducción

Las inundaciones representan uno de los fenómenos hidrometeorológicos con mayor impacto social, económico y territorial a nivel mundial. En México, la Región Hidrológica 30 Grijalva-Usumacinta (RH30) constituye una de las zonas con mayor recurrencia de eventos extremos debido a su elevada disponibilidad hídrica, compleja red fluvial y condiciones climáticas tropicales (CENAPRED, 2009). Los estados de Chiapas y Tabasco han

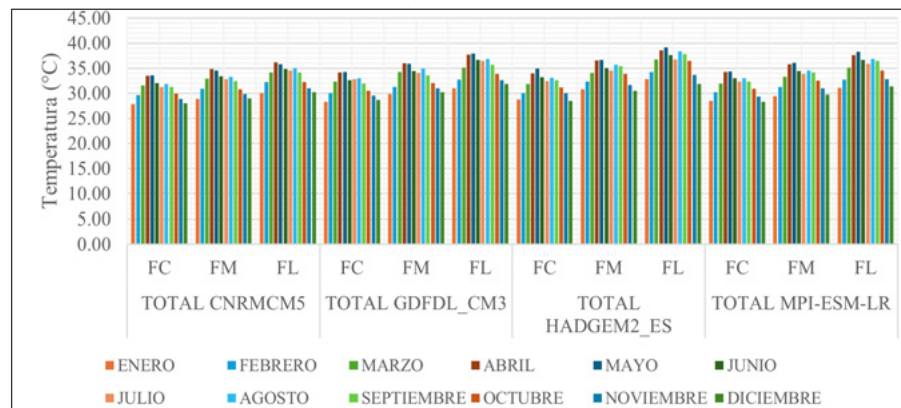


Figura 1 Proyección de Temperatura Máxima °C para los tres horizontes temporales y cuatro modelos de cambio climático, con RCP- 8.5 para RH-30.

Fuente: elaboración propia con datos del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático (ICAYCC-UNAM).

registrado históricamente inundaciones severas asociadas a lluvias intensas, desbordamiento de ríos y ocupación de zonas naturalmente inundables, provocando daños sobre asentamientos humanos, infraestructura y actividades productivas (CONAGUA, 2015).

La RH30 concentra algunos de los ríos más importantes del país, entre ellos el Grijalva y el Usumacinta, cuyos caudales responden rápidamente ante eventos extremos de precipitación. A ello se suma la influencia del

cambio climático, el cual modifica los patrones hidrometeorológicos y favorece alteraciones en la frecuencia e intensidad de lluvias extremas. Diversos escenarios climáticos regionalizados muestran incrementos de temperatura (Véase Figura 1) y variaciones en precipitación (Véase Figura 2) hacia finales del siglo XXI, los escenarios climáticos suelen elaborarse en horizontes temporales: futuro cercano (2015-2039), útil para políticas de adaptación, y futuro lejano (2075-2099), así como futuro medio el cual es un intervalo entre los horizontes mencionados, de acuerdo a lo anterior la ocurrencia de inundaciones podrían intensificarse y ampliar las condiciones de vulnerabilidad territorial (Ramírez Abundis, 2025).

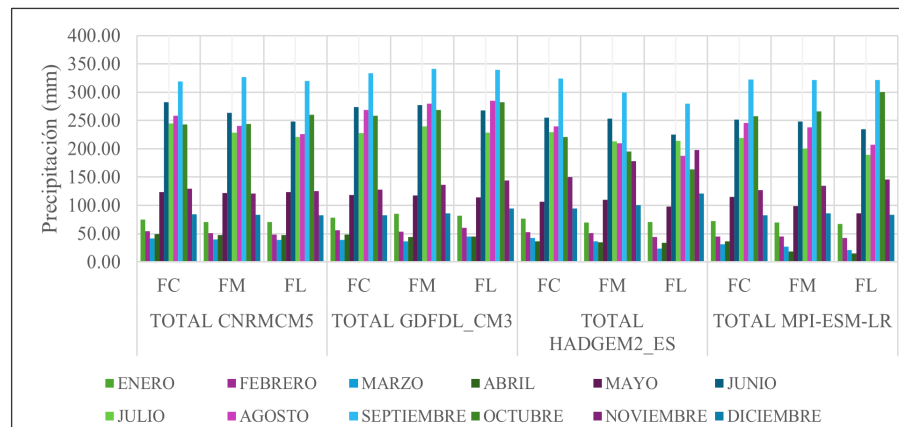


Figura 2 Proyección de precipitaciones (mm) para los tres horizontes temporales y cuatro modelos de cambio climático, con RCP 8.5 de RH-30.

Fuente: elaboración propia con datos del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático (ICAYCC-UNAM).

La Región Hidrológica 30 Grijalva–Usumacinta ha sido escenario de algunas de las inundaciones más severas registradas en México durante las últimas décadas. Eventos extremos ocurridos en Tabasco y Chiapas han provocado afectaciones sociales, económicas y ambientales de gran magnitud, evidenciando la vulnerabilidad territorial

existente en amplias zonas del sureste mexicano (CENAPRED, 2009). La recurrencia de desbordamientos fluviales ha generado pérdidas sobre infraestructura carretera, viviendas, actividades agropecuarias y sistemas de comunicación, afectando directamente la calidad de vida de la población expuesta (CONAGUA, 2015).

Diversos estudios han señalado que la expansión urbana sobre planicies de inundación y el cambio de uso de suelo han incrementado significativamente la exposición territorial frente a eventos hidrometeorológicos extremos. La disminución de áreas naturales de infiltración favorece mayores volúmenes de escurrimiento superficial y acelera la respuesta hidrológica de las cuencas durante eventos de precipitación intensa (Castillo Oropeza y de Alba Murrieta, 2017). Las inundaciones dejan de ser únicamente fenómenos naturales y se convierten en procesos estrechamente vinculados con la ocupación del territorio y la vulnerabilidad social.

El cambio climático representa un factor adicional de incertidumbre para la gestión hídrica regional. Las modificaciones en temperatura y pre-

cipitación proyectadas por distintos modelos climáticos sugieren posibles alteraciones en la frecuencia e intensidad de eventos extremos (IPCC, 2021; Ramírez Abundis, 2025). En regiones tropicales como la RH30, estas variaciones podrían favorecer escenarios de inundación más severos hacia finales del siglo XXI, incrementando los desafíos para la planeación territorial y la adaptación climática.

La gestión integral del riesgo requiere herramientas que permitan comprender el comportamiento hidráulico de los ríos y su interacción con el territorio. La modelación hidráulica mediante sistemas de información geográfica y modelos numéricos como HEC-RAS permite generar mapas de inundación, profundidad y velocidad del flujo, facilitando la identificación de sectores con mayor peligrosidad hidráulica (Alcocer-Yamanaka et al., 2016). La incorporación de criterios de evaluación como el diagrama de Dorrigo permite interpretar el potencial de daño asociado a diferentes combinaciones de profundidad y velocidad del agua (Cruz-García, 2019).

El concepto de resiliencia territorial adquiere relevancia frente a escenarios hidrometeorológicos cada vez más complejos, ya que implica la capacidad de los territorios y las comunidades para anticipar, resistir y adaptarse a los efectos de eventos extremos. La integración entre modelación hidráulica, análisis espacial y escenarios de cambio climático permite fortalecer estrategias preventivas orientadas al ordenamiento territorial, reducción de vulnerabilidad y adaptación climática (Castillo Oropeza y de Alba Murrieta, 2017).

El objetivo del presente trabajo es analizar la peligrosidad hidráulica y la resiliencia territorial frente a inundaciones en la Región Hidrológica 30 Gri-

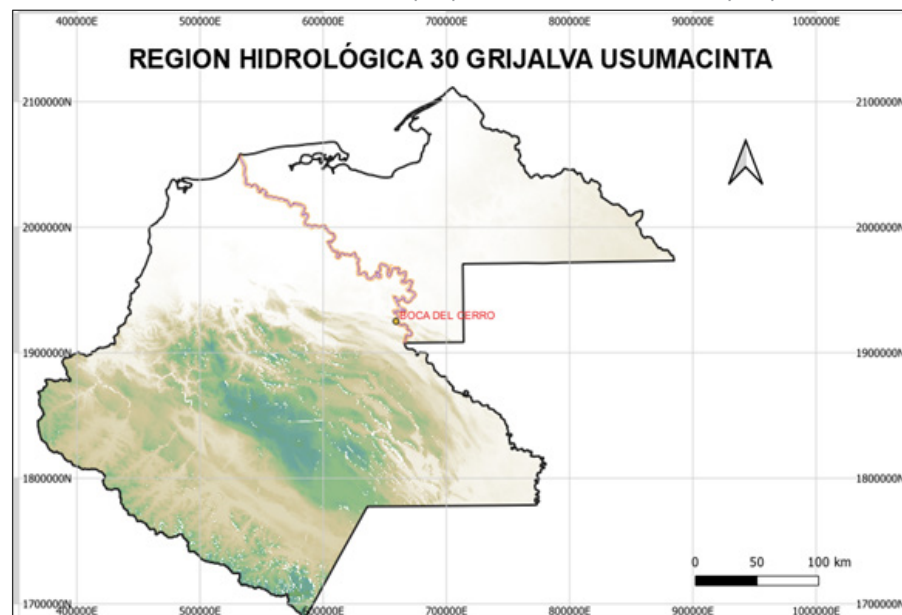


Figura 3 Proyección del río Usumacinta en La Región hidrológica 30.

Fuente: elaboración propia mediante QGIS con información geoespacial de CONAGUA e INEGI.

jalva–Usumacinta mediante modelación hidráulica y escenarios de cambio climático, identificando sectores potencialmente vulnerables ante eventos extremos de inundación.

Desarrollo

La Región Hidrológica 30 Grijalva–Usumacinta se localiza en el sureste de México y comprende parte de los estados de Chiapas y Tabasco. Esta región concentra importantes aportaciones hídricas provenientes de zonas montañosas de la Sierra Madre de Chiapas, es el caso del río Usumacinta (Véase Figura 2), y extensas planicies sujetas a inundación. La RH30 constituye una de las regiones con mayor disponibilidad de agua superficial en México; sin embargo, también presenta una elevada vulnerabilidad ante fenómenos hidrometeorológicos extremos debido a la combinación entre precipitación intensa, relieve montañoso y expansión de asentamientos humanos sobre zonas naturalmente inundables (CONAGUA, 2015).

Para el análisis hidráulico se utilizaron resultados obtenidos mediante HEC-RAS, considerando condiciones de caudal máximo (Q_{max}) en diferentes estaciones hidrométricas representativas de la RH30. La modelación permitió obtener mapas de profundidad y velocidad hidráulica en el río Usumacinta asociados a eventos extremos de inundación.

Los resultados muestran sectores con alta peligrosidad hidráulica, particularmente en zonas cercanas a cauces principales y planicies de inundación. Las profundidades hidráulicas obtenidas alcanzaron valores superiores a 10 m (Véase Figura 4a) en distintas estaciones analizadas, mientras que las velocidades (Véase Figura 4b) evidenciaron condiciones de flujo con capacidad potencial de daño sobre infraestructura y territorio

De acuerdo con la interpretación basada en el monograma de Dorrigo (Véase Figura 5), la mayoría de las estaciones analizadas presentan categorías de daño “Muy Alto”, lo cual refleja la severidad potencial de las inundaciones dentro de la RH30.

Los mapas hidráulicos evidencian la expansión lateral del flujo sobre áreas susceptibles a inundación y permiten identificar sectores con mayor exposición territorial. La combinación entre profundidad y velocidad representa uno de los principales factores asociados al potencial destructivo de las inundaciones, particularmente en zonas cercanas a asentamientos humanos y vías de comunicación.



Figura 4 (a) Mapa de profundidad y (b) velocidad para estudio de inundaciones en el Río Usumacinta proyectado hasta 2050.

Fuente: elaboración propia mediante modelación hidráulica en HEC-RAS.

Se analizaron escenarios climáticos regionalizados bajo trayectorias RCP 4.5 y RCP 8.5. Las proyecciones muestran incrementos de temperatura máxima hacia finales del siglo XXI, particularmente bajo el escenario RCP 8.5. Se identifican modificaciones en los patrones de precipitación regional, lo que podría alterar la dinámica hidrológica y favorecer eventos extremos de mayor intensidad.

Las variaciones proyectadas en precipitación y temperatura sugieren posibles cambios en el comportamiento de avenidas máximas y procesos de inundación dentro de la RH30. La resiliencia territorial requiere enfoques preventivos sustentados en gestión integral del riesgo, ordenamiento territorial y fortalecimiento de capacidades institucionales.

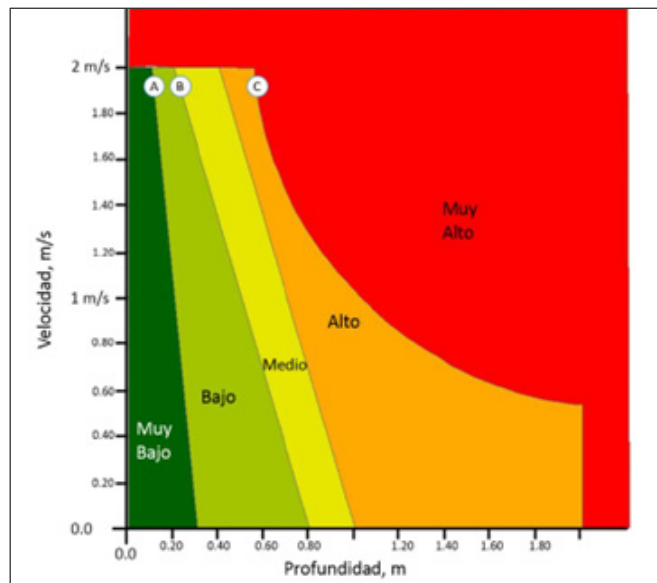


Figura 5 Monograma de Dorrigo para riesgo por inundaciones a través de las velocidades y profundidades obtenidas del estudio en el programa HECRAS

Fuente: (Cruz-García, 2019)

Para el desarrollo de la modelación hidráulica se utilizaron herramientas de simulación hidrodinámica mediante HEC-RAS, integrando infor-

mación topográfica, hidrométrica y espacial de distintos sectores de la RH30. El modelo permitió representar el comportamiento del flujo ante condiciones de caudales máximos y generar superficies de inundación asociadas a diferentes escenarios hidráulicos (Alcocer-Yamanaka et al., 2016).

La simulación hidráulica consideró variables como profundidad, velocidad y extensión lateral del flujo, las cuales fueron integradas dentro de un sistema de información geográfica para la elaboración de mapas temáticos de peligrosidad. Estos mapas permiten identificar sectores con mayor susceptibilidad a inundación y reconocer posibles zonas de afectación sobre infraestructura y asentamientos humanos.

La combinación entre profundidad y velocidad constituye uno de los principales indicadores de peligrosidad hidráulica, ya que ambas variables determinan el potencial destructivo del flujo durante eventos extremos. Bajo velocidades elevadas y grandes profundidades, las inundaciones pueden generar procesos erosivos, daños estructurales y riesgos significativos para la población (Cruz-García, 2019).

La incorporación del diagrama de Dorrigio permitió interpretar los niveles potenciales de daño asociados a diferentes condiciones hidráulicas. Este criterio facilita la clasificación de sectores con peligrosidad baja, media o alta, fortaleciendo los procesos de evaluación territorial y gestión preventiva del riesgo.

La integración entre modelación hidráulica y escenarios climáticos constituye una herramienta relevante para la identificación de zonas vulnerables y el diseño de estrategias de adaptación frente al cambio climático.

Los resultados obtenidos permiten identificar que las zonas con mayor peligrosidad hidráulica coinciden con sectores cercanos a cauces principales y áreas con expansión urbana creciente. Esta condición incrementa la vulnerabilidad territorial debido a la ocupación de planicies de inundación y al cambio de uso de suelo, factores que reducen la capacidad natural de infiltración y favorecen el incremento del escurrimiento superficial durante eventos extremos de precipitación. La presión antrópica sobre los sistemas fluviales representa

un elemento adicional que puede intensificar las afectaciones por inundación dentro de la RH30.

De igual manera, los mapas hidráulicos desarrollados constituyen una herramienta útil para la planeación territorial y la gestión integral del riesgo, ya que permiten reconocer sectores prioritarios para medidas de prevención, protección y adaptación climática. La incorporación de modelación hidráulica y escenarios de cambio climático contribuye al fortalecimiento de estrategias orientadas a la resiliencia territorial, especialmente en regiones donde históricamente las inundaciones han provocado pérdidas económicas, afectaciones sociales y daños recurrentes sobre infraestructura y actividades productivas.

Se proyectó una serie hidrológica hacia el año 2050 con el objetivo de simular posibles escenarios de inundación bajo condiciones futuras de variabilidad climática. Esta proyección permitió estimar comportamientos potenciales de caudales extremos y evaluar la respuesta hidráulica de distintos sectores de la RH30 ante eventos de mayor magnitud. Los resultados sugieren una posible intensificación

de las zonas susceptibles a inundación, particularmente en áreas cercanas a los principales cauces y planicies con alta exposición territorial.

Conclusiones

La Región Hidrológica 30 Grijalva–Usumacinta presenta condiciones de elevada peligrosidad hidráulica debido a la interacción entre grandes caudales, altas profundidades y velocidades significativas del flujo. Los resultados obtenidos mediante modelación hidráulica evidencian sectores con alto potencial de afectación sobre infraestructura y asentamientos humanos ubicados en planicies de inundación.

Las proyecciones climáticas bajo escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 muestran modificaciones en temperatura y precipitación que podrían intensificar la ocurrencia de eventos extremos de inundación hacia finales del siglo XXI. Estas variaciones climáticas sugieren posibles alteraciones en la dinámica hidrológica regional, favoreciendo incrementos en la magnitud y recurrencia de avenidas máximas dentro de la RH30.

La generación de mapas hidráulicos permitió identificar zonas susceptibles y fortalecer los procesos de planeación territorial y gestión preventiva del riesgo. La resiliencia territorial en la RH30 requiere estrategias integrales que incorporen adaptación climática, monitoreo hidrometeorológico, sistemas de alerta temprana y reducción de vulnerabilidad frente a inundaciones.

Además, los resultados obtenidos evidencian la importancia de integrar herramientas de modelación hidráulica y escenarios de cambio climático dentro de los procesos de gestión integral del riesgo. La utilización de modelos hidráulicos permitió reconocer zonas con mayor exposición territorial y estimar posibles comportamientos de inundación bajo condiciones futuras, contribuyendo a una mejor comprensión de la dinámica hidrológica de la RH30 y de sus posibles impactos sobre la población y las actividades productivas.

La proyección de escenarios hacia el año 2050 sugiere que algunas zonas podrían experimentar una mayor recurrencia de eventos extremos asociados a incrementos en precipitación y variabilidad

climática. La ocupación de planicies inundables, el crecimiento urbano desordenado y la transformación del uso de suelo representan factores que podrían incrementar significativamente las pérdidas económicas y sociales ante futuras inundaciones.

Los resultados también muestran la relevancia de incorporar información hidrológica e hidráulica en los instrumentos de planeación territorial y toma de decisiones. La identificación de sectores con alta peligrosidad puede contribuir al diseño de políticas públicas orientadas a disminuir la exposición de la población y favorecer medidas preventivas antes que acciones reactivas posteriores al desastre.

Finalmente, el presente estudio resalta la necesidad de fortalecer estrategias preventivas orientadas al ordenamiento territorial, monitoreo hidrometeorológico y desarrollo de infraestructura resiliente. La integración entre conocimiento científico, herramientas geoespaciales y gestión territorial constituye un elemento fundamental para reducir la vulnerabilidad de las comunida-

des expuestas y favorecer procesos de adaptación frente al cambio climático en el sureste de México.

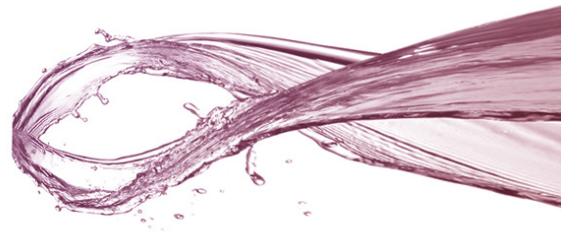
Los resultados evidencian la necesidad de fortalecer políticas de ordenamiento territorial orientadas a disminuir la ocupación de zonas inundables y promover estrategias de desarrollo resiliente. La incorporación de información hidráulica y climática dentro de los procesos de planeación puede contribuir significativamente a reducir pérdidas económicas y sociales asociadas a eventos extremos (CENAPRED, 2009).

Bibliografía

- Alcocer-Yamanaka, V. H., Rodríguez-Varela, J. M., Bourguett-Ortiz, V. J., Llaguno-Guilberto, O. J. y Albornes-Góngora, P. M. (2016). Metodología para la generación de mapas de riesgo por inundación en zonas urbanas. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(1), 33-55, Ciudad de México, México.
- Castillo Oropeza, O. A. y de Alba Murrieta, F. (2017). Estrategias sociales de adaptación frente a las inundaciones en la metrópolis de México. Pontourbe, París, Francia. Recuperado de <https://journals.openedition.org/pontourbe/3471>
- CENAPRED. (2009). Inundaciones. Secretaría de Gobernación, Centro Nacional de Prevención de Desastres, Ciudad de México, México.
- CONAGUA. (2015). Statistics on Water in Mexico. Comisión Nacional del Agua, Ciudad de México, México.
- Cruz-García, L. E. (2019). Análisis de obras para mitigar las inundaciones en la ciudad de Tapachula, Chiapas. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (V. Masson-Delmotte et al., Eds.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Ramírez Abundis, Y. (2025). Sequía e inundaciones: dos caras ante el cambio climático en México. Tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO DE INUNDACIONES EN EL VALLE METROPOLITANO DE SAN LUIS POTOSÍ: URBANIZACIÓN, VULNERABILIDAD SOCIOESPACIAL Y ADAPTACIÓN TERRITORIAL

JONATHAN ABRAHAM QUINTERO GARCÍA
EL COLEGIO DE SAN LUIS, A.C.



Resumen

Las inundaciones urbanas representan uno de los principales riesgos hidrometeorológicos en las ciudades contemporáneas, agravados por la expansión urbana desordenada, la transformación del territorio y los efectos del cambio climático. El presente artículo analiza el caso del Valle Metropolitano de San Luis Potosí, donde el crecimiento urbano acelerado, la ocupación de zonas de escurrimiento y la modificación de áreas naturales de regulación hidrológica han incrementado la vulnerabilidad territorial y la exposición de distintos sectores sociales a inundaciones. A partir de estudios previos sobre urbanización, fragmentación socioespacial y vulnerabilidad

pluvial, se analiza la relación entre el modelo de desarrollo urbano y la construcción social del riesgo. Asimismo, se abordan las limitaciones de la infraestructura hidráulica, la importancia de la planeación territorial y el papel de la participación social en la gestión integral del riesgo. Finalmente, se plantean elementos orientados hacia la resiliencia territorial y la adaptación climática mediante enfoques preventivos y sostenibles.

Introducción

Las inundaciones urbanas constituyen uno de los riesgos hidrometeorológicos con mayores impactos

sociales, económicos y territoriales a escala global. En las últimas décadas, el incremento de eventos extremos asociados al cambio climático, aunado a la expansión urbana acelerada y a la ocupación de áreas ambientalmente vulnerables, ha incrementado la exposición y vulnerabilidad de las ciudades frente a escenarios de desastre. Bajo este contexto, la gestión integral del riesgo de inundaciones ha adquirido relevancia como un enfoque orientado no únicamente a la atención de emergencias, sino también a la prevención, adaptación y fortalecimiento de la resiliencia territorial, en concordancia con los principios establecidos por el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 (UNDRR, 2015).

En México, las inundaciones urbanas representan una problemática recurrente en distintas ciudades metropolitanas debido a procesos de urbanización desarticulados de las dinámicas ambientales e hidrológicas. El Valle Metropolitano de San Luis Potosí constituye un caso representativo de estas transformaciones territoriales, donde el crecimiento urbano periférico, la impermeabilización del suelo y la ocupación de zonas natura-

les de escurrimiento han modificado de manera significativa el comportamiento hidrológico del valle. Diversas investigaciones han señalado que la expansión urbana sobre áreas vinculadas a la Sierra de San Miguelito y otros espacios de regulación hídrica ha incrementado la vulnerabilidad ante inundaciones, particularmente en sectores socialmente desfavorecidos (Moreno et al., 2016, p. 236; Quintero, 2021, p. 15).

Asimismo, las inundaciones en el VMSLP no pueden entenderse únicamente como fenómenos naturales aislados, sino como procesos relacionados con decisiones de planeación territorial, modelos de urbanización y condiciones históricas de vulnerabilidad socioespacial. Estudios recientes han documentado cómo la transformación del espacio urbano y la fragmentación metropolitana han contribuido a la construcción social del riesgo y a la generación de escenarios de degradación territorial (Talledos-Sánchez y Velázquez-Zapata, 2022, p. 356).

En este contexto, el presente artículo analiza la relación entre urbanización, vulnerabilidad

socioespacial y riesgo de inundaciones en el valle metropolitano potosino, destacando la importancia de fortalecer estrategias de gestión integral, resiliencia territorial y adaptación climática desde enfoques preventivos y sostenibles. El análisis se sustenta en revisión documental, estudios previos sobre inundaciones urbanas en el VMSLP y análisis territorial de procesos de urbanización y vulnerabilidad socioespacial.

1. Urbanización y transformación hidrológica del Valle Metropolitano de San Luis Potosí

El valle potosino ha experimentado durante las últimas décadas un proceso de expansión urbana acelerada asociado al crecimiento demográfico, la industrialización y la consolidación del mercado inmobiliario. Este modelo de crecimiento territorial ha transformado significativamente las dinámicas ambientales e hidrológicas del valle, particularmente mediante la ocupación de áreas naturales de escurrimiento, la impermeabilización del suelo y la modificación de cauces y zonas de regulación hídrica. Diversos estudios han señalado que estas

transformaciones han incrementado la exposición y vulnerabilidad de amplios sectores urbanos ante eventos de inundación (Moreno et al., 2016, p. 236).

Históricamente, el valle potosino ha presentado condiciones naturales vinculadas a escurrimientos provenientes de la Sierra de San Miguelito hacia las partes bajas del territorio urbano. Desde etapas tempranas del desarrollo de la ciudad se registraron inundaciones relacionadas con la dinámica hidrológica de la cuenca y la presencia de corrientes naturales como los ríos Santiago, Española y Paisanos (Castillo, 2019, p. 2). Sin embargo, el problema se ha intensificado debido a la expansión urbana sobre zonas previamente funcionales para la infiltración, conducción y regulación del agua pluvial.

La urbanización de piedemontes y áreas cercanas a la Sierra de San Miguelito ha contribuido a modificar los patrones naturales de escurrimiento superficial. La eliminación de cobertura vegetal, la construcción de vialidades impermeables y el crecimiento de fraccionamientos residenciales han reducido la capacidad natural de absorción del suelo

y acelerado los flujos de agua hacia zonas urbanas bajas y densamente habitadas (véase Figura 1). Investigaciones recientes han identificado que el crecimiento urbano disperso y fragmentado del VMSLP ha generado nuevas condiciones de vulnerabilidad territorial y diferenciación socioespacial frente a las inundaciones urbanas (Quintero, 2021, p. 15).

En este contexto, las inundaciones urbanas no pueden interpretarse exclusivamente como consecuencias de lluvias intensas o fenómenos hidrometeorológicos extremos. Por el contrario, constituyen procesos socioambientales vinculados con formas específicas de ocupación del territorio, decisiones de planeación urbana y modelos de desarrollo que priorizan la expansión inmobiliaria sobre la conservación de funciones ecológicas e hidrológicas del valle. De acuerdo con Talledos-Sánchez y Velázquez-Zapata (2022), la construcción social del riesgo en distintas zonas de San Luis Potosí evidencia cómo la desigualdad territorial y la urbanización han configurado espacios urbanos con mayores niveles de exposición y afectación ante inundaciones recurrentes.

Figura 1. Representaciones ilustrativas de la urbanización de zonas altas y la modificación de escurrimientos superficiales hacia áreas urbanas vulnerables.



Nota. Imagen ilustrativa generada mediante herramientas de inteligencia artificial con fines académicos y de divulgación.

Asimismo, la expansión urbana ha superado en diversos sectores la capacidad de la infraestructura hidráulica y pluvial existente. La insuficiencia de colectores, drenajes y sistemas de conducción, aunada a la ocupación de cauces y zonas inundables, ha favorecido la acumulación de escurrimientos y el incremento de daños materiales,

interrupciones viales y afectaciones a viviendas y servicios urbanos durante temporadas de lluvia.

2. Vulnerabilidad socioespacial e inundaciones urbanas

Las inundaciones urbanas en el valle potosino afectan de manera diferenciada a la población según las condiciones socioeconómicas, territoriales y urbanas de cada sector de la ciudad. La vulnerabilidad ante este tipo de fenómenos no depende únicamente de factores físicos o hidrológicos, sino también de procesos históricos de desigualdad, fragmentación urbana y acceso diferenciado a infraestructura, servicios y condiciones adecuadas de habitabilidad. En este sentido, el riesgo de inundación presenta una distribución territorial desigual que tiende a impactar con mayor intensidad a sectores populares y asentamientos con mayores niveles de precariedad urbana (Moreno et al., 2016, p. 236).

Diversos estudios desarrollados en el VMSLP han documentado cómo la urbanización periférica y la ocupación de zonas susceptibles a escurrimientos han favorecido la construcción de espacios

Figura 2. Inundación en zona habitacional al sur del Valle Metropolitano de San Luis Potosí.



Nota. Fotografía del Fraccionamiento El Agua, localizado en las faldas de la Sierra de San Miguelito, donde se evidencian afectaciones a la movilidad, accesibilidad y habitabilidad durante eventos de precipitación intensa. Las inundaciones observadas se relacionan con procesos de escorrentía superficial provenientes de zonas urbanizadas en partes altas y con la modificación de los patrones naturales de infiltración y conducción del agua pluvial.

Tomado de Quintero (2021, p. 252).

urbanos vulnerables. En muchos casos, el crecimiento habitacional ocurrió sobre áreas con funciones naturales de conducción o infiltración del agua, sin una planeación territorial adecuada ni infraestructura pluvial suficiente. Esta situación ha generado escenarios recurrentes de afectaciones materiales, interrupciones en la movilidad, deterioro de viviendas y riesgos sanitarios asociados al colapso de drenajes y acumulación de aguas contaminadas (Quintero, 2021, p. 15) (véase Figura 2).

Las consecuencias de las inundaciones urbanas trascienden las pérdidas económicas inmediatas y producen procesos de degradación territorial persistente. La presencia recurrente de escurrimientos y anegamientos deteriora vialidades, infraestructura hidráulica y espacios públicos, además de afectar las condiciones de salud y seguridad de la población (véase Figura 3). De manera particular, los sectores de menores ingresos suelen presentar menores capacidades institucionales y económicas para enfrentar o recuperarse de este tipo de even-

Figura 3. Inundación urbana en vialidades del Valle Metropolitano de San Luis Potosí durante eventos de precipitación intensa.



Nota. Fotografía de inundación urbana ocurrida en abril de 2026 en el Boulevard Antonio Rocha Cordero, localizado en los pies de montaña urbanizados de la Sierra de San Miguelito.

tos, profundizando condiciones preexistentes de vulnerabilidad social y territorial.

En distintos sectores urbanos del sur de la ciudad de San Luis Potosí, las comunidades afectadas han desarrollado prácticas locales de adaptación y

respuesta ante las inundaciones. Entre estas acciones destacan modificaciones físicas en viviendas, construcción de barreras improvisadas, adecuaciones en calles y formas de organización vecinal para exigir soluciones institucionales. Estas estrategias reflejan procesos locales de resiliencia y adaptación comunitaria frente a escenarios recurrentes de riesgo, aunque frecuentemente carecen del respaldo técnico, financiero e institucional necesario para resolver estructuralmente el problema (Talledos-Sánchez y Velázquez-Zapata, 2022, p. 356).

La vulnerabilidad socioespacial en el VMSLP también se relaciona con la limitada incorporación de criterios ambientales e hidrológicos en la planeación urbana y territorial. La expansión de la mancha urbana sobre zonas de recarga, cauces naturales y áreas de regulación hídrica ha reducido la capacidad del territorio para absorber y conducir adecuadamente el agua pluvial. Bajo este contexto, la gestión integral del riesgo requiere reconocer que las inundaciones urbanas son resultado de procesos complejos donde interactúan fac-

tores ambientales, sociales, económicos y políticos, y no únicamente eventos climáticos aislados.

3. Gestión integral del riesgo y adaptación territorial

Frente al incremento de las inundaciones urbanas y sus impactos territoriales, agravados por el aumento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos asociados al cambio climático (IPCC, 2023), la gestión integral del riesgo requiere superar enfoques centrados exclusivamente en la respuesta a emergencias y avanzar hacia estrategias preventivas, multidisciplinarias y territorialmente integradas. En el caso de San Luis Potosí, esto implica reconocer la relación existente entre urbanización, transformación hidrológica y vulnerabilidad socioespacial, incorporando criterios ambientales y de resiliencia dentro de la planeación urbana y territorial.

Uno de los principales desafíos consiste en fortalecer mecanismos de ordenamiento territorial que limiten la ocupación de zonas inundables,

áreas de escurrimiento y espacios estratégicos para la regulación hídrica del valle. La conservación de zonas de recarga vinculadas a la Sierra de San Miguelito representa un elemento prioritario para reducir procesos de escorrentía superficial y disminuir riesgos asociados a inundaciones urbanas. Diversas investigaciones han advertido que la expansión urbana sobre estas áreas ha alterado funciones ecológicas fundamentales relacionadas con infiltración, regulación hídrica y equilibrio ambiental (Quintero, 2021, p. 11) (véase Figura 4).

Asimismo, la gestión integral del riesgo requiere fortalecer infraestructura hidráulica y pluvial bajo esquemas de sostenibilidad territorial. Además de obras convencionales de drenaje y conducción, resulta necesario impulsar infraestructura verde y azul mediante soluciones basadas en la naturaleza, tales como restauración de cauces, recuperación de áreas de infiltración, conservación de cobertura vegetal y protección de espacios naturales periurbanos. Estas estrategias contribuyen no solo a reducir riesgos de inundación, sino también a mejorar

Figura 4. Expansión urbana y ocupación de piedemontes en el Valle Metropolitano de San Luis Potosí vinculados a zonas de escurrimiento y regulación hídrica



Nota. Fotografía aérea del Valle Metropolitano de San Luis Potosí. Elaboración propia.

condiciones ambientales y aumentar la resiliencia urbana frente al cambio climático.

La adaptación climática representa otro componente central dentro de la gestión territorial contemporánea. El aumento en la frecuencia e intensidad de lluvias extremas asociado al cambio

climático incrementa la necesidad de desarrollar modelos urbanos más resilientes y con mayor capacidad de prevención. En este sentido, resulta indispensable incorporar análisis de riesgo y escenarios climáticos dentro de instrumentos de planeación metropolitana, políticas urbanas y programas de desarrollo territorial.

De igual manera, la gobernanza y participación social constituyen elementos fundamentales para la construcción de estrategias integrales de prevención y adaptación. La coordinación entre instituciones gubernamentales, sectores académicos, organizaciones sociales y comunidades locales permite fortalecer procesos de gestión del riesgo desde enfoques más inclusivos y territorialmente contextualizados. Experiencias comunitarias desarrolladas en zonas afectadas por inundaciones urbanas en San Luis Potosí evidencian la importancia del conocimiento local y de la organización social en procesos de resiliencia y respuesta ante emergencias (Talledos-Sánchez y Velázquez-Zapata, 2022, p. 357).

Bajo este contexto, la gestión integral del riesgo de inundaciones en el valle de San Luis requiere

articular planeación urbana, protección ambiental, infraestructura sostenible y participación ciudadana, priorizando enfoques preventivos orientados hacia la resiliencia territorial y la adaptación climática de largo plazo.

Conclusiones

Las inundaciones urbanas en el Valle Metropolitano de San Luis Potosí constituyen un fenómeno socioambiental complejo vinculado tanto a las condiciones hidrológicas naturales del valle como a procesos históricos de urbanización, transformación territorial y fragmentación socioespacial. El crecimiento urbano acelerado, la ocupación de zonas de escurrimiento y la modificación de áreas de regulación hídrica han incrementado la vulnerabilidad territorial y la exposición de distintos sectores de la población frente a eventos de inundación cada vez más recurrentes e intensos.

El análisis realizado permite identificar que el riesgo de inundación no se distribuye de manera homogénea dentro del espacio urbano, sino que afecta con mayor intensidad a sectores socialmente

vulnerables y territorios con menores condiciones de infraestructura y resiliencia. Asimismo, evidencia que las inundaciones urbanas no pueden entenderse exclusivamente como resultado de fenómenos meteorológicos extremos, sino como consecuencia de modelos de desarrollo urbano y decisiones territoriales que han alterado el funcionamiento hidrológico del valle.

Frente a este escenario, resulta indispensable fortalecer enfoques de gestión integral del riesgo orientados hacia la prevención, la adaptación climática y la resiliencia territorial. Esto implica incorporar criterios ambientales e hidrológicos en la planeación urbana, proteger zonas estratégicas de recarga e infiltración, impulsar infraestructura sostenible y promover soluciones basadas en la naturaleza. De igual manera, la participación social, la coordinación institucional y el reconocimiento del conocimiento local representan elementos fundamentales para construir estrategias más inclusivas y sostenibles frente a los riesgos asociados a inundaciones urbanas.

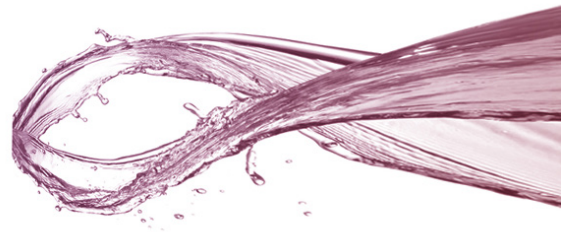
En el contexto actual de cambio climático y expansión metropolitana, el caso del Valle Metropolitano de San Luis Potosí refleja la necesidad de replantear los modelos de crecimiento urbano bajo perspectivas que prioricen la sustentabilidad territorial, la reducción de vulnerabilidades y la protección socioambiental de largo plazo.

Referencias Bibliográficas

- Castillo Cardona, C. E. (2019). Historia ambiental de las inundaciones en San Luis Potosí: 1930-1940. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México. <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/5731>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. IPCC, Geneva, Switzerland. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf
- Moreno Mata, A., Ramos Palacios, C. R. y Villasís Kever, R. (2016). Dispersión metropolitana, fragmentación socioespacial y vulnerabilidad a escorrentías urbanas en la Zona Metropolitana de San Luis Potosí, México. En A. Moreno Mata (Ed.), Medio Ambiente Urbano, Sustentabilidad y Territorio. Volumen II. Sistemas Metropolitanos en Crisis: Dispersión-Fragmentación-Vulnerabilidad (pp. 235-254). Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.
- Quintero García, J. A. (2021). Inundaciones en asentamientos de clase trabajadora en el Valle Metropolitano de San Luis Potosí: urbanización capitalista y división social del espacio. Estudio de caso. El Colegio de San Luis, San Luis Potosí, México. <https://colsan.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1013/1570>
- Talledos-Sánchez, E. y Velázquez-Zapata, J. A. (2022). Prácticas locales ante inundaciones urbanas en la ciudad de San Luis Potosí. Tecnología y Ciencias del Agua, 13(6), 352-407. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-13-06-08>
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2015). Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. Naciones Unidas, Ginebra, Suiza. <https://www.undrr.org/media/16176/download>

CAMBIO DE USO DE SUELO E INUNDACIONES EN REYNOSA, TAMAULIPAS: UN RETO PARA LA RESILIENCIA TERRITORIAL

NAZDRY BRIONES-ESCOBEDO
INVESTIGADORA INDEPENDIENTE



Resumen

Las inundaciones causadas por lluvias extremas en la ciudad de Reynosa, Tamaulipas son recurrentes desde hace 25 años. La transformación del entorno natural para satisfacer la demanda de suelo de una población en expansión sostenida, repercute sobre los flujos hidrológicos que transitan dentro de un espacio urbano construido sobre llanuras aluviales y con influencia hidrológica elevada. La dinámica de los escurrimientos promovida por las superficies impermeables genera caudales extraordinarios, desbordamiento de la infraestructura hidráulica superficial y la saturación de la red de alcantarillado durante las precipitaciones severas. Los escenarios

climáticos imperante en la región y el evidente colapso de la infraestructura hidráulica, demanda la implementación de políticas que fortalezcan la planeación urbana y la resiliencia territorial a fin de reducir el riesgo de inundación y mejorar las capacidades de recuperación.

Introducción

Las inundaciones urbanas constituyen uno de los desafíos socioambientales más complejos del ordenamiento territorial contemporáneo. Estudios realizados en escenarios urbanos asocian el riesgo por inundación con el crecimiento poblacional y el cam-

bio de uso de suelo (Rahman et al., 2021; Roger et al., 2017). En el noreste de México, la ciudad de Reynosa ubicada al norte del Estado de Tamaulipas destaca como un centro urbano de intenso dinamismo económico, impulsado por el sector manufacturero. Debido a su colindancia con los Estados Unidos de América, esta urbe presenta flujos migratorios, internos y externos, que repercuten en la expansión demográfica y territorial (Romo, Benites y Torres, 2025).

En cuatro décadas, la población residente creció de 228 mil a 704 mil habitantes y el continuo urbano se extendió de 25.1 km² a 155.3 km² (INEGI, 2025; Romo et al., 2025). Comparada con otras ciudades en expansión, Reynosa se desarrolla de manera horizontal con una densidad bruta de 40 habitantes por hectárea, lo que la convierte en un centro urbano de alto consumo de suelo (ONU-Habitat, 2018). De esta forma, se observa que el modelo urbano que presenta la ciudad es poco ordenado e insostenible.

Históricamente, los eventos de inundación en esta región se atribuían de manera exclusiva a la presencia de huracanes extraordinarios provenien-

tes del Golfo de México. No obstante, las inundaciones registradas ante precipitaciones extremas en años recientes, expone amenazas asociadas al grado de urbanización que requieren ser evaluadas y atendidas mediante políticas integrales que faciliten la resiliencia de la ciudad.

Marco Geográfico, Antropización y Zonas Críticas de Afectación

El municipio de Reynosa se localiza dentro de dos provincias fisiográficas, las Grandes Llanuras de Norteamérica y la Llanura Costera del Golfo Norte, caracterizadas por una topografía de relieve semi-plano con pendientes longitudinales de 2.3% a 4.1% (POE, 2013), condición que dificulta el desalojo natural del agua por gravedad. Originalmente, el matorral espinoso tamaulipeco y las llanuras aluviales de la cuenca baja del Río Bravo actuaban como sistemas amortiguadores naturales ante eventos de anegación. No obstante, la pérdida de esta cobertura vegetal y el crecimiento de la superficie urbanizada reconfiguraron el potencial de riesgo por inundación de la ciudad.

En cuestión hidrológica, Reynosa recibe la influencia de importantes escurrimientos y cuerpos de agua. Por un lado, el río Bravo transita el norte del municipio y funge como división natural entre México y Estados Unidos de América. En su trayecto por la ciudad, el río conforma un sistema de meandros con grado alto de urbanización reciente. Adicionalmente, la ciudad es transitada por una red de canales artificiales de gran dimensión, como el canal Anzaldúas y el Guillermo Rodhe (GET, desconocido), como se aprecia en la Figura 1. Al centro de la urbe, se localiza el Parque Estatal “Laguna La Escondida”, un vaso colector declarado como Área Natural Protegida (ANP) de competencia estatal en el año 1997 (POE, 1997). En los límites inmediatos de la laguna, existen fraccionamientos urbanos, industria, comercio y áreas de recreación propensos a las afectaciones en caso de desbordamiento del cuerpo de agua (véase Figura 2).

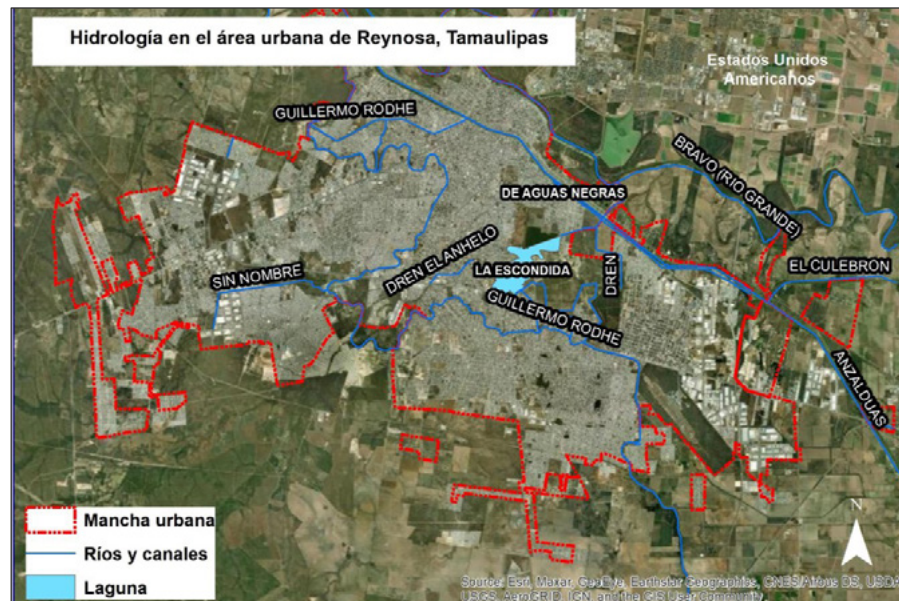
Con lo anterior, es posible identificar que Reynosa cuenta con amenazas fisiográficas e hidrológicas suficientes para causar inundaciones en sectores vulnerables. De manera oficial, las zonas

identificadas con propensión Alta y Muy Alta a inundaciones se asocian, principalmente, a zonas aledañas a los vasos y escorrentías antes referidos. Así, el sector extremo norte es afectado por las crecientes del río Bravo y el Canal Anzaldúas, mientras que, los sectores centro y sureste por la Laguna La Escondida y el canal Rodhe (GET, 2025a). No obstante, lluvias torrenciales registradas en el año 2025, ocasionaron inundaciones inusuales y severas en regiones ubicadas al oeste y suroeste del municipio, donde existen fraccionamientos industriales y habitacionales de reciente creación (Figueroa, Sánchez y Estrada, 2025; GET, 2025b). Véase Figura 1.

El riesgo hidrológico ante eventos meteorológicos

La infiltración en un entorno natural reduce los escurrimientos superficiales y ayuda en la recarga de acuíferos; por el contrario, en espacios urbanizados el cambio en la cobertura terrestre altera de forma crítica el comportamiento del agua. Adicionalmente, la incorporación de infraestructura a base de con-

Figura 1. Hidrología en el área urbana de Reynosa, Tamaulipas.



creto y asfalto tradicional, crea una barrera impermeable que impide o limita la capacidad de infiltración del agua de lluvia (véase Figura 3).

En las ciudades, la disminución de agua infiltrada y produce escurrimientos sustanciales que, ante tormentas intensas, pueden superar la capacidad de los colectores y canales a cielo abierto, causando su des-

bordamiento. Por otro lado, la superficie lisa de las vialidades reduce el tiempo de concentración de los flujos pluviales que, en un tiempo reducido, pueden originar inundaciones súbitas en las zonas bajas (Arreguín Cortés et al., 2011).

Retomando lo anterior, es de resaltar que el sistema de alcantarillado municipal de Reynosa fue construido para conducir solo las aguas residuales, esto dentro de un escenario sociodemográfico y climático muy distinto al actual (CILA, 2021); por lo que, dadas las condiciones presentes, resulta insuficiente para desalojar los caudales producidos por las lluvias extremas.

Durante los últimos 25 años, la ciudad recibió el impacto de seis ciclones tropicales, los cua-

Figura 2. Zonas con riesgo de desbordamiento cercanas al Área Natural Protegida “Laguna La Escondida” en Reynosa, Tamaulipas.



les dejaron cuantiosos daños y cientos de personas afectadas por las inundaciones. Sin embargo, los registros históricos muestran, además, la ocurrencia de cuando menos 10 eventos de tormenta extrema asociados a lluvias estacionales y el ingreso de frentes fríos, cuyas afectaciones en algunos casos, igualaron a los ciclones tropicales (GET, 2025a).

La Planeación y la Resiliencia Territorial en la prevención de inundaciones

La resiliencia territorial de una ciudad compleja y dinámica como Reynosa, precisa ser estudiada desde un enfoque sistemático que incorpore el riesgo de desastres en todas sus dimensiones. De esta forma, las institucionales y la comunidad fortalecen sus capacidades para afrontar, adaptarse y recuperarse de sus efectos en el corto plazo. En este sentido, la planeación territorial es una pieza clave para la resiliencia urbana frente a los peligros de desastre, como las inundaciones. El crecimiento ordenado de los asentamientos humanos no solo facilita la prevención de riesgos y mejora la preparación y respuesta ante las

Figura 3. Comparación de infiltración y escorrentías en espacios naturales y urbanos.

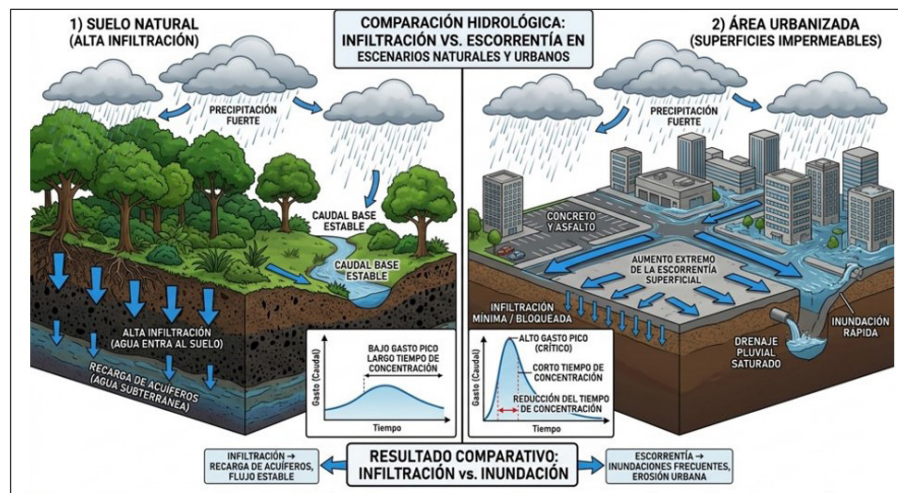


Ilustración generada por medio de Gemini Flash.

una gestión vertical, multisectorial, participativa e integral. Actualmente, el municipio de Reynosa cuenta con un Programa Municipal de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano diseñado en condiciones demográficas, socioeconómicas y climáticas existentes hace más de una década. Así, el potencial de inundación latente en cada episodio meteorológico, advierte la urgencia de una transición normativa y administrativa, hacia esquemas de gestión de riesgo y gobernanza efectivos.

La formulación y ejecución de políticas para la resiliencia territorial y la prevención de desastres necesita de la participación activa de la comunidad y de los sectores económicos

amenazas, también permite una mejor transición hacia la infraestructura urbana sostenible (Brunetta et al., 2019; Campos Vargas, Monroy Gaytán y Reyes López, 2018).

Para ello, el ordenamiento territorial a nivel local debe concebirse desde la prevención del riesgo y la resiliencia urbana, por medio de

involucrados (Campos et al., 2018). No obstante, la adecuada implementación de estas políticas puede verse limitada cuando se requieren inversiones públicas y privadas de gran impacto (UNDRR, 2015); por ejemplo, la instalación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible o la incorporación obligatoria de elementos de infraestructura verde a macro escala, que reduzcan los escurrimientos ante eventos críticos.

En este punto, la transformación de los espacios urbanísticos hacia modelos sustentables y resilientes, puede apreciarse como una inversión postergable frente a la proveeduría de las necesidades primordiales de la población. Contradictoriamente, la devastación causada por un evento catastrófico genera pérdidas e inversiones no programadas que, en muchos casos, superan el monto requerido para la implementación de políticas y obras que atajen el problema de fondo. La presencia de estos círculos viciosos es común cuando la autoridad carece de voluntad y un sentido de la planeación, sin embargo, estos pueden romperse cuando la comunidad reclama su rol de actor y participante activo.

Conclusiones

Las inundaciones en la ciudad de Reynosa se asocian al cambio de uso de suelo incentivado por la expansión demográfica y urbana; así como, a la infraestructura hidráulica insuficiente para operar óptimamente conforme a los escenarios climáticos actuales y futuros. Los efectos de las lluvias extraordinarias registradas en los últimos años, exponen la necesidad de contar con instrumentos normativos actualizados y políticas públicas encaminadas a mejorar la gestión de riesgo y la resiliencia territorial de la ciudad.

Referencias

- Arreguín Cortés, F.I., Rosengaus Moshinsky, M., Acosta Godínez, A., Chávez Guillen, R., López Pérez, M., Hungsberg Engelmann, U., Dávila Capiterucho, A., Mejía Maravilla, E. y Rubio Gutiérrez, H. 2011. Manual para el control de inundaciones. SEMARNAT, Ciudad de México, México.
- Brunetta, G., Ceravolo, R., Barbieri, C.A., Borghini, A., De Carlo, F., Mela, A., Beltramo, S., Longhi, A., De Lucia, G., Ferraris, S., Pezzoli, A., Quagliolo, C., Salata, S. y Voghera, A. (2019). Territorial Resilience: Toward a Proactive Meaning for Spatial Planning. Sustainability, 11, 2286. <https://doi.org/10.3390/su11082286>
- Campos Vargas, M.M., Monroy Gaytán, J.F. y Reyes López, H.A. (2018). Perfil de resiliencia de Ciudad Juárez ante amenazas físico naturales. En: Vulnerabilidad, resiliencia y ordenamiento territorial (pp. 335-374). UNAM, Toluca, Estado de México, México.
- Comisión Internacional de Límites y Aguas entre México y Estados Unidos (CILA). (2021). Formulación del Programa de Saneamiento de la Frontera Norte a Nivel Gran Visión, CILA-JUA-LPN-6-2020, Informe Especial. Disponible en: http://www.cila.gob.mx/syca/SUIF/PSFN_IF13_Reynosa_A_Informe.pdf (consultado el 10 de junio de 2026).
- Figueroa C., Sánchez M. y Estrada J. (2025, noviembre 26). Frente frío 16 ocasiona fuertes lluvias e inundaciones en Reynosa y Nuevo Laredo, Tamaulipas. <https://www.jornada.com.mx/noticia/2025/11/26/estados/frente-frio-16-ocasiona-fuertes-lluvias-e-inundaciones-en-reynosa-y-nuevo-laredo-tamaulipas>
- Gobierno del Estado de Tamaulipas (GET). (Desconocido). Altas de Riesgos, Municipios Reynosa y Río Bravo. Gobierno del Estado de Tamaulipas-Servicio Geológico Mexicano. Disponible en: <https://www.tamaulipas.gob.mx/proteccioncivil/wp-content/uploads/sites/36/2011/12/ATLAS-DE-RIESGO-MUNICIPIO-DE-REYNOSA-Y-RIO-BRAVO.pdf> (consultado el 31 de mayo de 2026).
- Gobierno del Estado de Tamaulipas (GET). (2025a). Actualización del Atlas de riesgos de Tamaulipas, Primera Etapa: Zona Norte. Gobierno del Estado de Tamaulipas-Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Disponible en: https://rmgir.proyectomesoamerica.org/PDFAtlasEstatales/Estudios_

- Especificos/Estudios_Especificos_Tamaulipas.pdf (consultado el 02 de junio de 2026).
- Gobierno del Estado de Tamaulipas (GET). (2025b, marzo 28). Coordinan Gobierno de Tamaulipas y Federación atención a familias afectadas por lluvias en Reynosa y zona fronteriza. <https://www.tamaulipas.gob.mx/2025/03/coordinan-gobierno-de-tamaulipas-y-federacion-atencion-a-familias-afectadas-por-lluvias-en-reynosa-y-zona-fronteriza/>
- INEGI (2025). México en Cifras, Reynosa, Tamaulipas (28032). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=28#collapse-Resumen>
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR) (2015). Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2023. Ginebra, Suiza.
- Periódico Oficial del Estado (POE). (1997). Acuerdo Gubernamental mediante el cual se declara Área Natural Protegida, clasificada como Parque Urbano, el área denominada “Laguna La Escondida” ubicada en el Mpio. De Reynosa, Tamaulipas. Tomo: CXXII, Número 44 (Sumario), 31 de Mayo de 1997. Gobierno del Estado de Tamaulipas.
- Periódico Oficial del Estado (POE). (2013). Programa Municipal de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano de Reynosa. Tomo: CXXXVIII, 11 de septiembre de 2013. Gobierno del Estado de Tamaulipas.
- Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Habitat). (2018). Implementando la Nueva Agenda Urbana, Documento de Visión Reynosa 2023. ONU-Habitat, Ayuntamiento de Reynosa, IMPLAN, Reynosa, Ciudad de México, México.
- Rahman, M., Ningsheng, Ch., Mahmud, G.I., Islam, M.M., Pourghasemi, H.R., Ahmad, H., Habumugisha, J.M., Washakh, R.M.A., Alam, M., Liu, E., Han, Z., Ni, H., Shufeng, T. y Ashraf Dewan, A. (2021). Flooding and its relationship with land cover change, population growth, and road density. *Geoscience Frontiers*, 12 (6). <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101224>.
- Romo, R., Benítez, I. y Torres, E. (2025). Seis casos emblemáticos de expansión urbana en México, 1985-2018. En: R. Romo Viramontes (Ed.), *La situación demográfica de México* (pp. 123-138). Secretaría de Gobernación, Ciudad de México, México.

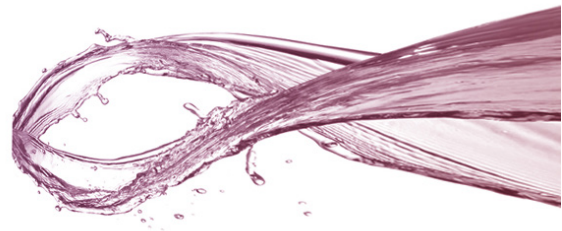
Rogger, M., Agnoletti, M., Alaoui, A., Bathurst, J.C., Bodner, G., Borga, M., Chaplot, V., Gallart, F., Glatzel, G., Hall, J., Holden, J., Holko, L., Horn, R., Kiss, A., Kohnová, S., Leitinger, G., Lennartz, B., Parajka, J., Perdigão, R., Peth, S., Plavcová, L., Quinton, J.N., Robinson, M., Salinas, J.L., Santoro, A., Szolgay, J., Tron, S., van den Akker, J.J.H., Viglione, A. y Blöschl, G. (2017). Land use change impacts on floods at the catchment scale: Challenges and opportunities for future research. *Water Resources Research*, 53 (7):5209-5219 <https://doi.org/10.1002/2017WR020723>

DISEÑO DE UN ÍNDICE DE RIESGO HIDRO-CLIMÁTICO URBANO PARA LA PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES PÚBLICAS

MARCELO SOMENSON

DIRECCIÓN PROVINCIAL DE PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA, MINISTERIO DE
INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS PÚBLICOS PROVINCIA DE BUENOS AIRES.

SEBASTIÁN MANTEGNA, LAUTARO CONTIN



Marco General para la Propuesta

Las inundaciones urbanas son una de las amenazas que mayores daños y costos sociales, en infraestructura y económicos generan en la Provincia de Buenos Aires, las cuales podrán incrementarse en su frecuencia y magnitud por efecto del cambio climático.

En la Provincia cerca del 97% de la población es urbana (DPE, PBA 2022). En el periodo 1970-2015 como consecuencia de inundaciones, en Argentina, se registraron más de 1,9 millones de personas evacuadas, cerca de 9 millones de afectados indirectos, 19.000 viviendas destruidas y 600.000 dañadas (CESyA-UNDRR, 2015).

Para el año 2045 se espera un incremento del nivel del mar en la costa bonaerense de entre 18 y 20 cm y un retroceso de la línea de playa de unos 100 m (INA, 2020).

Objetivos

Desde la Dirección Provincial de Planificación Estratégica del Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos de la Provincia de Buenos Aires, se ha desarrollado una metodología para calcular un índice de riesgo hidro-climático urbano, como dispositivo para priorizar inversiones en infraestructura.

El objetivo del Índice es el de constituirse en una herramienta que, a partir de información disponible, permita jerarquizar las localidades, partidos y/o cuencas hídricas de la Provincia, en función del nivel de riesgo asociado a inundaciones urbanas provocadas por desbordes de cursos y/o cuerpos de agua.

Esta jerarquización de zonas bajo riesgo podrá traducirse en una priorización de estudios de pre-inversión (estudios diagnósticos, proyectos) y de medidas estructurales y no estructurales para reducir los niveles de riesgo calculados.

Enfoque

Por riesgo hidro-climático urbano entendemos a la probabilidad de que ocurran daños y/o pérdidas materiales y/o humanas provocados por desbordes de cursos o cuerpos de agua superficiales (ríos, arroyos, lagunas, costa del mar), provocados básicamente por la ausencia o insuficiencia de capacidad de los sistemas de macrodrenaje, regulación o defensa existentes, durante la ocurrencia de eventos extraordinarios, considerando tanto los registros

históricos de inundaciones como las proyecciones de cambio climático.

El enfoque adoptado integral de riesgo, combinando tres componentes: los niveles de amenaza de inundación, la exposición de la población que habita en zonas inundables bajo escenarios de crecidas extraordinarias y la vulnerabilidad social de la población expuesta. El enfoque de riesgo adoptado es equivalente al utilizado por agencias internacionales para análisis integrales de riesgos de desastres naturales, incluyendo el cambio climático (IPCC, 2014).

El tipo de riesgo abordado (inundaciones urbanas por desbordes) y el tipo de obras requeridas (macrodrenajes, de regulación y de defensa) orienta hacia una ponderación del componente Amenaza, por sobre la Exposición y la Vulnerabilidad. A su vez, por cuestiones de equidad territorial y evitar que toda la inversión se oriente exclusivamente hacia las áreas más pobladas, se ha ponderado a la Vulnerabilidad por sobre la Exposición poblacional.

Otra pauta para el diseño metodológico ha sido que se manejen fuentes de datos oficiales, actualizadas, abiertas, a una escala mínima departamental y georreferenciadas.

Metodología

Se elaboró la siguiente fórmula para el cálculo de niveles riesgo que integra los 3 componentes mencionados, con el Índice de Riesgo Hidro climático Urbano como resultado de la multiplicación de la suma ponderada de la Vulnerabilidad y la Exposición:

$$IRHCU = A \times (aV + bE) \quad [1]$$

Donde A es el nivel de Amenaza de inundación (frecuencia), V es el nivel de vulnerabilidad social de la población expuesta, y E es la cantidad de población expuesta en áreas inundables, mientras de a y b son coeficientes de ponderación entre A y V.

Los resultados empleados para A, V y E fueron normalizados en escalas de 1 a 5, volviendo a normalizar los niveles de Riesgo calculados.

Esta fórmula atiende la pauta de priorizar el componente Amenaza por sobre los otros dos (V y E) y es consistente con el análisis probabilístico del

riesgo, ya que la Amenaza es resultado de cierta probabilidad de ocurrencia. Además, el coeficiente de ponderación aplicado a la Vulnerabilidad (a) es 0.6 y el de la Exposición (b) es 0.4, atendiendo el criterio de equidad territorial.

Esta fórmula es una modificación de una de las fórmulas más empleadas a nivel internacional (CEPAL, 2014)

$$IR = A \times V \times E \quad [2]$$

Sin embargo, comparando resultados aplicando ambas fórmulas, se observó que la fórmula [2] concentraba los niveles altos de riesgo en muy pocos partidos, casi todos ellos en el AMBA y una gran mayoría de partidos con niveles bajos de riesgo (coeficiente de dispersión 1.06 y coef. disp. 0.61 para la fórmula [1] utilizada).

Las amenazas consideradas incluyen no sólo los registros históricos de eventos de inundación, sino también las proyecciones de cambio climático estimadas para Argentina a nivel regional (sub-provincial). Asimismo, considera los desbordes de ríos y lagunas y el ascenso del nivel del mar.

Para los niveles de amenaza históricos se emplearon los registros de eventos ocurridos a escala partido a lo largo de 30 años (SINAGIR, 2021).

Para integrar la proyección de cambio climático en el componente Amenaza, se tomaron las proyecciones pesimistas de emisiones de GEI al 2050, como aumento en el número de días con tormentas con precipitaciones mayores a 50 mm, a escala regional (MAyDS, 2017). En los casos donde se proyectan aumentos de días con tormentas extraordinarias, se incrementó el nivel de amenaza para dicho departamento (1 nivel).

Los niveles del Índice de Vulnerabilidad Social frente a Desastres Naturales (Natenzon, 2022) provienen de valores calculados a nivel departamental, actualizados con datos del Censo 2022. Este índice integra los siguientes aspectos: las condiciones sociales (educación, salud, demografía), las condiciones habitacionales (vivienda, servicios básicos) y las condiciones económicas (empleo, jefe de hogar, familia).

Para calcular el nivel de Exposición (población), se intersectaron las áreas inundables con la población urbana ubicada en ellas, lo que se hizo para

localidades mayores a 10.000 habitantes, a partir de la red de cursos y cuerpos de agua georreferenciada existente en el MISP, del censo poblacional 2022 a escala de radio censal y de las áreas inundables ante eventos extraordinarios.

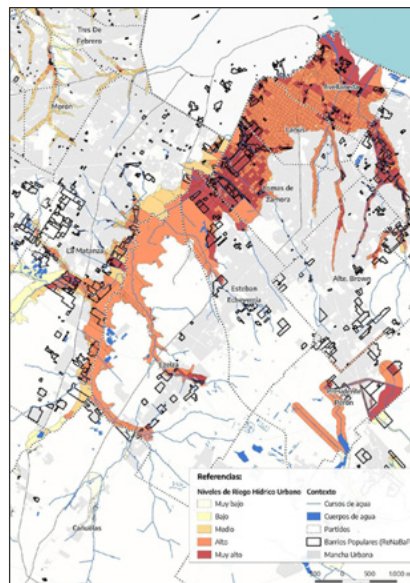
Para establecer las áreas inundables, se integraron mediante un SIG diversas fuentes, incluyendo mapas de peligrosidad de algunas cuencas del AMBA (Autoridad del Agua, 2022), cartografía de suelos con problemas de drenaje en el AMBA (CONICET, 2007), cartografía de áreas inundables y anegables del área rural provincial (Ministerio de Desarrollo Agrario, 2017) y se analizaron imágenes satelitales multitemporales y se definieron ciertos buffers (Google Earth).

La población expuesta se calculó como una proporción de la superficie de cada radio censal ubicada en área inundable.

Resultados

El total de población expuesta a inundaciones extraordinarias ronda los 3,5 millones de personas, una cuarta parte de ella con nivel Muy Alto de riesgo.

**Figuras. Índice de Riesgo Hidro Climático Urbano Pcia. Bs. As (izq.)
y Cuenca A° El Gato (der,) DPPE, MININFRA**



la población expuesta habita en barrios populares.

Discusión y Próximos Pasos

La metodología ha permitido calcular la población total de la provincia que reside en áreas urbanas inundables, desagregada por niveles de riesgo, por cuenca partido y localidad y se constituye en una herramienta útil para la toma de decisiones en inversiones en infraestructura hídrica con una mirada territorial y social.

La fórmula [1] de Riesgo aquí utilizada es consistente con fórmulas empleadas internacionalmente, como la que consideran al Riesgo como la probabilidad de que ocurra cierto impacto debido a cierta amenaza, incluyendo dentro del

Los mayores niveles de riesgo se presentan en la zona sur de la RMBA y en los partidos de General Pueyrredón y San Nicolás. En un segundo nivel de riesgo, se ubican Bahía Blanca, costa del Río Paraná, Pergamino, Olavarría y la porción sur de la cuenca media del Río Salado. El 60% de

componente impacto, al Físico y al Socioeconómico como una suma ponderada, de forma equivalente a lo que sería la suma ponderada de E y V utilizada en este trabajo.

$$R = pA \times (IF + ISE) \quad [3]$$

(R es el Índice de Riesgo, p es la probabilidad de que ocurra la amenaza A, IF es el impacto físico e ISE el impacto socioeconómico).

El dimensionamiento de los costos por daños derivados de las inundaciones debería formar parte de la fórmula (componente exposición). De forma indirecta, el Ministerio incorpora este criterio en una priorización presupuestaria complementaria, donde se consideran los costos de las obras requeridas en función de las áreas a proteger.

Salvo excepciones, no se consideran los impactos positivos de las obras hidráulicas existentes, como obras de regulación o defensa, que debería encararse en próximas etapas. Además, se deberían cartografiar las áreas de influencia de los futuros proyectos hídricos, para recalcular periódicamente la población expuesta.

La diversidad de fuentes utilizadas dificulta establecer escalas temporales y espaciales coherentes entre sí, debería completarse una cartografía integrada de áreas inundables para diferentes escenarios.

Referencias

Autoridad del Agua, Provincia de Buenos Aires (2023). Mapas de Peligrosidad de las Cuencas Río Reconquista, A° San Francisco, Las Piedras, Sarandí, Santo Domingo, A° Escobar, A° San Juan y Jiménez, A° Abascay, A° Rodríguez, A° Pereyra, A° Pescado, A° Garibaldi y A° Maldonado – Garibaldi. Página web: <https://ada.gba.gov.ar/cartas-de-riesgo-hidrico/>

Centro de Estudios Sociales y Ambientales – UNDRR, 2015. DesInventar Argentina: base de datos de desastres.

CEPAL. Manual para la Evaluación de Desastres, 2014. ONU, OMS, JICA.

CONICET - Museo Argentino de Ciencias Naturales, 2007. Atlas ambiental de Buenos Aires.

Dirección de Estadísticas de la Provincia de Buenos Aires, 2022.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático IPCC, 2014. Conclusiones de Nivel Superior del Resumen para Responsables de Políticas de la Contribución del Grupo de Trabajo II al 5° Informe de Evaluación. Web: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIAR5_SPM_Top_Level_Findings_es-1.pdf

INDEC, Sistema de Procesamiento Estadístico de Censos y Encuestas, 2022.

Laboratorio de Hidráulica – INA, Argentina) | Instituto de Mecánica de Fluidos e Ingeniería Ambiental – Facultad de Ingeniería – Universidad de la República, Uruguay, 2020. “Atlas de riesgo e impacto del cambio climático sobre la costa marítima de la provincia de Buenos Aires”, En: Technologies for the design of a regional strategic plan for the coastal management and adaptation to Climate Change in the Province of Buenos Aires. Proyecto INA 376/20.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Argentina (2017). Sistema de Mapas de Riesgo de Cambio Climático SIMARCC. Página web: <https://simarcc.ambiente.gob.ar/>

Ministerio de Desarrollo Agrario Provincia de Buenos Aires, 2023. Mapa de Riesgo Hídrico Bonaerense, Web: https://www.gba.gob.ar/desarrollo_agrario/direccion_de_sustentabilidad_riesgos_y_emergencias/mapa_de_riesgo_hidrico

Ministerio de Seguridad Nacional – Instituto Geográfico Nacional, Sistema Nacional de Gestión Integral de Riesgos SINAGIR, 2022. Niveles de amenaza por inundaciones por Partido, serie histórica 1987/2017.

Natenzon, C., Ríos, D. 2016. Fac. de Filosofía y Letras, UBA. “Índice de Vulnerabilidad Social frente a Desastres Naturales” En: Riesgos, Catástrofes y Vulnerabilidades. Ed: Imago Mundi. Datos actualizados al 2022.

DE LA CALIBRACIÓN ESTÁTICA A LA GESTIÓN DINÁMICA DEL DRENAJE URBANO ANTE INUNDACIONES EXTREMAS

JOSÉ ROBERTO CAGIGAS VELÁSQUEZ

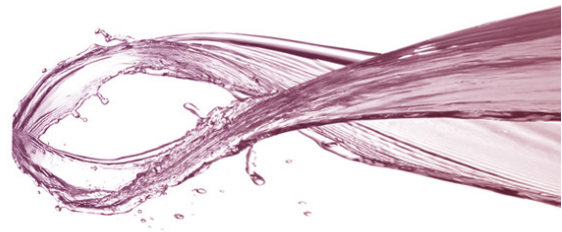
CONSULTOR EN INGENIERÍA HIDRÁULICA URBANA Y PROFESOR DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

MARITZA LILIANA ARGANIS JUÁREZ

INVESTIGADOR TITULAR DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA Y PROFESOR DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

RAMÓN DOMÍNGUEZ MORA

INVESTIGADOR TITULAR DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA,
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.



Resumen

Las inundaciones urbanas representan uno de los principales riesgos debidos a fenómenos hidrometeorológicos asociados al cambio climático, la expansión urbana y a la creciente complejidad de las redes de drenaje. Este trabajo expone la evolución de la modelación hidrológico-hidráulica, impulsada por los avances en hardware y software, desde esquemas estáticos de diseño hacia sistemas dinámicos orientados a la gestión integral y el diagnóstico en tiempo real. Se analiza cómo la calibración

deja de ser un proceso de ajuste de parámetros para convertirse, durante la predicción, en una herramienta de detección de desviaciones capaz de identificar anomalías operativas y fallos multirriesgo —tanto hidráulicos como estructurales, geotécnicos (socavones) y energéticos—. Finalmente, se destaca la necesidad de consolidar el binomio tecnológico-institucional bajo el marco normativo vigente para fortalecer la gobernanza y la resiliencia urbana ante eventos extremos.

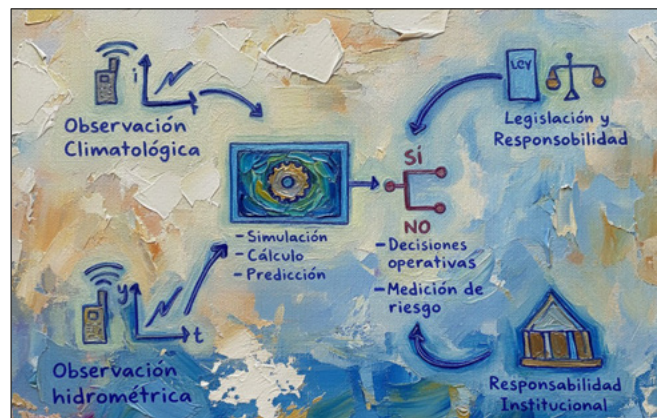
Introducción

Las inundaciones urbanas constituyen uno de los desafíos más críticos en la gestión del agua debido al incremento en la frecuencia e intensidad de eventos extremos (IPCC, 2021). En este contexto, resulta indispensable transitar de esquemas reactivos hacia estrategias preventivas basadas en el entendimiento del riesgo y el fortalecimiento institucional. (Figura 1).

En las últimas décadas, la acelerada impermeabilización del suelo y los cambios drásticos en el uso del suelo han alterado los procesos hidrológicos naturales. La consecuencia directa es la existencia de sistemas hidráulicos cada vez más complejos y propensos a fallos sistémicos. Si bien la modelación numérica se ha consolidado como la herramienta fundamental para evaluar estos escenarios de riesgo (Ballinas-González et al., 2016), su utilidad práctica ha estado históricamente limitada por las fronteras del hardware y la naturaleza aislada del software de simulación.

La gestión moderna exige que los modelos numéricos dejen de ser archivos estáticos de pla-

Figura 1. Evolución conceptual para la gestión moderna y hoja de ruta metodológica



neación y evolucionen hacia motores de predicción y diagnóstico en tiempo real. Esta transición no sólo requiere algoritmos avanzados, sino una redefinición del rol de la calibración y el monitoreo, extendiendo su alcance desde la simple aproximación matemática del flujo del agua hacia la identificación de fallos de origen geológico, estructural o eléctrico que amenazan la resiliencia de la población. Para sintetizar este cambio de paradigma con-

ceptual en las organizaciones, se plantea la ruta de transformación descrita en los siguientes cuatro apartados.

Desarrollo

1. Evolución de Hardware y Software: Del Enfoque Estático a la Modelación Integrada

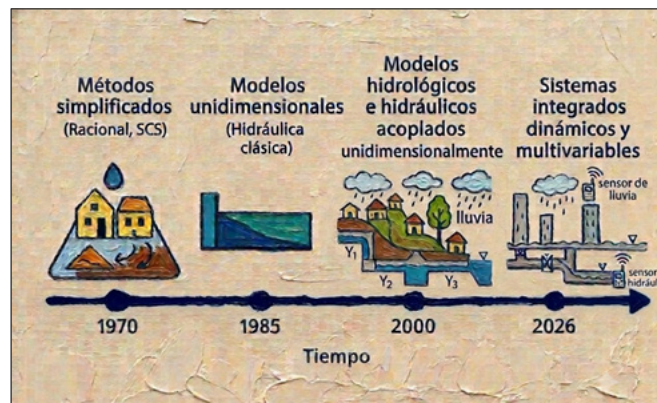
1.1 Restricciones históricas del diseño estático aislado

El diseño tradicional del drenaje urbano se basaba en enfoques deterministas, condicionados por limitaciones de cómputo, como el método racional (Chow et al., 1988), suponiendo lluvia uniforme y flujo permanente. Estas simplificaciones impedían representar adecuadamente fenómenos urbanos complejos y limitaban la calibración a ajustes globales de parámetros para estimar gastos pico.

1.2 El salto computacional hacia el acoplamiento numérico integrado (Cuenca Urbana + Red de Drenaje).

El incremento en la capacidad de procesamiento y la optimización de los solucionadores de las ecuaciones de Saint-Venant permitió el desarrollo de software hidráulico más robusto. Plataformas como

Figura 2. Evolución de la modelación hidrológica-hidráulica urbana hacia el acoplamiento 1D/2D integrado



SWMM (Rossman, 2015), MIKE URBAN y OpenFlows SewerGEMS posibilitaron el acoplamiento integrado del sistema, superando el análisis segmentado.

Esta evolución permite la simulación conjunta de dos dominios: el hidrológico, que representa la precipitación, infiltración y escurrimiento superficial en la cuenca urbana; y el hidráulico, que resuelve el flujo en la red (1D) acoplado con modelos superficiales (2D) durante condiciones de

saturación (Wu et al., 2018; Yang et al., 2022). Este avance reproduce de forma integrada la dinámica del agua entre cuenca y drenaje, consolidando el modelo como herramienta operativa.

2. El Ecosistema de Sensores Distribuidos y la Capacidad Predictiva ante Eventos Extremos

2.1 Infraestructura de monitoreo híbrida

La operación de modelos integrados requiere un flujo continuo de datos. Los avances en telemetría, sistemas SCADA y sensores de bajo consumo han permitido implementar sistemas de monitoreo híbrido en entornos urbanos (Figura 3), integrando información en tiempo real de dos fuentes: i) precipitación, mediante estaciones pluviográficas y radar meteorológico que caracterizan la intensidad y distribución espacial de las tormentas, y ii) la red de drenaje, mediante sensores que registran nivel, presión y gasto en puntos estratégicos.

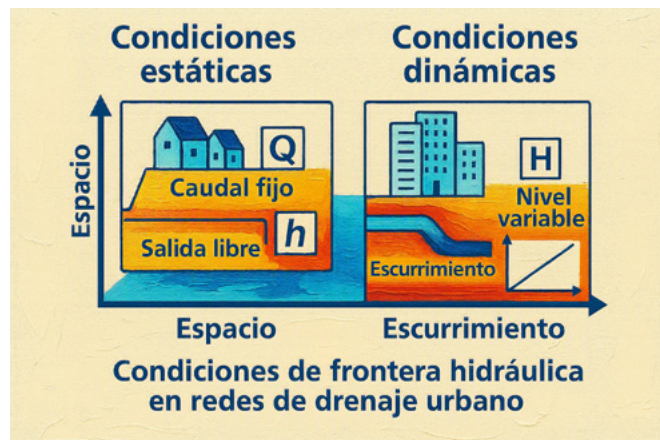
Figura 3. Variabilidad espacial y temporal de la precipitación capturada mediante ecosistemas de monitoreo híbrido



2.2 El modelo integrado como motor de predicción en tiempo real

Cuando este ecosistema de sensores distribuidos se conecta directamente a la plataforma de modelación integrada a través de bases de datos centralizadas, el modelo numérico muta de una herramienta de escritorio a un motor predictivo en tiempo real (Figura 4).

Figura 4. Condiciones de frontera hidráulica y comportamiento predictivo en descargas dinámicas.



Al recibir las intensidades de lluvia de la cuenca minutos u horas antes de que se concentren los escurrimientos, el sistema integrado ejecuta simulaciones predictivas en cuasi tiempo real. Esto permite anticipar con precisión el llenado de las tuberías, predecir qué colectores entrarán en carga, identificar qué vialidades sufrirán inundaciones severas y proyectar el comportamiento dinámico

en los puntos de descarga terminales o plantas de bombeo ante el evento extremo inminente.

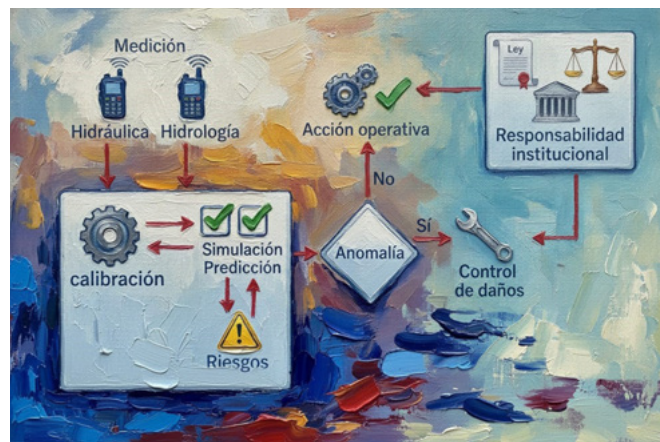
3. Diagnóstico de Desviaciones del Comportamiento y Detección de Fallos Multirriesgo

3.1 Calibración dinámica e identificación de anomalías

Con el flujo continuo de datos, el concepto tradicional de calibración evoluciona. Ya no se trata únicamente de un ajuste estadístico histórico (usando indicadores como la eficiencia de Nash-Sutcliffe o el Error Cuadrático Medio) para validar un diseño (Moriassi et al., 2007). En la gestión dinámica, la calibración da soporte como un sistema de diagnóstico de desviaciones en tiempo real (Figura 5).

El principio es el siguiente: el modelo numérico, estando óptimamente calibrado para las condiciones físicas teóricas de la red, incluyendo escurrimiento superficial y encharcamientos o inundaciones (Ballinas-González et al., 2016), calcula una respuesta hidráulica esperada (niveles y gastos en nodos específicos) ante la lluvia detectada por los sensores meteorológicos. Paralelamente,

Figura 5. Sistema integrado de monitoreo, calibración dinámica y simulación para detección de desviaciones



los sensores hidráulicos registran lo que ocurre físicamente en esos mismos puntos. Si el sistema detecta un desfase o una diferencia significativa entre la predicción matemática y la medición física, se activa una alarma de desviación que reporta un fallo en el comportamiento real del sistema.

3.2 Detección de riesgos geológicos y fallos energéticos

El valor disruptivo de este enfoque radica en que las desviaciones hidráulicas detectadas suelen ser el síntoma de fallos críticos que escapan a los riesgos puramente climatológicos o hidráulicos, permitiendo identificar de forma indirecta:

Riesgos Geológicos y Estructurales Ocultos: Si el sensor de nivel en un colector reporta un estancamiento abrupto o una pérdida drástica de gasto aguas abajo que el modelo no predijo, la desviación puede delatar un colapso estructural interno de la infraestructura vial, obstrucciones severas por azolve súbito o la formación de socavones que han fracturado la tubería desviando el flujo hacia el subsuelo.

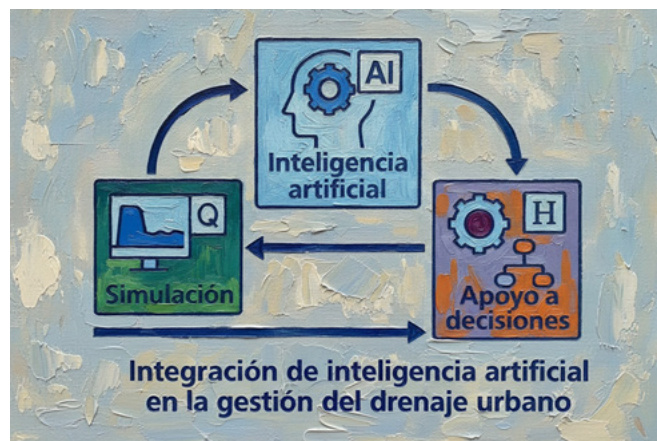
Fallos Energéticos y Operativos: Las inundaciones extremas suelen acompañarse del colapso de otros servicios públicos. Una caída imprevista en la capacidad de desalojo en una lumbrera detectada por la desviación del modelo revela instantáneamente fallos en el suministro de energía eléctrica

en las estaciones de bombeo o averías mecánicas en las compuertas automatizadas, permitiendo enviar soporte técnico y/o desviando parte del flujo antes de que el nivel del agua provoque una tragedia superficial. Los softwares OpenFlows SewerGEMS (Bentley Systems, 2026), MIKE URBAN (DHI, 2024), InfoWorks ICM (Autodesk, 2025) y SWMM (Rossman, 2015) poseen algoritmos para llevar a cabo la toma de decisiones de acciones operativas en función de una valoración de riesgos de daños.

3.3 Integración de Inteligencia Artificial (IA) para el diagnóstico acelerado

En un evento extremo, el volumen de datos generado por cientos de sensores y las múltiples variables hidráulicas en juego superan la capacidad de interpretación humana inmediata. Los algoritmos de aprendizaje automático (Machine Learning) e IA se integran en esta etapa como herramientas de procesamiento acelerado.

Figura 6. Integración de IA para la clasificación y diagnóstico acelerado de fallos ocultos



La IA se entrena utilizando los registros históricos y las simulaciones del modelo numérico. Su función no es reemplazar las leyes de la física hidráulica, sino actuar como un clasificador de alertas a gran velocidad. Al analizar el patrón de las desviaciones identificadas, la IA discrimina el tipo de fallo de manera automatizada (Figura 6).

4. El Binomio Tecnológico-Institucional, Gobernanza y Resiliencia Urbana

4.1 Coordinación institucional y la primacía de la decisión humana

La incorporación de plataformas automatizadas de predicción y diagnóstico multirriesgo redefine la gobernanza y las responsabilidades en la administración pública. En México, el marco legal es explícito: el artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (2026) asigna la responsabilidad municipal del drenaje, mientras que la Ley de Aguas Nacionales (2025), su Reglamento (1994) y la Ley General de Protección Civil (2026) establecen la obligación de implementar acciones preventivas para mitigar riesgos y salvaguardar a la población ante eventos extremos.

En este contexto, resulta fundamental delimitar las fronteras entre el sistema computacional y la autoridad administrativa. La toma de decisiones debe recaer en el ser humano y nunca en la máquina; las herramientas de monitoreo y las predicciones basadas en IA no sustituyen las atribuciones del personal técnico, sino que procesan grandes

volúmenes de datos y generan escenarios operativos que orientan la gestión durante situaciones críticas.

Por lo tanto, la ejecución de maniobras — como la apertura de compuertas, la activación de plantas de bombeo o la emisión de alertas de evacuación— corresponde al criterio ingenieril y a la responsabilidad institucional. Ante los órganos de fiscalización regulados por la Ley General de Responsabilidades Administrativas (2025), la IA, el software y el hardware constituyen únicamente herramientas de apoyo técnico. En consecuencia, la responsabilidad legal, técnica y administrativa recae exclusivamente en los operadores y funcionarios responsables del sistema, consolidándose en la estructura institucional de gestión (Figura 7).

4.2 La tecnología actual y Precisión versus tiempo de respuesta

Para que el binomio tecnológico-institucional sea efectivo y proteja realmente a la población, debe resolver una restricción práctica crítica: el dilema computacional operativo.

Figura 7. Esquema de gobernanza institucional para la gestión del riesgo y toma de decisiones humanas



A pesar de los avances actuales en hardware y software, un modelo hidráulico bidimensional (2D) de alta resolución que simule detalladamente la infraestructura de drenaje en avenidas y calles de una ciudad extensa puede requerir horas o días de procesamiento para completar su análisis numérico. Durante una tormenta extrema, la ventana de tiempo para tomar decisiones operativas

(evacuar una zona baja, activar plantas de emergencia, cerrar vialidades) es frecuentemente de apenas unos minutos. Un modelo hiperdetallado que entrega resultados precisos después de que la zona ya se ha inundado pierde toda su utilidad operativa.

Las instituciones deben adoptar en la actualidad un criterio de optimización ingenieril guiado por la resiliencia: estructurar modelos con un nivel de detalle simplificado pero representativo, o apoyarse en la IA para preseleccionar escenarios precalculados. El objetivo prioritario del binomio no es la perfección matemática en el escritorio, sino la oportunidad de la respuesta humana en el campo para proteger a los habitantes.

Conclusiones

La transformación de la modelación hidrológico-hidráulica urbana refleja el paso de una disciplina de diseño estática a una ciencia de operación dinámica y multirriesgo. La integración de software acoplado (Cuenca + Red + Riesgo) y el despliegue de redes híbridas de sensores han otorgado a los organismos

operadores una capacidad sin precedentes para predecir el comportamiento y tomar decisiones en función de riesgos del manejo de las aguas urbanas ante eventos extremos.

Sin embargo, la calibración dinámica y el análisis de desviaciones numéricas constituyen un sistema de diagnóstico temprano capaz de detectar fallos que van más allá de lo estrictamente hidráulico, revelando colapsos geológicos estructurales (socavones) y pérdidas de energía eléctrica en momentos críticos.

Finalmente, la tecnología no es un fin en sí misma; su efectividad para construir resiliencia real depende de su integración con las capacidades institucionales de gobernanza. Solo mediante la asimilación de estas herramientas de software predictivas dentro de los protocolos legales y el análisis de riesgos ofertados por los algoritmos en la toma de decisiones humanas, se podrá garantizar la protección efectiva de la población y su infraestructura frente a las crecientes amenazas del cambio climático, asumiendo el personal técnico el liderazgo

ético y profesional que exige la operación de estos complejos sistemas urbanos.

Agradecimientos.

A Juan Antonio Aquino Romero y al Ing. Cristian Mariano Lopez Leon, Becarios del Instituto de Ingeniería, UNAM, por su valiosa colaboración en la realización de figuras con apoyo de programas de IA.

Referencias

- Autodesk (2025). InfoWorks ICM (Versión 2025) [Software de computación]. Autodesk, Estados Unidos.
- Ballinas-González, H.A., Alcocer-Yamanaka, V.H. y Pedrozo-Acuña, A. (2016). Uncertainty analysis in data-scarce urban catchments. *Water*, 8(11), 524. <https://doi.org/10.3390/w8110524>
- Bentley Systems (2026). OpenFlows SewerGEMS (Versión 2026) [Manual de usuario y documentación de software]. Bentley Systems, Estados Unidos.
- Chow, V.T., Maidment, D.R. y Mays, L.W. (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill, New York.
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (1917). Artículo 115. Diario Oficial de la Federación, México. Última reforma publicada el 23 de abril de 2026.
- DHI (2024). MIKE URBAN (Versión 2024) [Manual de usuario y guía de documentación]. DHI, Dinamarca.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ley de Aguas Nacionales (2025). Diario Oficial de la Federación. México. Publicada el 11 de diciembre de 2025.
- Ley General de Protección Civil (2012). Diario Oficial de la Federación. México. Última reforma publicada el 18 de mayo de 2026.
- Ley General de Responsabilidades Administrativas (2016). Diario Oficial de la Federación. México. Última reforma publicada el 15 de diciembre de 2025.
- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D. y Veith, T.L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885–900.
- Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales (1994). Diario Oficial de la Federación. México, 12 de enero de 1994. Última reforma vigente.

Rossman, L.A. (2015). Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1. United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

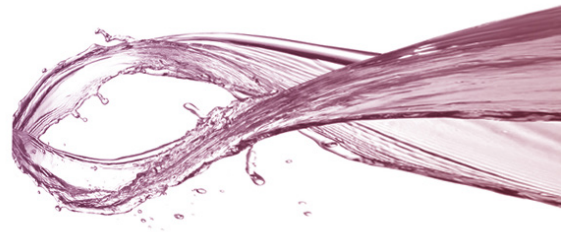
Wu, X., Wang, Z., Guo, S., Lai, C. y Chen, X. (2018). A simplified approach for flood modeling in urban environments. *Hydrology Research*, 49(6), 1804–1816. <https://doi.org/10.2166/nh.2018.125>

Yang, Q., Ma, Z., & Zhang, S. (2022). Urban pluvial flood modeling by coupling a raster-based two-dimensional hydrodynamic model and SWMM. *Water*, 14(11), 1760. <https://doi.org/10.3390/w14111760>

INFRAESTRUCTURA VERDE Y SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO DE INUNDACIONES: ENFOQUES PREVENTIVOS Y RESILIENCIA TERRITORIAL ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

JUAN MANUEL FIGUEROA MENDIOLA

DOCTORANTE EN EL DOCTORADO EN INNOVACIÓN PARA EL HÁBITAT SUSTENTABLE,
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA.



Resumen

El incremento de eventos hidrometeorológicos extremos, aunado a los procesos de urbanización acelerada y cambio climático, ha incrementado significativamente el riesgo de inundaciones en ciudades y territorios urbanos. Tradicionalmente, la gestión de inundaciones se ha sustentado en infraestructura gris enfocada principalmente al desalojo rápido del agua; sin embargo, este enfoque ha mostrado limitaciones, sobre todo frente a escenarios de variabilidad climática y degradación ambiental. El presente artículo analiza la importancia de integrar la infraestructura verde, y Soluciones basadas en la

Naturaleza como estrategias preventivas para fortalecer la resiliencia territorial y la adaptación climática. A partir de una revisión conceptual y técnica, se discute la complementariedad entre infraestructura gris y sistemas híbridos orientados a la infiltración, almacenamiento y regulación hidrológica. Asimismo, se abordan los principales desafíos para la implementación de estos enfoques en la gestión integral del riesgo de inundaciones.

Palabras clave: Infraestructura verde, inundaciones urbanas, resiliencia territorial, adaptación climática, soluciones basadas en la naturaleza.

Introducción

Las inundaciones constituyen uno de los fenómenos hidrometeorológicos con mayores impactos sociales, económicos y ambientales a nivel mundial. En las últimas décadas, el incremento en la frecuencia e intensidad de eventos extremos asociados al cambio climático ha generado mayores niveles de exposición y vulnerabilidad en ciudades y territorios urbanos, particularmente en regiones con procesos acelerados de urbanización y transformación del suelo.

El crecimiento urbano desordenado, la expansión de superficies impermeables y la reducción de áreas naturales de infiltración han modificado significativamente los ciclos hidrológicos en numerosas ciudades. Como consecuencia, el escurrimiento superficial aumenta considerablemente durante eventos de precipitación intensa, generando sobrecargas en los sistemas de drenaje y favoreciendo inundaciones recurrentes.

Históricamente, la gestión del riesgo de inundaciones se ha sustentado principalmente en infraestructura gris, mediante obras hidráulicas enfocadas en el control, conducción y desalojo del agua. Entre

las obras destacan colectores, canales, cárcamos, presas de regulación y sistemas de drenaje profundo. Aunque estas estrategias han permitido disminuir parcialmente ciertos riesgos hidráulicos, tienen limitaciones frente a escenarios de cambio climático debido a sus altos costos de mantenimiento, limitada capacidad adaptativa y dependencia de soluciones estructurales rígidas. (Gill et al., 2007; Xiang et al., 2019).

En este contexto, durante los últimos lustros han cobrado relevancia enfoques orientados hacia la gestión integral del riesgo de inundaciones, incorporando estrategias preventivas basadas en la recuperación de funciones ecosistémicas y procesos naturales de regulación hídrica. Particularmente, la infraestructura verde, la infraestructura azul y las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) han emergido como alternativas complementarias para fortalecer la resiliencia territorial y promover modelos de adaptación climática más sostenibles.

Estas estrategias buscan recuperar capacidades naturales del territorio mediante mecanismos de infiltración, retención, almacenamiento y evapotrans-

piración del agua, contribuyendo no solo a la mitigación de inundaciones, sino también a la generación de servicios ecosistémicos, mejora ambiental y recuperación de espacios urbanos multifuncionales.

El presente artículo tiene como objetivo analizar la relevancia de la infraestructura verde y las Soluciones basadas en la Naturaleza en la gestión integral del riesgo de inundaciones, destacando su papel en los enfoques preventivos, la resiliencia territorial y la adaptación climática frente a los desafíos hídricos contemporáneos.

Gestión integral del riesgo de inundaciones

La gestión integral del riesgo de inundaciones representa un enfoque orientado no únicamente a la atención de emergencias, sino también a la prevención, mitigación y adaptación frente a fenómenos hidrometeorológicos extremos. A diferencia de los enfoques tradicionales centrados exclusivamente en obras hidráulicas de control, la gestión integral reconoce que las inundaciones son resultado de múltiples factores hidrológicos, ambientales, territoriales y sociales.

Desde esta perspectiva, el riesgo de inundación depende tanto de la intensidad de los fenómenos meteorológicos como de las condiciones de vulnerabilidad existentes en el territorio. Entre estas destacan la urbanización no planificada, la ocupación de zonas inundables, la pérdida de cobertura vegetal, la impermeabilización del suelo y la insuficiencia de infraestructura hidráulica adecuada.

Por lo regular, los asentamientos informales, son los que sufren con los mayores daños y pérdidas humanas ya que son los más vulnerables. Las inundaciones frecuentes afectan las propiedades por lo que se reduce su valor y por otro lado ya no se incentiva a invertir en esas zonas (Míguez et al. 2007).

Por lo tanto, en años recientes, organismos internacionales y marcos globales de adaptación climática han enfatizado la necesidad de fortalecer la resiliencia territorial mediante estrategias preventivas y adaptativas. Bajo este enfoque, la resiliencia puede entenderse como la capacidad de los territorios y sistemas urbanos para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse frente a eventos extre-

mos, reduciendo sus impactos sociales, económicos y ambientales. Tal es el caso del Marco Sendai para la reducción de riesgos de desastres que se basa en entender la vulnerabilidad, checar los futuros riesgos y reducir los existentes.

La gestión integral del riesgo de inundaciones implica entonces avanzar hacia modelos híbridos capaces de integrar infraestructura hidráulica convencional con procesos ecológicos de regulación hídrica. Este cambio de paradigma ha favorecido el desarrollo de enfoques asociados a infraestructura verde, infraestructura azul y Soluciones basadas en la Naturaleza, orientados a recuperar funciones hidrológicas naturales dentro de las ciudades, (Comisión Europea, 2013; UICN, 2016). Estos tipos de modelos permiten atender las afectaciones, además de proveer servicios eco sistémicos a la ciudad.

De igual forma, este enfoque reconoce que la planificación territorial y urbana es fundamental para reducir la exposición al riesgo hídrico. Incorporar criterios hidrológicos, ambientales y climáticos en el diseño de las ciudades permite disminuir la presión sobre los sistemas de drenaje y fortalecer

la resiliencia frente a eventos de lluvia extrema y a la variabilidad climática. Sin embargo, la participación de la población también resulta indispensable. La implementación de acciones en la vivienda, como los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL), contribuye a retener parte de la escorrentía antes de que llegue a la red de drenaje. Aunque el almacenamiento en un solo predio pueda parecer limitado, la adopción generalizada de estas soluciones puede reducir significativamente los volúmenes de escurrimiento a escala urbana.

Infraestructura verde, azul y gris: hacia modelos híbridos de gestión hídrica

Tradicionalmente, la gestión de inundaciones urbanas ha dependido de infraestructura gris diseñada para conducir rápidamente los escurrimientos fuera de las ciudades. Este tipo de infraestructura incluye sistemas de alcantarillado, canales, tuberías, colectores y obras de contención hidráulica. Aunque estas soluciones continúan siendo necesarias para el funcionamiento urbano, diversos estudios han demostrado que, de manera aislada, resultan

insuficientes frente al incremento de eventos extremos asociados al cambio climático.

Ante este panorama, han surgido enfoques orientados hacia la integración de infraestructura verde y azul como componentes complementarios de los sistemas hidráulicos urbanos. La infraestructura verde comprende espacios y elementos naturales o seminaturales diseñados para recuperar funciones ecológicas e hidrológicas (Benedict, M. & McMahon, E. (2002)). Son ejemplos, la infiltración, evapotranspiración y regulación de escurrimientos. Por su parte, la infraestructura azul se relaciona con cuerpos, corredores y sistemas de alma-

Figura 1: Modelo híbrido de gestión de riesgo de inundaciones
creado por Autor y Chat GPT-5.5.



cenamiento y manejo del agua que contribuyen a la regulación hídrica territorial.

La combinación de infraestructura gris, verde y azul permite conformar modelos híbridos de gestión hídrica con mayores capacidades adaptativas y multifuncionales. Estos sistemas integran procesos naturales de regulación del agua con obras hidráulicas convencionales, favoreciendo no solo la reducción de inundaciones, sino también la mejora ambiental, la recuperación del espacio público y el fortalecimiento de servicios ecosistémicos urbanos.

Entre las principales estrategias de infraestructura verde y azul utilizadas en la mitigación de inundaciones destacan los jardines de lluvia, humedales urbanos, pavimentos permeables, zanjas de infiltración, corredores verdes, techos verdes, parques inundables y vasos reguladores multifuncionales. Estas soluciones permiten disminuir el volumen y velocidad de los escurrimientos superficiales, incrementar la infiltración y reducir la presión sobre los sistemas convencionales de drenaje (ver figura 1).

Además de sus beneficios hidráulicos, este tipo de infraestructura contribuye a mejorar la calidad del agua, reducir efectos de isla de calor urbana,

incrementar áreas verdes y fortalecer procesos de adaptación climática en las ciudades.

Soluciones basadas en la naturaleza y resiliencia territorial

Por su parte, las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) han adquirido relevancia internacional como estrategias orientadas a enfrentar desafíos ambientales, sociales y climáticos mediante el aprovechamiento de procesos ecosistémicos. En el ámbito de la gestión del riesgo de inundaciones, las SbN buscan restaurar o imitar funciones naturales del territorio para regular el comportamiento hidrológico y disminuir la vulnerabilidad frente a eventos extremos. (UICN, 2016).

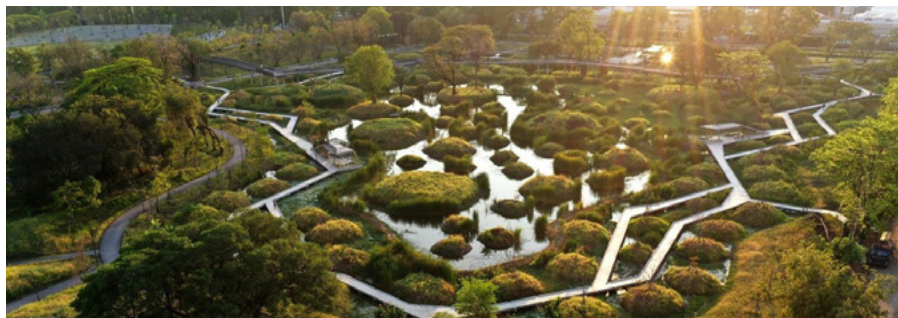
A diferencia de los enfoques exclusivamente estructurales, las SbN promueven intervenciones multifuncionales capaces de generar beneficios ambientales, sociales y económicos de manera simultánea. Entre sus principales aportes se encuentran la infiltración y almacenamiento de agua, recuperación ecológica urbana, conservación de biodiversidad, mejora paisajística y fortaleci-

miento de la resiliencia territorial. (Naumann et al., 2011).

Uno de los enfoques más representativos vinculados a las SbN es el concepto de ciudades esponja, desarrollado inicialmente en Asia como una estrategia de adaptación urbana orientada a recuperar la capacidad natural de las ciudades para absorber, almacenar y reutilizar agua pluvial. Este enfoque plantea una transición desde modelos urbanos altamente impermeabilizados hacia sistemas urbanos más permeables y resilientes (Xiang et al., 2019).

Un referente en la aplicación de estos principios es el trabajo de Kongjian Yu y la firma Turenscape, pioneros en el concepto de ciudades esponja en China. A partir del análisis

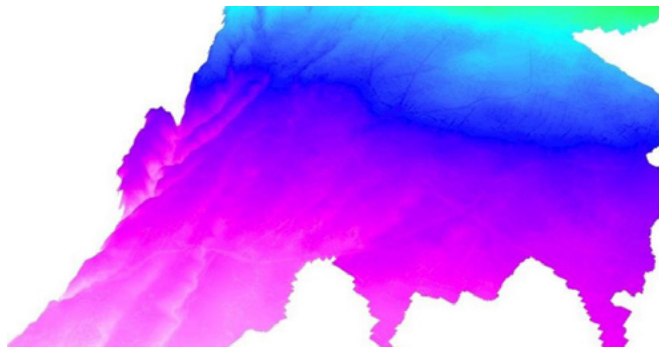
Figura 2 Parque Benjakitti fuente: (IS-ARQuitectura 2023)



hidrológico y del crecimiento urbano, sus propuestas priorizan la creación de parques, humedales y áreas verdes en zonas propensas a inundaciones, con el propósito de captar, infiltrar y almacenar los escurrimientos pluviales, al tiempo que generan espacios públicos de convivencia. Bajo este mismo enfoque, proyectos como el Benjakitti Forest Park incorporan humedales artificiales, islas y senderos peatonales que integran la gestión del agua con la recreación y la conservación ambiental., (ver figura 2).

Un ejemplo del aprovechamiento de los escurrimientos pluviales a escala urbana es el análisis de la dinámica del agua mediante cartografía, información de precipitación y modelos hidrológicos en dos dimensiones. En la ciudad de Cuernavaca, el uso de un modelo digital

Figura 3 Modelo digital de elevación de la ciudad de Cuernavaca para análisis de escorrentía fuente: Figueroa J. 2014



de elevación y del software FLO-2D permite identificar las zonas donde se concentra la escorrentía superficial. Esta información facilita la localización de áreas estratégicas para el almacenamiento de agua de lluvia, contribuyendo tanto a la reducción del riesgo de inundaciones aguas abajo como al aprovechamiento del recurso hídrico (ver figura 3).

Un ejemplo destacado de infraestructura verde en México es el Parque Hídrico La Quebradora, desarrollado en un predio que anteriormente fun-

Figura 4 Parque hídrico la Quebradora, fuente: (Arch daily 2024)



cionaba como tiradero de residuos. A partir de una propuesta impulsada por investigadores de la UNAM, el sitio fue transformado en un espacio público que integra vasos reguladores con una capacidad de almacenamiento de aproximadamente 67,000 m³ de agua pluvial (Perló y Castro, 2016). Este proyecto demuestra cómo la infraestructura verde puede recuperar espacios urbanos

degradados, reducir el riesgo de inundaciones y generar áreas de recreación que fortalecen la resiliencia de las ciudades, (ver figura 4).

A una escala menor, aplicable en barrios y colonias, los jardines de lluvia representan una alternativa de bajo costo y alta efectividad para el manejo de aguas pluviales urbanas. Estas soluciones captan, infiltran y retienen parte de la escorrentía, contribuyendo a disminuir los volúmenes de agua que ingresan al sistema de drenaje y, con ello, el riesgo de encharcamientos e inundaciones. Un ejemplo es el jardín de lluvia implementado en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), donde se registraron reducciones de entre 50 % y 54 % en los picos del hidrograma para periodos de retorno de 2, 5, 10 y 20 años, y de aproximadamente 40 % para un periodo de retorno de 50 años (ver figura 5). Estos resultados demuestran su eficacia como una solución distribuida para el control de escurrimientos en zonas urbanas. (IMTA 2020).

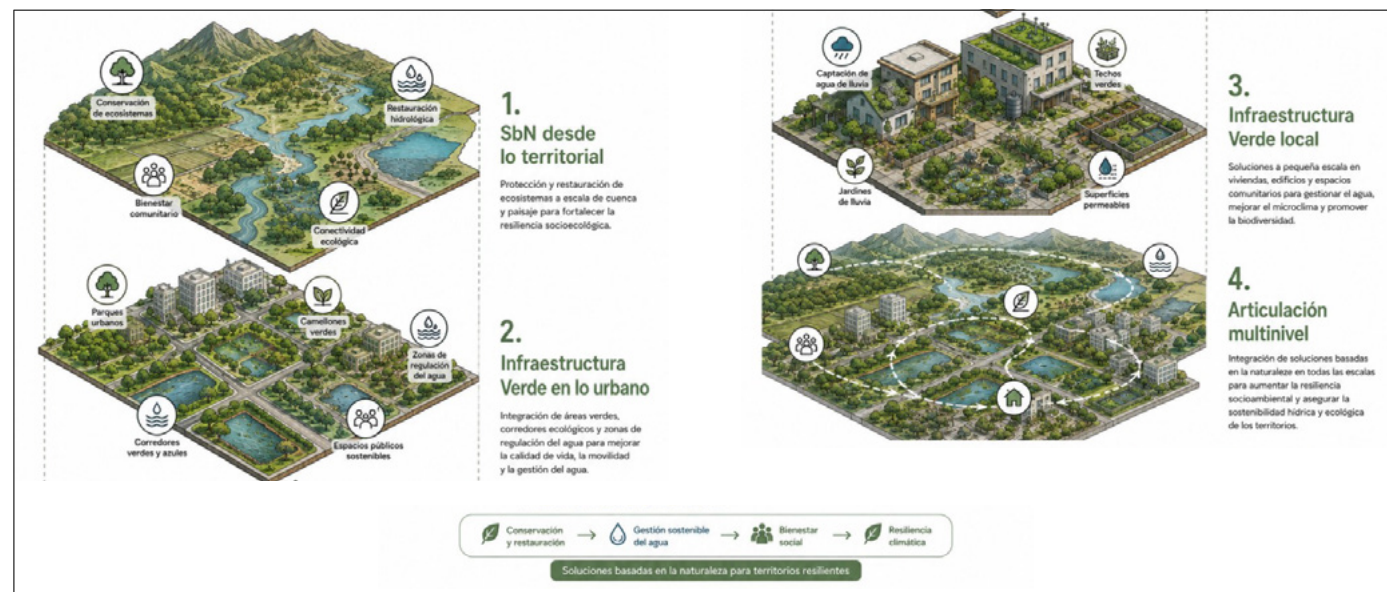
En conjunto, estos ejemplos muestran que la gestión del agua puede abordarse desde diferentes escalas. A nivel territorial, mediante Soluciones

Figura 5 Ejemplo de jardín de lluvia para escurrimientos pluviales creado por Autor y Chat GPT-5.5.



basadas en la Naturaleza orientadas a la restauración ecológica; a escala urbana, con infraestructura verde como parques, corredores verdes y vasos reguladores; y a nivel local, mediante jardines de lluvia, sistemas de captación pluvial y techos verdes. La integración de estas estrategias fortalece la resiliencia urbana y contribuye a reducir el riesgo de inundaciones, demostrando que tanto las intervenciones de gran escala como las soluciones implementadas en barrios y viviendas son complementarias para enfrentar los efectos de las lluvias intensas, (ver figura 6).

Figura 6 diferentes escalas para la aplicación de las SbN e I.V. creado por Autor y ChapGPT 5.5



La resiliencia territorial implica no solo reducir riesgos hidráulicos inmediatos, sino también fortalecer capacidades adaptativas frente a escenarios futuros de cambio climático. En este sentido, las SbN representan herramientas fundamentales para

promover ciudades más sostenibles, adaptativas y ambientalmente integradas. (Gill et al., 2007).

No obstante, la implementación de estas estrategias enfrenta diversos retos relacionados con financiamiento, mantenimiento, coordinación

institucional y planificación urbana. En muchos contextos, la gestión hídrica continúa priorizando soluciones convencionales de infraestructura gris, limitando la incorporación de enfoques híbridos y preventivos.

Retos y perspectivas para la adaptación climática

El cambio climático representa uno de los principales desafíos para la gestión hídrica contemporánea debido al incremento proyectado en la frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos. En este contexto, las ciudades enfrentan crecientes presiones derivadas de inundaciones urbanas, saturación de drenajes y pérdida de capacidad de regulación natural del territorio.

Frente a este panorama, la adaptación climática requiere avanzar hacia enfoques integrales capaces de combinar infraestructura hidráulica, restauración ecológica y planificación territorial resiliente. La incorporación de infraestructura verde, azul y Soluciones basadas en la Naturaleza permite forta-

lecer capacidades adaptativas y reducir vulnerabilidades urbanas mediante estrategias preventivas y multifuncionales.

Sin embargo, la transición hacia estos modelos enfrenta importantes desafíos institucionales y técnicos. Entre ellos destacan la fragmentación sectorial en la gestión del agua, la limitada integración entre planeación urbana e hidrología, la ausencia de normativas específicas y la necesidad de fortalecer mecanismos de financiamiento y mantenimiento para este tipo de infraestructura.

Asimismo, resulta fundamental promover esquemas de gobernanza y planificación territorial que integren criterios climáticos, ambientales e hidrológicos dentro de los procesos de desarrollo urbano. La adaptación al cambio climático requiere no solo de nuevas tecnologías e infraestructura, sino también cambios en los modelos de gestión territorial y manejo sustentable del agua.

La participación ciudadana es un elemento clave para el éxito de los proyectos de infraestructura verde. Fomentar una cultura del cuidado del agua y generar espacios de colaboración entre

instituciones y sociedad favorece la apropiación y el mantenimiento de estas soluciones. Asimismo, la implementación de acciones desde la vivienda, como los sistemas de captación pluvial o los jardines de lluvia, demuestra que las intervenciones a pequeña escala pueden generar beneficios significativos cuando se replican a nivel urbano.

Cada espacio de suelo permeable recuperado representa una oportunidad para disminuir el riesgo de inundaciones, mejorar la calidad ambiental y fortalecer la resiliencia urbana. La transición hacia ciudades capaces de convivir con el agua dependerá menos de construir infraestructura gris y más de recuperar la capacidad natural del territorio para almacenarla, infiltrarla y aprovecharla.

Conclusiones

La gestión integral del riesgo de inundaciones requiere transitar de enfoques predominantemente reactivos y basados exclusivamente en infraestructura gris hacia modelos preventivos, híbridos y resilientes capaces de integrar procesos ecológicos y soluciones adaptativas.

La infraestructura verde y las Soluciones basadas en la Naturaleza representan alternativas estratégicas para fortalecer la resiliencia territorial frente al cambio climático, contribuyendo a la regulación hidrológica, reducción de escurrimientos y recuperación de funciones ecosistémicas dentro de las ciudades.

La integración de modelos híbridos de gestión hídrica permite no solo disminuir riesgos asociados a inundaciones urbanas, sino también generar beneficios ambientales, sociales y territoriales complementarios. No obstante, su implementación requiere fortalecer procesos de planificación urbana, coordinación institucional y adaptación climática dentro de las políticas públicas relacionadas con el agua y el territorio. Un concepto integrador podría ser la gobernanza adaptativa, en donde las instituciones sean flexibles con proyectos en los que se involucre a la sociedad, en lugar de ofrecer proyectos en los cuales no tengan conocimiento.

En un contexto de creciente variabilidad climática y expansión urbana, la incorporación de enfoques preventivos y soluciones basadas en procesos

naturales constituye una estrategia fundamental para avanzar hacia ciudades más sostenibles, resilientes y adaptativas frente a los desafíos hídricos contemporáneos.

Nota: Se empleó ChatGPT 5.5 en la revisión de estilo y redacción del presente artículo.

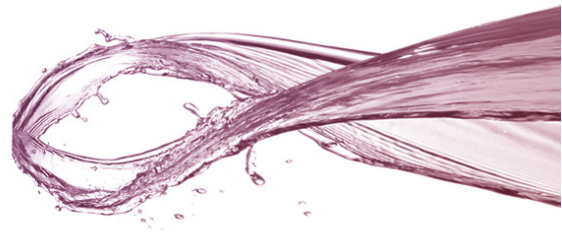
Referencias:

- Benedict, M. A., & McMahon, E. T. (2002). Green infrastructure: Smart conservation for the 21st century. *Renewable Resources Journal*, 20(3), 12–17.
- Comisión Europea. (2013). Infraestructura verde: Mejora del capital natural de Europa (COM(2013) 249 final). Comisión Europea.
- Figueroa, J. M. (2014). La planeación urbano-ambiental: Un caso de aprovechamiento de escorrentía urbana para usos suntuarios en la ciudad de Cuernavaca, Morelos [Tesis de maestría, El Colegio de la Frontera Norte]. Repositorio Institucional de El Colegio de la Frontera Norte.
- Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure. *Built Environment*, 33(1), 115–133.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). (2020). Análisis y evaluación de infraestructura verde para mitigación de inundaciones. Proyecto HC2008.1. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- IS-ARQuitectura. (2023, 19 de octubre). Kongjian Yu: Arquitecto paisajista de las ciudades esponja. <https://blog.is-arquitectura.es/2023/10/19/ciudades-esponja-de-kongjian-yu/>
- Naumann, S., Davis, M., Kaphengst, T., Pieterse, M., & Rayment, M. (2011). Assessment of the potential of ecosystem-based approaches to climate change adaptation and mitigation in Europe. European Commission.
- Perló, M., & Castro, L. (2016). Parque Hídrico La Quebradora: Propuesta general. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Pintos, P. (2024, 21 de junio). Parque Hídrico La Quebradora / Taller Capital + UNAM + Manuel Perló. ArchDaily México.
- UICN. (2016). Definición oficial de soluciones basadas en la naturaleza. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.
- Xiang, Y., Li, Y., & otros. (2019). Sponge cities and urban flood adaptation.

CONECTIVIDAD, AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA: HACIA UNA CIUDAD ESPONJA

PATRICIA MORENO-CASASOLA, ANDRÉS DE LA ROSA
INSTITUTO DE ECOLOGÍA A.C., XALAPA, VERACRUZ.

HUGO LÓPEZ-ROSAS
COLEGIO DE VERACRUZ, XALAPA, VERACRUZ.



Resumen

Las inundaciones representan el principal riesgo hidrometeorológico en México; Veracruz acumula 15.3% de las declaratorias nacionales de desastre, con 221 eventos asociados a lluvias intensas. La expansión urbana sobre humedales y dunas ha reducido la infiltración del agua en el suelo y fragmentado el sistema hidrológico de la conurbación Veracruz-Boca del Río-Medellín-Alvarado, donde de más de 100 lagunas interdunarias solo sobreviven 33. Son Área Natural Protegida estatal y Sitio Ramsar; regulan flujos superficiales y se conectan por flujos subterráneos, su principal alimentación. Ante las limitaciones del drenaje convencional, el

enfoque de ciudad esponja (basado en retención, infiltración y almacenamiento mediante soluciones basadas en la naturaleza) ofrece una alternativa técnica y ambientalmente viable. Se presentan los fundamentos hidrológicos de este enfoque en el contexto veracruzano y una propuesta de intervención en las lagunas El Ensueño y La Ilusión, que incluye la restauración de los márgenes con vegetación nativa, infraestructura verde y participación comunitaria organizada.

Palabras clave: coordinación interinstitucional, humedales, infraestructura verde, lagunas interdunarias, participación comunitaria, Veracruz.

Introducción

El año 2025 fue uno de los más cálidos (+1.43°C sobre niveles preindustriales) y los últimos 11 años siguieron esta tendencia. Las concentraciones de gases de efecto invernadero alcanzaron niveles récord y los océanos absorbieron el 91 % de este calor, lo que incrementó su temperatura y acidificación, provocando fenómenos meteorológicos extremos y un ciclo hidrológico más errático, con sequías, lluvias intensas e inundaciones (OMM, 2026a). Se estima que una de cada cinco personas (4,500 millones) es vulnerable a estos fenómenos hidrometeorológicos (Hill et al., 2025). En 2025, se documentaron 358 desastres a nivel global, que causaron 16,607 víctimas y afectaron a 110 millones de personas. Las inundaciones contribuyeron a 5,235 muertes (31.5% del total) y 22.2 millones de afectados (Delforge et al., 2026).

En América Latina y el Caribe, 2025 fue uno de los años más calurosos, con +0.40°C respecto a la media de 1991-2020. La región enfrentó sequías severas en México y ciclones intensos, mientras que junio fue el mes más lluvioso, con un 55.8 % más de precipitación, y en octubre se registraron 83

muertes por inundaciones (OMM, 2026b). Cuando estas catástrofes afectan a México, se emiten declaratorias de desastre, de emergencia o de contingencia climatológica. Desde 2000 hasta 2024 se han registrado 2,449, de las cuales 1,254 (51.2%) fueron declaratorias de emergencia. Destacan los fenómenos hidrometeorológicos, con 2,248 casos (91.7%), siendo las declaratorias por lluvias las más frecuentes, con 1,053 (42.9%). El estado con más declaratorias es Veracruz, con 375 (15.3% del nacional), donde se registran 221 eventos de lluvia (58.9%) (CENAPRED, 2026a).

Veracruz es vulnerable y no porque los fenómenos naturales necesariamente provocan desastres. La relación entre dichos fenómenos y las condiciones socioeconómicas y físicas (como la marginación, la alteración de los recursos naturales y las condiciones no aptas para la construcción) es lo que provoca desastres (De la Rosa et al., 2017; Vázquez-González et al., 2019). El municipio debería gestionar proactivamente el riesgo de desastres; sin embargo, solo el 20% de los 212 ayuntamientos

cuenta con un Atlas Municipal de Riesgo y la mayoría desactualizados (CENAPRED, 2026b).

En el contexto de inundaciones, las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) y la infraestructura verde (IV) actúan como sistemas de infiltración y almacenamiento, previniendo desbordamientos y reduciendo la fuerza destructiva del agua (PNUMA y GEF, 2023). Sin embargo, las ciudades costeras en México continúan expandiéndose y, aumentando los problemas asociados a las inundaciones, los daños a la infraestructura y las pérdidas económicas, derivados de la forma de construir el territorio urbano sin considerar su funcionamiento hidrológico.

El área natural protegida del Archipiélago de Lagunas Interdunarias de la Zona Conurbada de los Municipios de Veracruz y La Antigua funciona como una esponja que absorbe el agua de lluvia en un suelo altamente infiltrante, facilitando que el agua penetre al acuífero en lugar de escurrir por la superficie. Constituyen vasos reguladores naturales durante las lluvias, almacenando temporalmente el agua, previniendo inundaciones o retardando sus efectos (Moreno-Casasola y Lithgow-Serrano, 2025),

además de que algunas de ellas se han conectado artificialmente.

Desarrollo

La zona conurbada de Veracruz, Boca del Río, Medellín y Alvarado ilustra esta situación. Se ubica en la planicie de inundación del río Jamapa, donde confluyen el agua de lluvia y el flujo subterráneo provenientes de la cuenca. Es un territorio bajo, con extensos humedales que rodean los campos de dunas, donde cada año se siente el impacto de las tormentas tropicales y los huracanes. Sin embargo, la urbanización ha modificado estas dinámicas, lo que ha incrementado la vulnerabilidad de la población.

Los humedales no solo tienen valor ecológico; también cumplen funciones esenciales en la regulación hídrica y en la protección costera. Su alteración ha reducido la capacidad natural del territorio para amortiguar inundaciones y otros eventos extremos.

A este contexto se suma la crisis climática, que se manifiesta en el aumento del nivel del mar, periodos más largos de sequía y eventos de lluvia más intensos. Bajo estas condiciones, el enfoque

convencional de drenaje —basado en la evacuación rápida del agua mediante infraestructura gris— ha mostrado limitaciones que no responden adecuadamente a la dinámica hidrológica del territorio.

Frente a ello, se plantea la necesidad de transitar hacia enfoques que integren los procesos naturales en la planeación urbana. Esto incluye recuperar la conectividad hidrológica, favorecer la infiltración, proteger las zonas de recarga y aplicar SbN. En este marco se inscribe el concepto de “ciudad esponja”, entendido como un modelo de gestión del agua que prioriza la retención, la infiltración y el almacenamiento en el propio territorio.

Una ciudad construida sobre agua. En las últimas décadas, la expansión urbana en la conurbación ha estado asociada al crecimiento portuario, turístico e inmobiliario. Una parte importante de los asentamientos se ha establecido sobre dunas y humedales, lo que ha implicado el relleno de lagunas interdunarias (Moreno-Casasola y Lithgow-Serrano, 2025) el drenaje de humedales y la modificación de los flujos mediante obras hidráulicas, como el canal

de la Zamorana. De más de 100 lagunas registradas, actualmente solo 33 sobreviven.

De manera paralela, la pavimentación extensiva ha reducido la capacidad de infiltración del suelo. El agua de lluvia, en lugar de infiltrarse en el subsuelo, es conducida a los sistemas de drenaje o directamente a los cuerpos de agua. Este proceso ha interrumpido la conectividad del paisaje y limitado la recarga de los acuíferos, incrementando la escorrentía superficial y el riesgo de inundaciones.

El papel de las aguas subterráneas. En las planicies costeras, el agua no solo proviene de la precipitación directa, sino también de flujos subterráneos que descienden desde zonas más elevadas. En las áreas bajas, estos flujos dan origen a humedales y sistemas de dunas. Por esta razón, el agua subterránea es un componente central de la dinámica hidrológica de estas regiones.

En Veracruz, los campos de dunas captan y filtran el agua de lluvia, recargando el manto freático. En sus depresiones se forman lagunas interdunarias que actúan como vasos reguladores del sistema hídrico, protegidas como Área Natural Protegida

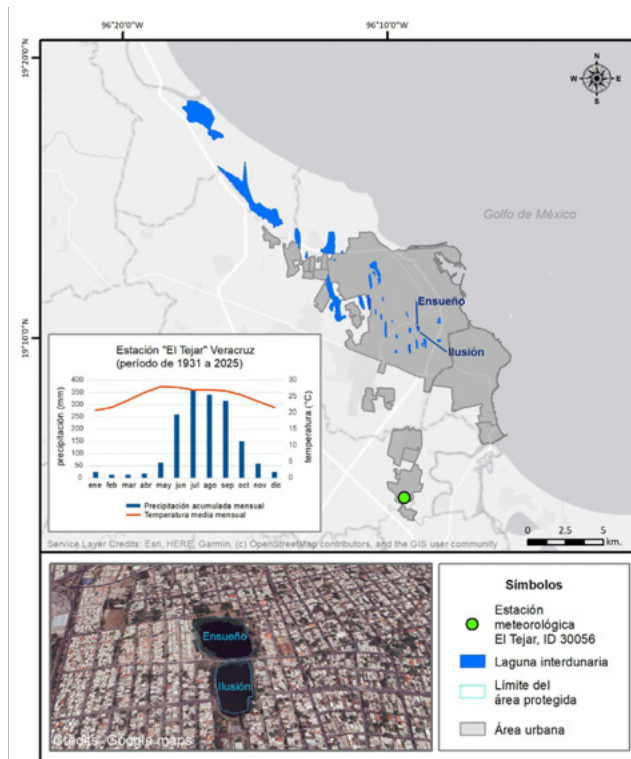
estatal y como Sitio Ramsar (número 1450). Véase Figura 1.

Las inundaciones en esta región incluyen no solo desbordamientos fluviales o escurrimientos superficiales, sino también ascensos del nivel freático (Neri-Flores, 2019). Los humedales desempeñan un papel relevante en este proceso, ya que sus suelos orgánicos almacenan agua y carbono y los liberan gradualmente al subsuelo (Campos et al., 2011).

La pérdida de estos humedales, debido a rellenos y urbanización, reduce la capacidad de almacenamiento e infiltración. El agua subterránea no desaparece, sino que cambia de trayectoria o emerge en otros puntos, lo que provoca afectaciones en zonas urbanas. En este contexto, la conservación de áreas de infiltración (como lagunas, manglares y zonas inundables) es fundamental para mitigar las inundaciones, mantener la disponibilidad de agua dulce y evitar la intrusión salina.

La ciudad esponja como enfoque de gestión. El modelo de ciudad esponja propone una gestión del agua basada en procesos naturales. En lugar de

Figura 1 Mapa lagunas y Ensueño Ilusión.



evacuar rápidamente el escurrimiento, se busca retenerlo, infiltrarlo y almacenarlo localmente. Este enfoque fue desarrollado por el urbanista Kongjian Yu y aplicado en diversas ciudades, especialmente en China.

Su implementación implica el uso de infraestructura verde y azul que reproduce procesos hidrológicos naturales. Entre las medidas se encuentran los jardines de lluvia, los humedales urbanos, los pavimentos permeables y los techos verdes. Estas soluciones forman parte de enfoques como los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) y el Diseño Urbano Sensible al Agua (DUSA), empleados en ciudades de Europa y de Estados Unidos. Ejemplos de ello son las “plazas de agua” inundables de Róterdam, los canales vegetados de Singapur (programa ABC Waters) o los parques multifuncionales de Copenhague. La efectividad de este modelo depende de recuperar la conectividad hidrológica, tanto superficial como subterránea, mediante la restauración de humedales, la reconexión de cuerpos de agua y el incremento de superficies permeables.

Asimismo, la conectividad ecológica es un componente complementario. La creación de corredores biológicos facilita el movimiento de la fauna y el funcionamiento de los ecosistemas. Estudios basados en el Análisis de Ruta de Menor Costo (ArcGIS Pro) muestran que la vegetación continua reduce la fragmentación del hábitat. En Veracruz, el 73.3% de las localidades urbanas no alcanza el mínimo de 5 m² de arbolado por habitante.

Intervención en las lagunas El Ensueño y La Ilusión. El ANP Archipiélago de Lagunas Interdunarias de Veracruz y La Antigua constituye un sistema estratégico para la implementación de estas medidas. Las lagunas El Ensueño y La Ilusión (Figura 2), ubicadas en áreas urbanizadas, aun siendo ANP y Sitio Ramsar, presentan problemas asociados a la ocupación irregular, las descargas de aguas residuales, el azolve y el deterioro de la calidad del agua, que incluyen eventos de mortandad de peces (Moreno-Casasola et al., 2026), pero mantienen su función hidrológica. Véase Figura 2.

Figura 2.



La propuesta de intervención abarca tanto el cuerpo de agua como su zona de influencia (Figura 3) e incluye:

- Restauración de márgenes y humedales mediante revegetación con árboles nativos -*Pachira aquatica* (zapote de agua), *Annona glabra* (corcho) y *Salix spp.* (sauce llorón)-, y herbáceas -*Pontederia sagittata* (platanillo) y *Cyperus articulatus* (chintul)-, para mejorar la retención de sedimentos y la filtración, crear hábitats para la fauna (peces, tortugas) y gene-

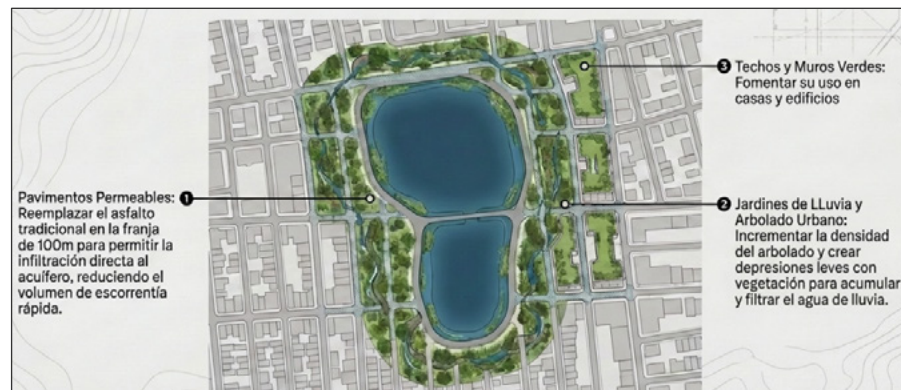
rar sombra, ayudando a reducir la temperatura durante las secas.

- Ampliar cinturones de vegetación arbórea para reducir la temperatura urbana y fortalecer los hábitats y la conectividad.
- Implementación de infraestructura para la gestión del agua pluvial: jardines de lluvia, biofiltros y pavimentos permeables. Deberá lograrse un equilibrio entre aquellos sistemas más adecuados para lluvias frecuentes de baja intensidad, como los techos verdes, y otros, como las zanjas y los pavimentos permeables, que responden mejor a tormentas intensas y cortas.

El proceso cuenta con la participación de la comunidad a través del “Grupo Organizado Lagunas Ensueño e Ilusión”, que ha promovido actividades de educación ambiental y organización comunitaria. Véase Figura 3.

Retos y perspectivas. Hay numerosos retos que deben abordarse para avanzar en este planteamiento. El primero es cambiar la visión de las autoridades municipales, estatales y federales, de una

Figura 3.



visión ingenieril de manejo del agua a una visión integral que incorpore el funcionamiento hidrológico del agua superficial y subterránea, de los humedales que la conectan y de su papel en la recarga del manto freático y en el fomento de otros servicios ecosistémicos asociados al agua. Los humedales deben dejar de verse como depósitos finales a los que llegan las aguas vertidas o tratadas e incorporarse como parte de la IV de la ciudad y como polos de bienestar comunitario.

Uno de los principales desafíos es la coordinación institucional. La falta de articulación entre CONAGUA, CONANP, SEDEMA y los gobiernos municipales ha limitado la gestión integral de estos sistemas. También

es necesario delimitar y proteger las zonas aledañas a los cuerpos de agua. Adicionalmente, se requieren mecanismos financieros que aseguren la continuidad de las intervenciones, como esquemas de Pagos por Servicios Ambientales Urbanos (PSAU) mediante fideicomisos.

Existen otras barreras estructurales profundas surgidas en los aprendizajes del proyecto BIOCITIS (GIZ, 2024), tales como la alta rotación de personal técnico, la fragmentación de las jurisdicciones territoriales, que no coinciden con las cuencas, y la fuerte dependencia de los municipios de los presupuestos federales (principalmente el Ramo 33), que restringen la inversión local en SbN.

Conclusiones

La transición hacia una ciudad resiliente en la conurbación exige incorporar de manera integral los procesos naturales en la planeación urbana, incluyendo la conservación y restauración de lagunas interdunarias y otros humedales. El modelo de ciudad esponja representa una estrategia técnica y ambientalmente viable para convertir la enorme vulnerabilidad hídrica de la región en una oportunidad para rediseñar su metabolismo urbano.

Sin embargo, el éxito de este nuevo paradigma enfrenta retos que trascienden el diseño técnico. Su implementación eficaz demanda una visión a largo plazo, un compromiso político sostenido y una sólida coordinación interinstitucional entre dependencias clave, cuya falta de articulación ha limitado históricamente la gestión integral.

La conservación y restauración de los ecosistemas estratégicos —en particular las lagunas interdunarias, los humedales, las dunas y el sistema de aguas subterráneas— constituyen una condición ineludible para enfrentar los embates del cambio climático. Finalmente, la viabilidad a futuro de las

SbN dependerá de la participación ciudadana activa orientada a construir una nueva cultura del agua, una perspectiva ética que reconozca el carácter vital del recurso, revalorice los servicios ecosistémicos y reconecte a la sociedad con los ciclos naturales que sustentan la vida en el territorio costero.

Agradecimientos

A Roberto Monroy I. por la elaboración de figuras.

Bibliografía

- Campos, A., Hernández, M. E., Moreno-Casasola, P., Cejudo Espinosa, E., Robledo, A. y Infante Mata, D. (2011). Soil water retention and carbon pools in tropical forested wetlands and marshes of the Gulf of Mexico. *Hydrological Sciences Journal*, 56(8), 1388–1406.
- CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres). (2026a). Sistema de Consulta de Declaratorias 2000-2024. <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/apps/Declaratorias/#>
- CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres). (2026b). Cobertura de Atlas Municipales. <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/cob-atlas-municipales.html>
- De la Rosa, A., Ruelas-Monjardín, L. C. y Valdés Rodríguez, O. A. (2017). Modelo descriptivo-predictivo de zonas susceptibles de deslizamiento en laderas en la cuenca del río Nautla. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21725.22249>
- Delforge, D., Below, R., Wathelet, V., Tonnelier, M., Alonso, A. y Speybroeck, N. (2026). 2025 Disasters in Numbers. https://files.emdat.be/reports/2025_EMDAT_report.pdf
- GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit) (2024). Soluciones basadas en la Naturaleza e Infraestructura Verde en el marco del proyecto BIOCITIS de la Cooperación Técnica Alemana (GIZ) en México. <https://ciudadesytransporte.mx/wp-content/uploads/2024/10/policy-paper-soluciones-basadas-en-la-naturaleza-e-infraestructura-verde.pdf>.
- Hill, R., Gorgulu, N., Brunckhorst, B., Nguyen, M., Hallegatte, S., Naikal, E. (2025). One-fifth of the world's population at high risk from climate-related hazards. <https://www.prevention-web.net/media/117974/download?startDownload=20260526>
- Moreno-Casasola, P. y Lithgow Serrano, D. (2025). Veracruz una Ciudad Esponja: construyamos su futuro. Instituto de Ecología, A.C., Xalapa. <https://doi.org/10.21829/978-607-8833-32-0>
- Moreno-Casasola, P., De la Rosa, A., Peralta Peláez, L. A., Vázquez Báez, C. y López Rosas, H. (2026). Bridging local and regional scales: Ecological and governance assessment of urban dune lake wetlands in a coastal metropolis. *Coasts*, 6(1), 10.

Neri-Flores, I., Moreno-Casasola, P., Peralta-Peláez, L. A. y Monroy, R. (2019). Groundwater and river flooding: The importance of wetlands in coastal zones. *Journal of Coastal Research*, 92 (SI), 44-54.

OMM (Organización Meteorológica Mundial). (2026a). Estado del clima mundial 2025. <https://doi.org/https://doi.org/10.59327/WMO/S/CRI/SOC/1/ES>

OMM (Organización Meteorológica Mundial) (2026b). Estado del clima en América Latina y el Caribe 2025. <https://doi.org/https://doi.org/10.59327/WMO/S/CRI/SOC/2/LAC/ES>

PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) y GEF (Fondo para el Medio Ambiente Mundial). (2023). Protocolos de 20 medidas de soluciones basadas en la naturaleza implementadas con enfoque de cuenca en zonas urbanas y peri-urbanas (Proyecto CityAdapt 2018-2023). <https://cityadapt.org>

Vázquez-González, C., P. Moreno-Casasola, L.A. Peralta-Pélaez, R. Monroy Ibarra, I. Espejel. 2019. The value of coastal wetland hydrological services lost to urbanization on the coastal plain of the Gulf of Mexico: an analysis of flood damage by hurricane impacts. *Journal of Disaster Risk Reduction* 37: 101180.

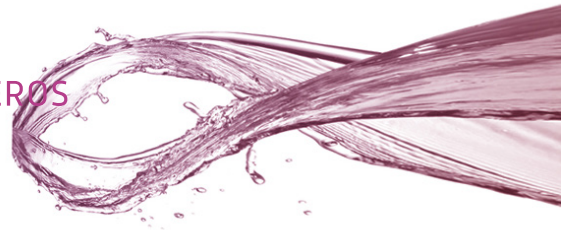
Nota metodológica. Se empleó IA Notebooklm en la revisión de estilo y en la elaboración de la figura 3.

Figura 1. Mapa de las lagunas interdunarias en la ciudad de Veracruz, mostrando un climograma y una vista aérea de las lagunas La Ilusión y El Ensueño.

Figura 2. Fotografía de las Lagunas Ensueño e Ilusión. Fotografía G. Sánchez Vigil.

Figura 3. Esquema de las lagunas La Ilusión y El Ensueño mostrando algunas de las soluciones basadas en la naturaleza que se proponen.

EVENTOS DE PRECIPITACIÓN EXTREMA Y ADAPTACIÓN CLIMÁTICA: LA IMPORTANCIA DE LOS HUMEDALES COSTEROS



ABRIL MONTIJO-GALINDO

SECIHTI-CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN ALIMENTACIÓN Y DESARROLLO (CIAD)
SUBSEDE MAZATLÁN

ARTURO RUIZ-LUNA

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN ALIMENTACIÓN Y DESARROLLO (CIAD)
SUBSEDE MAZATLÁN.

Resumen

El cambio climático constituye uno de los principales desafíos socioambientales contemporáneos debido a sus efectos sobre los ecosistemas y las sociedades humanas. Entre sus manifestaciones destaca el incremento en la frecuencia e intensidad de los eventos hidrometeorológicos extremos, particularmente eventos de precipitación extrema, cuyos impactos afectan la infraestructura, la seguridad hídrica, la salud y las actividades productivas, siendo las zonas costeras especialmente vulnerables. Ante este escenario, la adaptación basada en ecosistemas surge

como una estrategia eficaz para fortalecer la resiliencia social y ambiental. En particular, los humedales costeros desempeñan un papel fundamental al proporcionar servicios ecosistémicos que contribuyen a la regulación hidrológica, reducción de inundaciones y la protección frente a fenómenos extremos. Se destaca la necesidad de conservar y restaurar estos ecosistemas, así como de fortalecer la conciencia social y la gobernanza local para mejorar la capacidad adaptativa frente al cambio climático.

Introducción

Elementos técnicos recientes, aportados por diversas fuentes, indican la existencia inequívoca de un cambio a escala global, que involucra efectos diversos en los procesos y funciones de ecosistemas marinos, dulceacuícolas y terrestres, alterando la provisión de servicios ecosistémicos, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria y la integridad de los sistemas de salud, economía y cultura (IPCC, 2023).

Si bien no es el único cambio, una de las principales manifestaciones del cambio climático es el incremento en el promedio de la temperatura superficial del planeta. De acuerdo con reportes de la World Meteorological Organization (WMO), este aumento ha superado el valor de 1.1°C en el periodo 2011-2020, comparado con el valor promedio registrado para el periodo 1850-1990. Además, se han reportado máximos históricos para los años 2023 a 2025, con valores mayores de 1.4 °C, por encima del periodo de referencia, teniendo al año 2024 como el más caluroso, con una temperatura media estimada en 1.55 °C (WMO, 2026). Lamentablemente, el pronóstico generado por la WMO no es

alentador y señala que al menos un año entre 2026 y 2030 superará el récord anterior, situándose muy cerca de los 2 °C.

Como ya han señalado diversas fuentes, el origen de este fenómeno global se debe a procesos naturales y antrópicos que alteran el equilibrio de los ecosistemas. De esta manera, los cambios en las coberturas y usos del suelo, pero especialmente la continua emisión de los denominados gases de efecto invernadero (GEI), son los principales inductores de este cambio global. Los GEI tienen la capacidad de retener el calor en la atmósfera terrestre, lo que ha favorecido el desarrollo de la vida, sin embargo, debido al continuo incremento en la concentración de gases tales como el dióxido de Carbono (CO₂), al Metano (CH₄) y el Óxido nitroso (NO₂), como los principales compuestos cuya concentración ha aumentado de forma alarmante a consecuencia del uso de combustibles fósiles, la retención del calor y con ello el aumento de la temperatura media superficial ha modificado el clima y al mismo tiempo ha tenido efectos sobre la temperatura y características de los océanos

(elevación del nivel medio del mar, acidificación, calentamiento), modificando en consecuencia los patrones hidrológicos y meteorológicos, de manera que eventos extremos tales como sequías o tormentas se han vuelto más frecuentes. Como resultado, la población sujeta a riesgos se ha incrementado, alcanzando casi el 50% de la población humana actual, alterando la seguridad alimentaria e hídrica, potenciando problemas de salud pública, poniendo en riesgo la existencia de diversos ecosistemas y su biodiversidad (IPCC, 2023b)

Considerando que no hay evidencias que induzcan a pensar que el cambio climático podrá mitigarse en lo inmediato y que, por el contrario, se intensificará para finales del presente siglo, se deben atender los aspectos que inciden en la vulnerabilidad social y ambiental y que permitan reforzar la capacidad de las comunidades para resistir a los fenómenos naturales y, en lo posible, recuperar la normalidad de su existencia en caso de padecerlos.

En referencia al cambio climático, se han propuesto dos grandes líneas de acción para enfrentarlo. En primer término, la mitigación, que busca

reducir las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de las actividades humanas, a niveles que limiten el calentamiento por arriba de 1.5°C de lo registrado en periodos preindustriales. Reportes recientes indican que entre 2030 y 2050 las temperaturas excederán ese límite, e inclusive la WMO (2026) ha señalado que esto puede ocurrir en el quinquenio de 2026 a 2030. Sin embargo, se espera que estos niveles de temperatura se presenten de forma aislada y que sea posible alcanzar el objetivo para finales del presente siglo, siempre y cuando exista una reducción sustancial en el uso de combustibles fósiles y un avance tecnológico significativo, particularmente en el ámbito del transporte (IPCC, 2023b).

Por otra parte, la segunda línea de acción consiste en actividades orientadas a fortalecer la adaptación, entendida como el conjunto de medidas destinadas a reducir la exposición y la vulnerabilidad ante los riesgos generados por el cambio climático. Uno de los aspectos más preocupantes del cambio climático es el incremento en la frecuencia e intensidad de determinados eventos meteoroló-

gicos extremos, pero, en particular, sobresalen los de índole hidrometeorológica, cuya capacidad de impacto se ha intensificado al incrementarse en número o magnitud los efectos de dichos fenómenos, en particular las sequías y los eventos de precipitación extrema (EPE), siendo estos últimos los de interés del presente estudio.

Eventos meteorológicos extremos y riesgos emergentes

La comprensión de los eventos extremos resulta de interés debido a su potencial para generar impactos sustanciales en los sistemas socioecológicos. No existe una definición universal para este tipo de eventos y el concepto puede variar según la disciplina desde la que se aborde (McPhillips et al., 2018, p. 443). Broska y colaboradores (2020, p. 4) definen un evento extremo como un suceso dinámico dentro de un periodo de tiempo limitado que impide el funcionamiento normal de un sistema. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) define un evento meteorológico extremo como un evento poco frecuente en un lugar y momento determina-

dos del año. La literatura científica considera que un evento es extremo si el valor de una variable supera (o se sitúa por debajo de) un umbral, definido como el número de días en los que una variable supera un umbral relativo como el percentil 90 (o superior) del valor máximo registrado de dicha variable (IPCC, 2023c, p. 1536).

Particular atención merecen los EPE debido a su capacidad para producir impactos inmediatos sobre la población y la infraestructura. Aunque estos fenómenos forman parte de la variabilidad natural del clima, diversos estudios han documentado cambios significativos en sus patrones de ocurrencia (Gimeno et al., 2022, p. 2). El Sexto reporte del IPCC señala que la frecuencia e intensidad de las precipitaciones extremas han aumentado a escala mundial en la mayoría de las regiones terrestres (IPCC, 2023c, p. 1558 y 1566), especialmente en el hemisferio norte (IPCC, 2023c, p. 1560).

Estos eventos se caracterizan por registrar volúmenes de lluvia excepcionalmente elevados en periodos relativamente cortos, superando los valores considerados normales para una región deter-

minada. Las consecuencias de estos fenómenos incluyen inundaciones urbanas, deslizamientos de tierra, pérdida de infraestructura, interrupción de servicios básicos, daños a la producción agrícola y afectaciones directas a la salud y seguridad de la población (Papalexiou y Montanari, 2019, p. 4901).

Los EPE interactúan, generando riesgo y vulnerabilidad, por lo que nuestra comprensión de estos eventos influye en nuestra capacidad para mejorar la resiliencia ante ellos o para planificar la recuperación. Las áreas urbanas son las más expuestas, especialmente en zonas costeras donde la suma de factores ambientales y sociales incrementan la vulnerabilidad.

La vulnerabilidad de las zonas costeras

Las zonas costeras representan algunos de los espacios más dinámicos y productivos del planeta. En ellas convergen ecosistemas de gran relevancia ecológica y actividades económicas fundamentales como la pesca, el turismo, el comercio marítimo y la producción energética.

La importancia demográfica de las zonas costeras es notable. Una proporción significativa de la población mundial vive cerca del litoral. Cosby y colaboradores (2024, p. 2) reportaron que el 29% de la población mundial vivía a menos de 50 kilómetros de la costa y poco más de la mitad, el 15% del total, vivía entre 5 y 10 kilómetros. México posee poco más de 11 mil kilómetros de litoral que albergan una población de aproximadamente 20 millones de personas (INEGI, 2020). Estos patrones de asentamiento tienen como consecuencia que una gran cantidad de personas e infraestructura crítica se encuentren ubicadas en áreas potencialmente expuestas a riesgos climáticos.

El aumento del nivel del mar, la modificación de los patrones de precipitación, las inundaciones y las tormentas intensas, así como la degradación de ecosistemas costeros constituyen amenazas cada vez más frecuentes para las poblaciones en estas regiones (Papalexiou y Montanari, 2019, p. 4901).

Actualmente existe consenso respecto a la necesidad de adoptar enfoques integrales de gestión costera que consideren simultáneamente los com-

ponentes ambientales, sociales y económicos que determinan la vulnerabilidad del territorio.

Los servicios ecosistémicos como mecanismo natural de adaptación: Adaptación basada en ecosistemas

La adaptación al cambio climático no depende exclusivamente de infraestructura, tecnología o políticas públicas. Los ecosistemas desempeñan un papel fundamental en la reducción de riesgos y en el fortalecimiento de la resiliencia de las comunidades.

Cada vez son más las evidencias de que la provisión de bienes y servicios ambientales, conocidos como servicios ecosistémicos (SE), desempeña un papel esencial en la reducción de la vulnerabilidad de las sociedades al cambio climático (Sudmeier-Rieux et al., 2006). Para adaptarse al cambio, se han propuesto diversos enfoques, siendo el basado en ecosistemas (AbE), uno de los más recientes y con resultados positivos. La AbE se define como “el uso de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos para ayudar a las personas a adaptarse a los efectos adversos del cambio climático, como parte de una

estrategia global de adaptación” (CBD, 2009). De lo anterior se infiere que la salud de los ecosistemas es muy importante para lograr poblaciones más resilientes y menos vulnerables, siendo crucial en la adaptación al cambio global.

En ese sentido, se reconoce que los humedales son algunos de los ecosistemas más valiosos y productivos, ofreciendo diversos SE para las poblaciones locales que habitan en cercanía. Dadas las características de la zona costera, en ella se propicia el desarrollo de distintos humedales, con mayor diversidad que en otras regiones del planeta, lo que contribuye a un mayor aporte y variedad de SE. Estos ambientes naturales actúan como barreras de protección frente a inundaciones y tormentas, almacenan grandes cantidades de agua durante eventos de lluvia intensa y contribuyen a reducir la erosión costera.

Sin embargo, como consecuencia de la rápida transformación que están sufriendo las áreas costeras, se está amenazando con ello la permanencia de sus humedales. Este hecho compromete el suministro de SE y, en consecuencia, aumenta la vulne-

rabilidad de las poblaciones que ahí habitan. La degradación o pérdida de estos ecosistemas implica una reducción significativa de la capacidad natural de adaptación de los territorios costeros.

Adicionalmente, amenazas como las derivadas de eventos meteorológicos extremos, la erosión costera y particularmente, la pérdida de biodiversidad, junto con la pobreza y otros factores de debilidad socioeconómica, agregan presiones a la seguridad de las comunidades costeras. En ese sentido, la conservación y el mantenimiento de la diversidad y del buen funcionamiento de los ecosistemas, se presenta como una de las mejores estrategias para fortalecer los procesos de adaptación. Sin embargo, parte del problema radica en la falta de conocimiento que las poblaciones suelen tener sobre los humedales, aun de los más próximos, así como de sus funciones y los servicios que brindan. Por lo anterior, es válido cuestionarse si las poblaciones costeras conocen los beneficios que ofrecen los humedales y el riesgo que conlleva su reducción o pérdida. Asimismo, es importante determinar si la apropiación de este conocimiento y por tanto, el

incremento en la conciencia social, fortalecen los procesos de gobernanza, permitiendo con ello que los habitantes locales estén mejor preparados para, en un esquema de co-diseño, conservar y mantener los SE proporcionados por los humedales. Por esta razón, la conservación y restauración de humedales debe considerarse una estrategia prioritaria dentro de las políticas de adaptación climática.

Conclusiones

El cambio climático está modificando la frecuencia e intensidad de los eventos hidrometeorológicos extremos, incrementando los riesgos para las poblaciones y ecosistemas de las zonas costeras. Entre estos fenómenos, los eventos de precipitación extrema representan una amenaza creciente debido a sus efectos sobre la infraestructura, los servicios básicos y el bienestar social.

La elevada concentración de población y actividades económicas en las regiones costeras amplifica su vulnerabilidad frente a estos procesos, haciendo indispensable fortalecer las estrategias de adaptación. En este contexto, los ecosistemas

costeros, particularmente los humedales, desempeñan una función esencial al proporcionar servicios ecosistémicos que contribuyen a reducir riesgos y aumentar la resiliencia de las comunidades.

No obstante, la degradación acelerada de estos ecosistemas compromete su capacidad de protección y adaptación, incrementando la exposición de las poblaciones a los impactos del cambio climático. Por ello, la conservación y restauración de los humedales debe reconocerse como una prioridad dentro de las políticas de adaptación climática y gestión del territorio.

Asimismo, resulta fundamental promover una mayor apropiación social del conocimiento sobre los beneficios que aportan estos ecosistemas. El fortalecimiento de la conciencia ambiental y de los procesos de gobernanza local puede contribuir significativamente a la construcción de comunidades costeras más resilientes y mejor preparadas para enfrentar los desafíos de un clima cambiante.

Bibliografía

- Broska, L. H., Poganietz, W. R., Vögele, S. (2020), "Extreme events defined—A conceptual discussion applying a complex systems approach", *Futures*, 115, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2019.102490>
- Convention on Biological Diversity (CBD). (2009). Connecting biodiversity and climate change mitigation and adaptation: Report of the second ad hoc technical expert group on biodiversity and climate change (CBD Technical Series No. 41). Montreal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity.
- Cosby, A.G., Lebakula, V., Smith, C.N. et al. (2024), "Accelerating growth of human coastal populations at the global and continent levels: 2000–2018", *Scientific Reports*, 14, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-73287-x>
- Gimeno, L., Sorí, R., Vázquez, M., Stojanovic, M., Algarra, I., Eiras-Barca, J., Gimeno-Sotelo, L., Nieto, R. (2022), "Extreme precipitation events", *WIREs Water*, 9(6), pp. 1-21. <https://doi.org/10.1002/wat2.1611>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020), Censo de Población y Vivienda 2020. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/> [1]
- IPCC. (2023), Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023b), *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press. Pp 121-196. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023c), 'Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate', in *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge:

Cambridge University Press, pp. 1513–1766. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.013>

McPhillips, L. E., Chang, H., Chester, M. V., Depietri, Y., Friedman, E., Grimm, N. B., Kominoski, J. S., McPhearson, T., Méndez-Lázaro, P., Rosi, E. J., Shiva, J. S. (2018), “Defining Extreme Events: A Cross-Disciplinary Review”, *Earth’s Future*, 6(3), pp. 441-455. <https://doi.org/10.1002/2017EF000686>

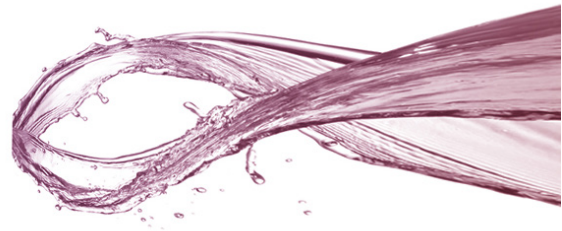
Papalexiou, S. M., Montanari, A. (2019), “Global and Regional Increase of Precipitation Extremes Under Global Warming”, *Water Resources Research*, 55, pp. 4901-4914. <https://doi.org/10.1029/2018WR024067>

Sudmeier-Rieux, K. (2006), *Ecosystems, Livelihoods and Disasters: An integrated approach to disaster risk management* (No. 4). IUCN. <https://www.loc.gov/item/2023691061/>

World Meteorological Organization (WMO). (2026), *State of the Global Climate 2025*. (WMO-No. 1342). Geneva, 2026. ISBN: 978-92-63-11299-7. <https://doi.org/10.59327/WMO/S/CRI/SOC1>

CUANDO LA BASURA INUNDA: DEBER MUNICIPAL DE PREVENCIÓN Y GESTIÓN JURÍDICA DEL RIESGO HIDROMETEOROLÓGICO EN CHILPANCINGO

ERICK JAVIER GARCÍA OCAMPO
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO



Resumen

Este trabajo analiza, desde un enfoque jurídico-territorial, la relación entre la gestión municipal de residuos sólidos urbanos y la prevención del riesgo hidrometeorológico en Chilpancingo de los Bravo, Guerrero. A partir de un suceso ocurrido en 2024 donde un tapón de basura obstruía la barranca Tonlapa propició una inundación de viviendas. Se sostiene que las omisiones preventivas, deficiencias institucionales y prácticas sociales contribuyen a la acumulación de residuos en drenas, rejillas y cauces urbanos y por consecuencia a maximizar los efectos de las lluvias de temporada. Se plantea que el mantenimiento de las barrancas, la recolección

oportuna de los residuos y la educación comunitaria deben entenderse dentro del marco de obligaciones municipales vinculadas con la gestión integral del riesgo.

Introducción

Es común asociar las inundaciones urbanas como producto de lluvias de alta intensidad. No obstante, la ocurrencia de contingencias hidrometeorológicas no solamente dependen de la magnitud de la precipitación. La forma en cómo los gobiernos municipales gestionan los residuos sólidos urbanos y mantienen saneado el sistema de drenajes y las

barrancas como parte de su obligación preventiva, determina las posibilidades de una contingencia asociada a la basura y drenajes.

Las ciudades que registran crecimiento acelerado y servicios públicos municipales insuficientes son vulnerables a que los residuos, lodo y escombros obstaculicen los drenajes, rejillas y barrancas, aumentando el riesgo de encharcamientos e inundaciones.

De esta manera, en el marco del cumplimiento del deber municipal que no se agota en la esfera de limpieza pública o la protección civil, el municipio tiene obligaciones constitucionales contempladas en el artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, que principalmente asigna a los ayuntamientos la prestación de los servicios públicos como drenaje, alcantarilla y disposición de aguas residuales, entre otros servicios.

En este tenor, la gestión de los residuos sólidos o basura y el mantenimiento preventivo de la infraestructura pluvial, se inscriben dentro del precepto constitucional antes señalado, además de estar debidamente reglamentado en todo un marco

normativo e instrumentos de planeación que exige del ayuntamiento acciones preventivas más que reactivas.

A partir del suceso ocurrido el 13 de julio de 2024 en la ciudad de Chilpancingo de los Bravo, Guerrero, cuando un taponamiento de basura ubicado en la barranca conocida como Tonalapa provocó la inundación de cinco viviendas (El Sur, 2024).

En este trabajo se analiza esa la relación que en el caso concreto expuso la relación entre la basura y la prevención del riesgo asociado a la temporada de lluvias, pero sobre todo las omisiones preventivas del gobierno municipal y las prácticas sociales de disposición inadecuada en las barrancas de la capital que contribuyen a maximizar los efectos de las lluvias de temporada.

Pero, además, el caso resulta muy ilustrativo no por su escala o impacto, sino por su recurrencia. Toda vez que un año antes del caso en concreto, el ayuntamiento ya había reportado actividades desasolve, reconocimiento el riesgo, y sin embargo, el daño volvió a producirse.

Frente a escenarios donde el riesgo se reproduce, se plantea que el mantenimiento de las barrancas y sistemas de drenaje no deben agotarse en el establecimiento de medidas discrecionales de mejoramiento urbano, sino que deben ser comprendidas como un deber del orden municipal asociado a la gestión integral del riesgo, articulando la amenaza de la disposición inadecuada de los residuos en estos sitios altamente inundables y su prevención con base en el reconocimiento del deber constitucional.

Desarrollo

Uno de los casos que permite ilustrar la hipótesis que orienta este trabajo, es el sucedido el 13 de julio de 2024 en la ciudad de Chilpancingo de los Bravo, Guerrero, donde el personal de la Coordinación Municipal de Protección Civil realizando acciones de desazolve retiraron un tapón de basura en la barranca Tonalá lo que ocasionó la inundación de cinco viviendas que resultaron afectadas (El Sur, 2024).

Desde una perspectiva jurídica, el anterior suceso no solo trata de una contingencia operativa

ni un hecho aislado, evidencia el incumplimiento de deberes del orden municipal en materia de prevención. En el 2023 el gobierno municipal de Chilpancingo informó que habían desazolvado 189 rejillas y recogido 94 toneladas de residuos y tierra como parte de una serie de medidas preventivas que se realizaron durante la temporada de lluvias (Ayuntamiento de Chilpancingo, 2023).

De esta manera, de una lectura conjunta de ambos hechos es evidente una regularidad: un año anterior la acumulación de desechos sólidos en infraestructura pluvial ya estaba contemplada como un factor riesgo y no obstante de las acciones de limpieza, el daño persistió de manera directa en las viviendas.

En materia de gestión integral del riesgo es indispensable que la reiteración de eventos se documente, y si se vuelve previsible deben existir acciones de prevención, reducción de vulnerabilidad y rendición de cuentas.

Esto adquiere relevancia a la luz de lo establecido por el artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, son los municipios

quienes tiene a su cargo los servicios públicos como el drenaje, alcantarillados y disposición de aguas residuales, entre otros servicios que son exclusivos de este orden de gobierno (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, art. 115).

Ahora bien, esta distribución competencial no separa el problema del agua asociado con la basura, por el contrario, muestra que drenaje y residuos son funciones municipales que se encuentren territorialmente vinculadas.

Por su parte la Ley General de Protección Civil amplía el enfoque de la afirmación anterior, pues al establecer las bases de coordinación entre los diferentes niveles de gobierno en el ámbito de protección civil (Ley General de Protección Civil, 2012, art. 1).

La anterior legislación es relevante porque, además define los agentes reguladores como acciones, instrumentos, normas u obras destinadas a la protección de las personas, bienes, infraestructura y medio ambiente.

Asimismo, ofrece una base para reducir riesgos y la prevención de sus efectos adversos, lo cual es importante para el caso de proporcionar manteni-

miento preventivo a las barrancas, rejillas y drenadas, con ese enfoque de protección civil y no solo de aspecto de mejoramiento urbano.

En este orden de ideas, en el caso de Chilpancingo, las actividades destinadas al saneamiento de la red de drenaje sanitario y pluvial están contempladas dentro del Plan Municipal de Desarrollo 2024-2027 (Ayuntamiento de Chilpancingo, 2025), además de que establece un objetivo específico para la mejora del servicio de recolección y disposición final de los residuos sólidos urbanos que se correlaciona con la problemática del taponamiento de las barrancas, ya que si este objetivo en específico no se cumplimenta y no se garantiza el servicio de recolección y disposición final de los residuos, se pone en riesgo que la ciudadanía realice prácticas de disposición inadecuada de los desechos sólidos urbanos y terminen obstruyendo el sistema de drenaje pluvial.

En términos jurídicos, la situación pone al descubierto una desconexión entre la planeación normativa y su eficacia operativa y convierte un

instrumento de política pública en una declaración programática sin fuerza vinculante.

De ahí que no basta únicamente con desarrollar instrumentos normativos y de planeación, sino que el desafío es que lo sustantivo pueda articularse como política preventiva en este caso, en materia de riesgos de inundaciones.

Las inundaciones pueden ser entendidas a partir del enfoque contemporáneo de reducción del riesgo de desastres, entendiendo el riesgo como un resultado que se produce como consecuencia de un conjunto de amenazas vinculadas entre ellas, además de factores de exposición y condiciones de vulnerabilidad (PreventionWeb, 2025).

En esta lógica, la basura por si sola no representa toda la inundación, pero si agrava sus efectos, facilita la formación de anegamientos y una lluvia moderada puede convertirse en una emergencia de mayor impacto.

Además, la gestión inadecuada de los desechos sólidos contribuye a obstruir los sistemas de drenaje y exacerbar riesgos de inundación, por su parte la Comisión Nacional del Agua ha advertido

que es fundamental disponer de manera correcta la basura para mantener con buena operatividad y condiciones los sistemas de desagüe y así reducir riesgos de inundaciones (CONAGUA, 2024).

Y, por otro lado, además de los factores como la disposición final no adecuada de los residuos y la falta de previsibilidad del riesgo de inundación, se suma el fenómeno del cambio climático que se relaciona con los riesgos climáticos en contextos urbanos se amplifican cuando existen condiciones de desigualdad e infraestructura deficiente, según lo expuesto por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2022).

Luego entonces, la prevención local no es una mera recomendación técnica, sino una exigencia a partir del principio de obligatoriedad de los servicios públicos y la gestión integral del riesgo. Por ende, la autoridad municipal debe gestionar con enfoque preventivo y reactivo la temporada de lluvias.

Las ciudades como Chilpancingo de los Bravo, requieren que se realicen con actividades preventivas, sobre todo en la identificación de puntos críticos y la vigilancia permanente sobre los mismos,

con comunicación y coordinación constante con la población ubicada en zonas de riesgo.

En primer término, los instrumentos normativos y de planeación deben articular en una agenda municipal preventiva, que considere el mapeo de drenajes, barrancas, cauces y puntos críticos de acumulación de basura, contrastando dicha información con reportes o denuncias ciudadanas.

En segundo lugar, deben establecer una programación periódica de desazolve y limpieza, con un margen considerable antes del inicio de la temporada de lluvias y con evidencia verificable de que se está dando cumplimiento a la normatividad.

Por otro lado, debe existir coordinación entre las áreas o dependencias del gobierno municipal que se encargan de limpia, protección civil, obras públicas, agua potable y desarrollo urbano, este tipo de problemáticas no pueden atenderse o gestionarse de manera aislada.

No menos importante, resulta el fortalecimiento de la educación comunitaria en materia ambiental. Ya que la prevención del riesgo de inundación requiere que la población logre comprender que la

disposición inadecuada de los residuos que generan no solo es un falta cívica o administrativa, sino que entraña un riesgo para la población en general cuando con los residuos se obstruyen los drenajes, de ahí que se señale que la educación para la sostenibilidad constituye una herramienta preventiva frente a las inundaciones, al fortalecimiento del conocimiento y la percepción del riesgo y la preparación social para dar prevenir al desastre.

En la prevención del riesgo hidrometeorológico es indispensable adoptar la corresponsabilidad social y la vigilancia vecinal, no basta con el monitoreo gubernamental, la resiliencia territorial es exitosa en la medida que combina infraestructura funcional, instituciones coordinadas y sobre todo que la comunidad participe, se eduque y se informe.

Por ello, la importancia del caso de la barranca de Tonalapa, expone que aunque no se trata de catástrofes de gran dimensión, como pudiera considerarse el caso concreto al evidenciar un ejemplo real donde solo cinco viviendas resultaron inundadas, sino que nos permite ejemplificar para el

enfoque preventivo, e ilustra como un riesgo aparentemente diminuto anticipa problemas o riesgos de mayor envergadura e impacto.

Conclusiones

La gestión integral del riesgo de inundaciones debe incorporar de manera explícita la gestión de residuos sólidos urbanos. En contextos urbanos como el caso de Chilpancingo de los Bravo, Guerrero, la basura acumulada en drenajes, sistemas de rejillas y barrancas no solo es el reflejo de un problema asociado a una deficiente limpieza pública por parte del ayuntamiento, representa un factor de riesgo que incide en la seguridad de las viviendas, la movilidad, la salud y la infraestructura urbana que desarrolla al margen del cumplimiento de la obligación municipal de garantizar una adecuada recolección de residuos sólidos y el saneamiento del sistema de drenajes, según lo previsto por el artículo 115 constitucional.

Si bien los efectos del caso de la barranca de Tonalapa no son a gran escala devastadores, el caso ilustra de manera adecuada la hipótesis de que la

prevención no debe comenzar a partir de la reacción. El deber municipal conlleva a planear desde antes de la temporada de lluvias, realizando los diagnósticos territoriales, limpiezas programadas, pero sobre todo con participación comunitaria.

Además, el caso Tonalapa, evidencia una omisión preventiva reiterada, lo que abre la puerta a que la sociedad de impulso a mecanismos de exigibilidad de responsabilidad y la vigilancia ciudadana en materia de cumplimiento normativo del gobierno municipal.

Por ello, se considera que la basura también inunda, interrumpe el curso del agua, pero sobre todo revela áreas de oportunidad de gobernanza en esta materia. Las adopciones de enfoques preventivos deben ir acompañados de acciones medibles y sostenidas en materia de gestión de residuos, solo de esta manera podría articularse con mayor eficacia la prevención jurídica del riesgo hidrometeorológico que exige el cumplimiento del deber del municipio para mantener el sistema de drenajes en óptimas circunstancias y una adecuada gestión de residuos sólidos urbanos, como parte de una pro-

gramación obligatoria, periódica y con un enfoque de participación comunitaria que al mismo tiempo represente un instrumento de rendición de cuentas del municipio.

Nota metodológica

Se empleó ChatGPT como apoyo para la organización del texto, revisión de estilo y la ortografía. La responsabilidad del contenido, argumentos, datos, fuentes y conclusiones corresponde exclusivamente al autor.

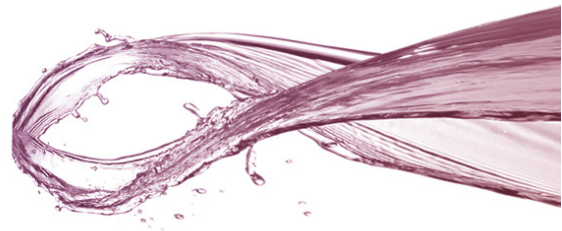
Bibliografía

- Ayuntamiento de Chilpancingo. (2023). Atención Inmediata ha retirado 94 toneladas de basura y tierra de 189 rejillas en Chilpancingo. H. Ayuntamiento de Chilpancingo de los Bravo, Guerrero. Disponible en: <https://chilpancingo.gob.mx/portal/atencion-inmediata-ha-retirado-94-toneladas-de-basura-y-tierra-de-189-rejillas-en-chilpancingo/>
- Ayuntamiento de Chilpancingo. (2025). Plan Municipal de Desarrollo 2024-2027. H. Ayuntamiento de Chilpancingo de los Bravo, Guerrero. Disponible en: <https://chilpancingo.gob.mx/portal/wp-content/uploads/2025/05/PLAN-DE-DESARROLLO-MUNICIPAL-2024-2027.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2024). La adecuada disposición de la basura es fundamental para mantener la operatividad de los sistemas de desagüe. Comunicado de prensa, 24 de abril. Disponible en: <https://www.gob.mx/conagua/prensa/la-adecuada-disposicion-de-la-basura-es-fundamental-para-mantener-la-operatividad-de-los-sistemas-de-desague?idiom=es-MX>
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Artículo 115. Suprema Corte de Justicia de la Nación. Disponible en: <https://www.scjn.gob.mx/sites/default/files/cpeum/documento/2020-06/CPEUM-115.pdf>
- El Sur. (2024). Inunda lluvia cinco casas por el taponamiento de un drenaje en Chilpancingo. El Sur Acapulco, 13 de julio de 2024. Disponible en: <https://suracapulco.mx/inunda-lluvia-cinco-casas-por-el-taponamiento-de-un-drenaje-en-chilpancingo/>
- IPCC. (2022). Summary for Policymakers. En Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge University Press, Cambridge y Nueva York.
- Ley General de Protección Civil. (2012). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Diario Oficial de la Federación. Disponible en: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPC.pdf>
- PreventionWeb. (2025). Comprender el riesgo de desastres. Ginebra: Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR). Disponible en: <https://www.preventionweb.net/>

UNDRR. (2015). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Geneva.

ANTICIPAR EL RIESGO DE INUNDACIONES EN UN CLIMA CAMBIANTE: HACIA UNA EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA EN MÉXICO

MILDRED CASTRO HERNÁNDEZ
RODOLFO LACY TAMAYO
COORDINACIÓN POLITÉCNICA PARA LA SUSTENTABILIDAD,
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL



RESUMEN

Las inundaciones constituyen uno de los riesgos hidrometeorológicos con mayores consecuencias sociales, económicas y ambientales. El cambio climático, la urbanización acelerada y la creciente exposición territorial están modificando la forma en que estos eventos deben comprenderse y gestionarse. Este artículo analiza la evolución internacional de los sistemas de alerta temprana a partir del Marco de Sendai, la iniciativa Early Warnings for All y el estado del arte en materia de pronóstico hidrometeorológico. A partir de ello se identifica una transición hacia sistemas integrales, basados en impactos y centrados en las personas. Se propone

el concepto de ventana de oportunidad preventiva como elemento clave para fortalecer la resiliencia climática. Finalmente, se presenta el Sistema de Alerta Meteorológica y Climática Temprana (SA-MyCT), desarrollado conceptualmente por el IPN, como una propuesta para contribuir a la evolución de los sistemas de alerta temprana en México mediante la integración de ciencia, tecnología, gobernanza y financiamiento.

Del desastre a la anticipación

En los últimos cincuenta años, la gestión de las inundaciones se ha centrado en el control del agua

mediante redes de observación global, modelos de pronóstico regional e infraestructura hidráulica local. Estos avances continúan siendo indispensables; sin embargo, el cambio climático, el crecimiento urbano y la transformación desordenada del paisaje, han modificado profundamente las condiciones bajo las cuales estos fenómenos están ocurriendo e impactan a la población, los ecosistemas, la infraestructura y la economía en lo general.

Hoy existe consenso en que una inundación no se convierte en desastre únicamente por la magnitud de la lluvia o el desbordamiento de un río. Sus consecuencias dependen también de la exposición y vulnerabilidad de las personas, la resiliencia de la infraestructura y actividades productivas, y la capacidad institucional para anticipar impactos y responder oportunamente.

La reducción de la mortalidad y del número de personas afectadas por desastres naturales constituye una prioridad transversal de la Agenda 2030, al ser un indicador oficial compartido por los Objetivos de Desarrollo Sostenible 1 (Fin de la Pobreza), 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles) y 13

(Acción por el Clima). Esta coincidencia refleja el reconocimiento internacional de que los desastres naturales no sólo representan una amenaza para la vida humana, sino también un obstáculo para el desarrollo económico, la reducción de la pobreza, la resiliencia urbana y la adaptación al cambio climático. Para México, uno de los países con mayor exposición mundial a fenómenos hidrometeorológicos extremos, el cumplimiento de estos objetivos reviste una importancia estratégica y resulta indispensable fortalecer e instrumentar políticas públicas integrales y sistemas especializados de prevención, monitoreo, alerta temprana, gestión del riesgo, protección civil, adaptación climática y evaluación de daños, sustentados en información científica, tecnologías de observación de la Tierra y redes modernas de monitoreo ambiental e hidrometeorológico.

El Marco de Sendai plantea que la reducción del riesgo exige comprender las amenazas, fortalecer la gobernanza, invertir en resiliencia y mejorar la preparación para responder (UNDRR, 2015, pp. 14, 17, 18 y 21). En la misma línea, Basher señala que

un desastre surge de la combinación entre amenaza, vulnerabilidad y capacidad insuficiente de respuesta, por lo que el término “desastre natural” resulta conceptualmente limitado (Basher, 2006, pp. 2168, 2170, 2172).

Este cambio de paradigma desplaza la pregunta central: ya no basta saber cuánto lloverá; es necesario anticipar con precisión qué consecuencias tendrá esa lluvia sobre las comunidades afectadas, la infraestructura crítica, la economía, los servicios esenciales y los ecosistemas. Los eventos de lluvias extremas registrados en 2025, en distintas entidades de México - como Puebla, Hidalgo, Veracruz y Tamaulipas-, así como en Valencia, España, y el río Guadalupe en Texas, Estados Unidos, por mencionar sólo algunos casos, provocaron la pérdida de vidas humanas, daños significativos a la infraestructura, interrupción de servicios esenciales y cuantiosas afectaciones económicas. Estos acontecimientos evidencian que el principal desafío es el de la anticipación y la respuesta oportuna para reducir el riesgo y los costos a la sociedad. En este sentido, el Sexto Informe de Evaluación del IPCC

reconoce que los Sistemas de Alerta Temprana (EWS por sus siglas en inglés), en combinación con medidas estructurales, han contribuido a disminuir la pérdida de vidas frente a inundaciones y constituyen una de las opciones de adaptación con mayor aplicabilidad frente al cambio climático (IPCC, 2023, pp. 13 y 35).

En consecuencia, el desafío contemporáneo no consiste únicamente en desarrollar mejores pronósticos, sino en construir sistemas capaces de transformar información científica en decisiones oportunas que reduzcan pérdidas humanas, protejan infraestructura crítica, fortalezcan la resiliencia climática del territorio para avanzar de manera simultánea en el cumplimiento de la Agenda 2030 y del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. Si existe un consenso internacional sobre esta necesidad, la pregunta siguiente es: ¿cómo están evolucionando los sistemas de alerta temprana en el mundo?

La evolución internacional de los sistemas de alerta temprana

Figura 1. Pilares del Sistema Global de Alerta Temprana (EW4All)



Fuente: Elaboración propia.

La iniciativa Early Warnings for All (EW4All), impulsada por Naciones Unidas y coordinada por la Organización Meteorológica Mundial, plantea que toda persona debe estar protegida por sistemas de alerta temprana multiamenaza antes de 2027. Su arquitectura se organiza en

cuatro componentes: conocimiento del riesgo; observación, monitoreo y pronóstico; difusión y comunicación de alertas; y preparación para responder (WMO, 2023, s. p.) (Figura 1). Estos componentes retoman la lógica de los sistemas centrados en las personas, que deben integrar conocimiento del riesgo, monitoreo, comunicación y capacidad de respuesta, no sólo capacidad técnica de predicción (Basher, 2006, pp. 2168, 2170, 2172).

En congruencia con este enfoque, diversos sistemas de referencia han contribuido a la evolución internacional de los sistemas de alerta temprana: la Japan Meteorological Agency (JMA), la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) - a través del Natio-

nal Water Prediction Service (NWPS) y el National Water Model (NWM) -, el European Flood Awareness System (EFAS), el Global Flood Awareness System (GloFAS), el Copernicus Emergency Management Service (CEMS) y la plataforma Delft-FEWS. Más que modelos replicables de forma automática, estos sistemas permiten observar hacia dónde se dirige la innovación: integración de información, pronóstico probabilístico, alertas basadas en impactos, interoperabilidad y apoyo a la toma de decisiones.

La evolución observada en estos referentes, junto con la literatura especializada, permite identificar tres tendencias. La primera es el uso creciente del pronóstico probabilístico y el tratamiento explícito de la incertidumbre; Basher reconoce que las alertas tempranas siempre implican un cierto grado de incertidumbre, aunque se presentan mediante categorías o niveles de riesgo; por ejemplo, una alerta puede advertir una alta probabilidad de inundación en determinadas calles o colonias, sin que ello signifique que todas resultarán afectadas de la misma manera (Basher, 2006,

p. 2172). La segunda es la transición hacia alertas basadas en impactos. Las guías de la WMO establecen que ya no es suficiente pronosticar “qué tiempo hará”, sino avanzar hacia servicios que expliquen “qué hará el tiempo”, incorporando exposición, vulnerabilidad y posibles consecuencias (WMO, 2015, pp. 1, 4-6 y 10-11); por ejemplo, en vez de avisar únicamente que lloverá o crecerá el caudal de un río, los sistemas más maduros intentan responder qué calles se cerrarán, qué activos quedarán expuestos, qué población debe evacuar y con qué antelación. La tercera tendencia es la interoperabilidad, indispensable para integrar sensores, plataformas, instituciones y canales de comunicación. En esta dimensión, estándares como el Common Alerting Protocol (CAP) permiten intercambiar alertas de emergencia en múltiples medios y redes (OASIS, 2010, p. 1).

La evolución internacional en el campo de la prevención busca mejorar la precisión del pronóstico e integrar conocimiento y herramientas científicas universalmente accesibles, mayor análisis territorial, comunicación efectiva del riesgo a

través de redes sociales y medios alternativos, así como mejor coordinación y acción institucional antes del impacto de un evento de precipitación extrema. Esta capacidad la podemos denominar ventana de oportunidad preventiva: el intervalo entre la generación de información confiable sobre una amenaza y el momento en que ésta produce impactos, durante el cual es posible adoptar decisiones que reduzcan el riesgo. Una alerta eficaz no sólo anticipa lluvias intensas; identifica zonas potencialmente afectadas, emite avisos localizados mediante múltiples canales - incluida la telefonía móvil - y activa medidas de protección, especialmente para población vulnerable.

Si ésta es la dirección internacional, la pregunta para México es ¿cómo articular las capacidades científicas e institucionales existentes para avanzar hacia un modelo semejante?

Hacia una arquitectura de inteligencia territorial anticipatoria para México

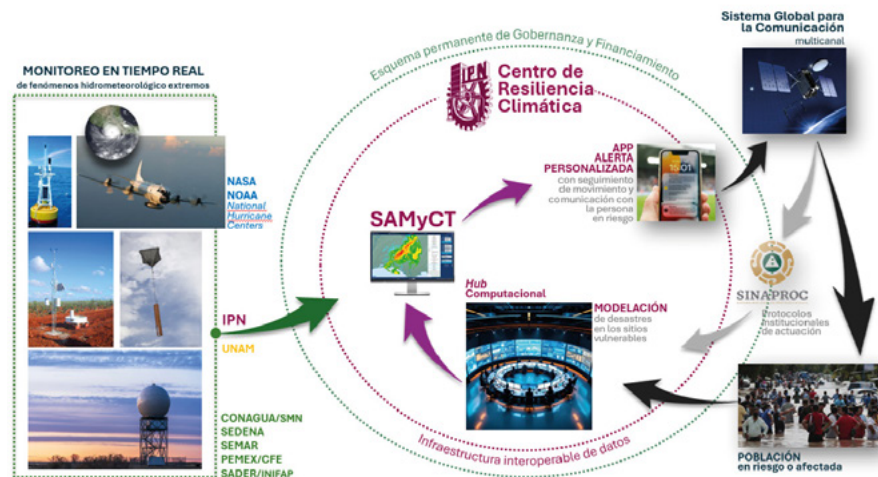
México no parte de cero. El país dispone de un Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC), que

articula múltiples capacidades meteorológicas, hidrológicas, tecnológicas, académicas e institucionales relevantes para fortalecer sus sistemas de alerta temprana. Instituciones como el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la Coordinación Nacional de Protección Civil, el CENAPRED, universidades y centros públicos de investigación generan diariamente información estratégica para la gestión del riesgo. El desafío consiste en articular estas capacidades bajo una arquitectura interoperable que permita transformar información dispersa en decisiones preventivas.

En este contexto y en el marco de la Estrategia Nacional de Cambio Climático a cargo de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), el fortalecimiento de los sistemas de alerta temprana constituye una de las acciones estratégicas y prioritarias para incrementar la capacidad de adaptación y resiliencia del país frente a los efectos del cambio climático.

Es por ello, que el IPN ha desarrollado de manera conceptual, el Sistema de Alerta Meteorológica y Climática Temprana (SAMyCT), el cual

Figura 2. Arquitectura propuesta para el desarrollo e implementación del SAMyCT



Fuente: Elaboración propia.

se plantea como una propuesta para contribuir a esa evolución. Su propósito no es sustituir las capacidades existentes, sino fortalecer su integración mediante un modelo que articule seis componentes estratégicos: infraestructura interoperable de datos; modelos predictivos apoyados en inteligencia artificial; comunicación multicanal de aler-

tas; vinculación con protocolos institucionales de actuación; un Centro de Resiliencia Climática para investigación y desarrollo; y un esquema permanente de gobernanza y financiamiento (ver Figura 2).

Esta arquitectura responde al flujo operativo observado en los sistemas internacionales más avanzados: integración de datos de múltiples fuentes; control de calidad y actualización continua; modelación meteorológica, hidrológica e hidráulica; estimación de incertidumbre; evaluación de impactos sobre población e infraestructura; y emisión de alertas interoperables para autoridades y ciudadanía. Su principal aportación consiste en integrar estos procesos dentro de un mismo marco

conceptual orientado a ampliar la ventana de oportunidad preventiva.

La implementación de una propuesta de esta naturaleza requiere condiciones que trascienden el ámbito tecnológico. Su viabilidad dependerá de una gobernanza ad hoc, coordinación interinstitucional, interoperabilidad, fortalecimiento de capacidades, evaluación continua y financiamiento sostenible. En materia económica, Hallegatte estima que los sistemas hidrometeorológicos, las alertas tempranas y la evacuación de la población en riesgo pueden generar beneficios significativamente superiores a su costo, con relaciones beneficio-costos de 4 a 36 en distintos contextos (Hallegatte, 2012, p. 3). En esta lógica, iniciativas como Climate Risk and Early Warning Systems (CREWS) y el Systematic Observations Financing Facility (SOFF) ofrecen referentes para fortalecer capacidades nacionales de observación, alerta temprana y adaptación climática.

El IPN reúne capacidades científicas y tecnológicas para contribuir al desarrollo metodológico, la investigación aplicada, la formación de especialistas y la evaluación independiente de estos sistemas.

Su papel no sustituye las atribuciones de las instituciones responsables de la gestión del riesgo; puede fortalecerlas mediante conocimiento, innovación y articulación de capacidades nacionales e internacionales.

Conclusiones

El cambio climático está transformando la forma en que deben concebirse los sistemas de alerta temprana, de cobertura universal e individualizadas. La evidencia internacional muestra una evolución hacia modelos integrales, basados en impactos y centrados en las personas, donde el objetivo ya no es sólo mejorar pronósticos, sino generar tiempo útil para actuar antes del desastre.

Este trabajo propone el concepto de ventana de oportunidad preventiva para explicar el valor estratégico de la anticipación: transformar información científica en decisiones capaces de reducir pérdidas humanas y materiales. Bajo esta perspectiva, el SAMyCT representa una propuesta conceptual del Instituto Politécnico Nacional para contribuir al fortalecimiento de una estrategia nacional de alerta temprana.

Su implementación requerirá coordinación interinstitucional, interoperabilidad, financiamiento sostenible y evaluación continua. En un escenario de fenómenos hidrometeorológicos extremos cada vez más frecuentes e intensos, fortalecer los sistemas de alerta temprana constituye una inversión estratégica en adaptación climática. Más que emitir mejores alertas, el reto es construir capacidades anticipatorias que protejan vidas, reduzcan daños a la infraestructura y fortalezcan la resiliencia climática de México.

Nota: se utilizó ChatGPT (OpenAI GPT-5.5) como herramienta de apoyo para la corrección de estilo y verificación de citas y referencias bibliográficas. La responsabilidad sobre el contenido final corresponde exclusivamente a los autores

BIBLIOGRAFÍA

- Basher, R. (2006). Global early warning systems for natural hazards: Systematic and people-centred. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 364(1845), 2167–2182. <https://doi.org/10.1098/rsta.2006.1819>
- Climate Risk and Early Warning Systems (CREWS). (2024). Climate Risk and Early Warning Systems (CREWS). <https://www.crews-initiative.org>
- Copernicus Emergency Management Service. (2024). European Flood Awareness System (EFAS). European Commission. <https://www.efas.eu>
- Copernicus Emergency Management Service. (2024). Global Flood Awareness System (GloFAS). European Commission. <https://www.globalfloods.eu>
- Deltares. (2024). Delft-FEWS: Open flood forecasting and warning system. <https://www.deltares.nl>
- Hallegatte, S. (2012). A cost effective solution to reduce disaster losses in developing countries: Hydro-meteorological services, early warning, and evacuation (Policy Research Working Paper No. 6058). World Bank. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/753551468163158563/a-cost-effective-solution-to-reduce-disaster-losses-in-developing-countries-hydro-meteorological-services-early-warning-and-evacuation>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). Climate change 2023: Synthesis report. Summary for policymakers. IPCC. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>
- Japan Meteorological Agency. (2024). High-resolution nowcasting and weather warning services. <https://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2024). National Water Prediction Service. <https://water.noaa.gov>
- OASIS. (2010). Common alerting protocol (CAP) version 1.2. OASIS Standard. <https://docs.oasis-open.org/emergency/cap/v1.2/CAP-v1.2.html>

Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres. (2015). Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015–2030. <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>

Organización Meteorológica Mundial. (2015). WMO guidelines on multi-hazard impact-based forecast and warning services (WMO-No. 1150). <https://library.wmo.int/idurl/4/35575>

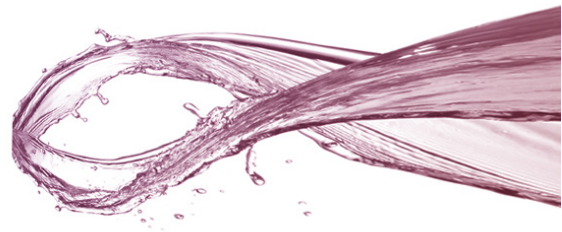
Organización Meteorológica Mundial. (2023). Early warnings for all: Executive action plan 2023–2027. <https://wmo.int/publication-series/early-warnings-all-executive-action-plan-2023-2027>

Systematic Observations Financing Facility. (2024). Systematic Observations Financing Facility (SOFF). <https://soff.global>

RESILIENCIA SANITARIA Y VIGILANCIA AMBIENTAL EN LA FARMACIA HOSPITALARIA ANTE EL RIESGO DE INUNDACIONES

YAZMIN HERNÁNDEZ MELCHOR

FARMACIA HOSPITALARIA, CLÍNICA DE 7 CAMAS, SANATORIO SANTA ROSA,
CIUDAD MENDOZA, VERACRUZ, MÉXICO.



Resumen

Las inundaciones en las Altas Montañas, Veracruz, convierten el alcantarillado en un reactor hídrico donde convergen remanentes farmacéuticos, acelerando la resistencia antimicrobiana (RAM). Ante esta vulnerabilidad socioambiental, se analiza la transición hacia una gestión clínica activa dirigida por un Responsable Sanitario en una farmacia hospitalaria de siete camas. Mediante metodologías de ingeniería Just-In-Time (JIT), la delimitación cronológica de tres fases analíticas de consumo y la auditoría bajo la clasificación AWaRe de la OMS, se demostró el control de la presión selectiva en el entorno. Tras la intervención del comité, el uso del

grupo Watch disminuyó drásticamente al 34.5% y el grupo Access se elevó al 65.5%, logrando en paralelo el rescate financiero de \$13,406.70 MXN en inventario crítico. Los resultados confirman que la profesionalización de las ciencias químicas en unidades de salud periféricas constituye un eslabón crítico de resiliencia territorial, viabilidad económica y bioseguridad hídrica.

Introducción

El fenómeno de las inundaciones en la región geográfica de Ciudad Mendoza y Nogales, Veracruz, constituye una crisis sanitaria de alta complejidad

sistémica. La topografía accidentada de la zona de las Altas Montañas y las recurrentes barrancadas del “Río Chiquito” exacerban de forma crónica los problemas de salud pública, saturando un sistema de drenaje municipal insuficiente. Estas inundaciones convierte a la red de alcantarillado en un reactor de mezcla completa donde convergen lixiviados de rastros locales, zonas de crianza pecuaria, aguas residuales crudas y remanentes farmacéuticos vertidos de manera incorrecta. El contacto estrecho de estos componentes bajo condiciones de saturación hídrica promueve la presión selectiva del entorno y la transferencia horizontal de genes, acelerando la resistencia antimicrobiana (RAM).

La unidad de salud sujeta al presente análisis es una clínica con una capacidad instalada de siete camas, la cual atiende a una población donde el 97% de los usuarios proviene de comunidades rurales con alta marginación, tales como Soledad Atzompa, La Perla, Necoxtla, La Cuesta, Balastrera, Maltrata y Nogales. Esta población padece una carencia estructural de sistemas de alcantarillado eficientes y de agua que cumpla con los límites permisibles de la

normativa oficial mexicana para uso y consumo humano. Las inundaciones y la subsecuente contaminación hídrica propician un ciclo epidemiológico de enfermedades virales, dermatológicas e infecciones gastrointestinales, lo que obliga a un uso intensivo y, a menudo, empírico de terapéutica antimicrobiana en la población afectada.

Ante este panorama de vulnerabilidad socioambiental, el eje central de mitigación de la clínica se articuló desde una farmacia hospitalaria formalmente profesionalizada. A partir de marzo de 2025, en estricto cumplimiento con el marco regulatorio nacional emitido por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) y los lineamientos de la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos (FEUM), la unidad incorporó la figura de un Responsable Sanitario del área química. Esta profesionalización de las ciencias químicas marca la transición de un esquema tradicional de suministro pasivo a un sistema de gestión clínica activa, diseñado para romper el ciclo de la RAM mediante tres pilares fundamentales: la optimización farmacoeconómica de inventarios críticos, la

educación para el uso racional de antimicrobianos durante las inundaciones y el desarrollo de programas de disposición correcta de residuos farmacéuticos para contener el avance de la RAM desde el origen.

Desarrollo

1. Diagnóstico del Impacto de los Residuos Farmacéuticos en el Entorno Hídrico

La gestión post-consumo de residuos farmacéuticos representa un eslabón crítico en la gobernanza sanitaria regional. La infraestructura actual del Sistema Nacional de Gestión de Residuos de Envases de Medicamentos (SINGREM) presenta deficiencias logísticas severas en la zona. El programa opera en Ciudad Mendoza con un único contenedor físico ubicado en Av. Hidalgo # 401, Farmacias del Ahorro, cuyas dimensiones estándar aproximadas son de 45 cm de frente, 45 cm de fondo y 100 cm de alto, representando un volumen nominal total de apenas 202.5 litros. Al considerar los espacios muertos de acomodo y el empaque secundario (cartón y blisters), la

capacidad real de almacenamiento neto se reduce drásticamente, resultando físicamente insuficiente para absorber los residuos generados por una población urbana que supera los 41,000 habitantes, lo que reduce la estrategia comunitaria institucional a un acto meramente simbólico.

Las comunidades rurales periféricas carecen por completo de puntos de recolección formal. Mediante un muestreo estadístico interno realizado en la unidad hospitalaria durante los procesos de educación al alta, se constató que el 100% de los usuarios admitió desconocer el manejo seguro de fármacos caducos o remanentes, recurriendo de manera sistemática al vertido directo en el drenaje doméstico o a la basura común. Aunque la unidad clínica cuenta con registro ante la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) como generador de residuos peligrosos, este amparo cubre estrictamente los excedentes intra-hospitalarios. En un escenario de ocupación al 100% con esquemas antimicrobianos completos, la farmacia genera aproximadamente 1 kg de residuo químico al mes, cifra marginal frente a la masa crí-

tica comunitaria. Si se proyecta probabilísticamente que el 30% de la población de Ciudad Mendoza se encuentra bajo algún esquema de medicación activa en el hogar, y asumiendo una merma o abandono de tratamiento de apenas 30 gramos por persona, el municipio desecha informalmente cerca de 369 kg de residuos farmacéuticos al mes, lo que se traduce en más de 4.4 toneladas de químicos activos vertidos al entorno anualmente sin control biológico o fisicoquímico.

Adicionalmente, el manejo de medicamentos caducos y remanentes químicos enfrenta una falla de mercado absoluta en la región. Al estar clasificados como residuos peligrosos por su toxicidad química bajo la NOM-052-SEMARNAT-2005 y la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), exigen una cadena de custodia diferenciada. Sin embargo, las empresas proveedoras autorizadas para su transportación y disposición final se encuentran centralizadas de manera exclusiva en las capitales y zonas portuarias a una distancia logística que oscila entre los 130 y 140 km respecto a la unidad de salud. Esta ausencia de ope-

radores locales genera un flete logístico desproporcionado que eleva los costos operativos por retiro externo, propiciando un incentivo adverso para el encubrimiento de prácticas de disposición y el vertido informal de compuestos químicos al alcantarillado municipal.

2. Hitos Estadísticos e Impacto Financiero de la Gestión (Primer Año)

La transición de un modelo tradicional de suministro —históricamente condicionado por compras empíricas e intuitivas carentes de sustento predictivo— hacia una gestión técnica basada en datos duros y control de inventarios ha transformado la farmacia hospitalaria en un nodo central de calidad y mitigación de riesgos. Bajo la máxima de que el mejor residuo es aquel que no llega a generarse, la incorporación de metodologías de manufactura esbelta como Just-In-Time (JIT) ha permitido balancear de forma precisa la demanda clínica con los niveles de stock, erradicando las mermas desde el origen técnico de la adquisición.

Durante este primer año de gestión, la implementación de estas estrategias analíticas concertadas entre la farmacia y el cuerpo médico consolidó hitos históricos medibles, rompiendo inercias prescriptivas y abatiendo mermas críticas:

Subsección A: Optimización del Grupo WATCH y Movilización de Stocks Muertos. Mediante un riguroso análisis de rotación e intervenciones del Programa de Optimización de Antimicrobianos (PROA) conjuntas con el cuerpo médico, se diversificaron los esquemas terapéuticos basados históricamente en la centralización de Ceftriaxona. Se activó el uso clínico de Ciprofloxacino, logrando movilizar y aprovechar el 74% de un inventario de stocks muertos (59 frascos de un total de 80) que se encontraba estancado desde el 12 de diciembre de 2025. Esta estrategia de rotación, implementada el 8 de mayo de 2026, alcanzó su mayor movimiento durante mayo y junio, reportándose formalmente en la sesión del Comité de Farmacia y Terapéutica (COFAT) del 17 de junio de 2026, con miras a su agotamiento total.

Subsección B: Abatimiento Crítico de Caducidades y Rescate de Inventario. A través del control estadístico y de un segundo monitoreo de la “Zona Verde” de rotación prioritaria, se intervino un universo crítico de 25 medicamentos en riesgo inminente de vencimiento. Las estrategias de rotación científica y la colocación estratégica en pisos de enfermería (como ocurrió con la Lidocaína/Pisacaína, el Sulfato de Magnesio y la Vancomicina) lograron que únicamente 3 fármacos causaran baja real en el periodo de mayo. El rescate del 88% de este lote en riesgo impidió la generación de mermas y evitó que estos compuestos activos terminaran como pasivos ambientales. Asimismo, por acuerdo del COFAT, aquellos insumos que se encontraban fuera de cuadro básico o cuya demanda no justificaba su permanencia logística (como el Manitol/Osmorol y la Lincomicina) fueron retirados definitivamente del sistema de distribución combinada sin opción a resurtido, saneando de raíz la cadena de suministro y previniendo acumulaciones inoperantes en los carros rojos de quirófano y stocks

de enfermería, tal como se detalla en la ubicación correspondiente. Véase Figura 1.

Subsección C: Retorno de Inversión Hospitalaria (ROI). Este control estadístico y la movilización científica de inventarios blindaron las finanzas de la clínica, alcanzando un monto total recuperado de \$13,406.70 MXN. Este capital circulante rescatado evitó la pérdida contable directa del 100% del valor de los insumos por caducidad vencida y redujo colateralmente los costos logísticos asociados a la contratación de fletes especializados para la destrucción de residuos químicos peligrosos. Al aplicar herramientas de control de calidad sobre el universo de medicamentos recuperados, el análisis de Pareto demostró que el 43% del impacto económico directo del rescate se concentró específicamente en la gestión y salida del Ciprofloxacino, validando la efectividad clínica y financiera de la estrategia de diversificación de claves acordada de forma conjunta entre la farmacia clínica y el cuerpo médico del COFAT. Véase Figura 2.

3. Gobernanza del COFAT, CODECIN, CODECIAAS e Indicadores AWaRe (FEUM 7.0)

Ante los exigentes lineamientos del Suplemento para Establecimientos dedicados a la Venta y Suministro de Medicamentos de la FEUM 7.0 (Secretaría de Salud, 2026), el Comité de Farmacia y Terapéutica (COFAT) y el Comité de Detección y Control de Infecciones Asociadas a la Atención de la Salud (CODECIAAS) institucionalizaron la vigilancia epidemiológica desde el núcleo mismo de la farmacia hospitalaria. Durante el año 2026, la intervención del programa PROA evaluó el consumo diario de antimicrobianos en la clínica de 7 camas dividiendo el seguimiento en tres marcos analíticos y temporales bien delimitados para validar estadísticamente el impacto de las decisiones del comité bajo los criterios de la clasificación de la OMS (World Health Organization, 2023):

Fase 1: Línea Base Ciega (Del 21 al 29 de mayo): Representó la medición inicial del comportamiento prescriptivo sin regulación ni retroalimentación del área química. En esta fase, los fármacos se

prescribían bajo criterios tradicionales y hábitos empíricos, careciendo de guías alineadas a los estándares de la FEUM 7.0 (Secretaría de Salud, 2026). Los datos crudos arrojaron una distribución crítica dominada por el grupo Watch con el 66.9% del consumo total, relegando al grupo Access a un rezagado 33.1%.

Fase 2: Inercia Pre-COFAT (Del 01 al 17 de junio): Periodo de observación previo a la ejecución formal de los acuerdos del comité. Durante esta etapa se constató la inercia del uso centralizado de cefalosporinas de tercera generación (pertenecientes al grupo Watch), alcanzando picos máximos de sobreuso de hasta el 100% frente a síndromes infecciosos generales, lo que elevó la presencia global del grupo Watch al 70.2% y deprimió el uso de claves básicas del grupo Access al 29.8%, amenazando la seguridad hídrica regional por presión selectiva. Véase Figura 3.

Fase 3: Impacto Post-COFAT (Del 18 al 30 de junio): Fase caracterizada por una sinergia inmediata técnico-médica posterior a la sesión del comité. Tras dotar al hospital de nuevas claves de

acceso de espectro optimizado (como Amikacina, Ampicilina y Clindamicina) y concientizar rigurosamente al personal prescriptor, el paradigma cambió de forma rotunda. Se frenó la inercia automatizada y se registró un viraje estratégico definitivo: el grupo Watch cayó verticalmente hasta estabilizarse en un 34.5%, mientras que el grupo Access ascendió sustancialmente hasta una media del 65.5%, superando con éxito las metas regulatorias internacionales y alcanzando un rotundo 100% de apego institucional al cierre del periodo operativo del 30 de junio (0% de sobreutilización indebida). Véase Figura 4.

4. El Químico como Agente de Disrupción en la Bioseguridad Hídrica

Tradicionalmente, la gestión de la farmacia clínica en unidades periféricas se ha limitado a visiones administrativas o perfiles farmacéuticos convencionales, asumiendo de manera errónea que la ingeniería química encuentra su única aplicación en el confinamiento de centrales de mezclas o en la industria pesada. Esta concepción limita drásticamente la ca-

pacidad de respuesta frente a crisis sanitarias complejas. Desde una perspectiva de disrupción técnica, el profesional de las ciencias químicas representa una solución eficaz para combatir el ciclo bio-ambiental de la resistencia antimicrobiana (RAM) a través de líneas de defensa científicas que interconectan la clínica con el territorio.

El primer eslabón disruptivo radica justamente en la transferencia y escalamiento de tecnologías hídricas. Metodologías de tratamiento físico-químico y purificación avanzada de agua —desarrolladas e implementadas originalmente con éxito por la autora para la remoción y mitigación de contaminantes específicos en el sector automotriz (Hernández Melchor, 2014)— demuestran hoy una versatilidad crítica al ser trasladadas al ámbito de la salud pública. Este cambio de paradigma permite adaptar balances de materia rigurosos y operaciones unitarias industriales hacia el diseño de sistemas de potabilización avanzada y control de calidad hídrica a nivel comunitario; una intervención de ingeniería que es capaz de mitigar significativamente la dispersión y el ciclo bio-ambiental

de la RAM en fuentes de abastecimiento periféricas expuestas a inundaciones por desastres hidrometeorológicos.

Asimismo, esta visión de ingeniería robustece la bioseguridad intrahospitalaria mediante el modelado matemático predictivo de adquisición primaria bajo la filosofía Just-In-Time (JIT), optimizando inventarios para evitar la acumulación de caducidades, y mediante el diseño de metodologías de inactivación fisicoquímica in situ de remanentes biológicos y químicos inevitables antes de ser entregados al transportista de residuos peligrosos.

Finalmente, la intervención técnico-científica se consolida mediante la instrumentación de programas de educación sanitaria orientados a la reconstitución segura de antimicrobianos. Al asegurar el uso exclusivo de agua con calidad certificada según la NOM-127-SSA1-2021, se neutralizan las subdosificaciones terapéuticas involuntarias que frecuentemente son inducidas por las fluctuaciones de pH y la elevada dureza del agua de pozo regional, eliminando así un factor crítico de presión selectiva comunitaria. El Ingeniero Químico no es, por tanto,

un elemento estático de manufactura, sino una estrategia de la bioseguridad territorial.

Conclusiones

La resistencia antimicrobiana exacerbada por desastres hidrometeorológicos en la región de las Altas Montañas es un problema complejo de optimización de procesos, control de pasivos ambientales y gobernanza territorial que no se resolverá con inspecciones de escritorio. Históricamente, las administraciones hospitalarias —principalmente de clínicas privadas— han manifestado una profunda renuencia a delegar la jefatura del área de farmacia a profesionales de las ciencias químicas o de la ingeniería, bajo la premisa errónea de catalogar sus perfiles como un gasto operativo innecesario o una pérdida de activos. Pese a esta renuencia demostrada por los mandos administrativos, los resultados de la presente gestión evidencian de manera contundente lo contrario: la farmacia hospitalaria dotada de dirección técnica química constituye un activo real frente a la pérdida de sus propios activos, demostrando ser el nodo indispensable para mitigar

la RAM y salvaguardar la viabilidad institucional. La delimitación y control de las fases del estudio, el viraje prescriptivo bajo criterios AWARe y el rescate neto de \$13,406.70 MXN de inventario comprueban que la dirección de un Químico representa un blindaje financiero directo y una inversión de alto retorno (ROI).

Los alcances de esta intervención rebasan el perímetro intrahospitalario. Si bien este artículo se fundamentó firmemente en la inferencia estadística de un modelo piloto, este proyecto representa únicamente el inicio de un ecosistema de investigación de largo alcance. Las soluciones de optimización de variables y balances de masa diseñadas por ingenieros químicos se pueden escalar con éxito a nivel comunitario para mitigar el impacto ambiental hídrico, replicando y expandiendo el modelo analítico de tratamiento de agua aplicado originalmente en el sector automotriz hacia un entorno de salud pública territorial (Hernández Melchor, 2014). Para lograrlo, los siguientes pasos críticos de la unidad de salud se integrarán formalmente al programa SINGREM y fungirá como un nodo trac-

tor, invitando y coordinando activamente a más clínicas de la región a homologar estas prácticas de control biológico y farmacoeconómico. La RAM es una crisis sistémica que, si no se atiende de manera colectiva e interinstitucional, imposibilitará el cumplimiento de los objetivos globales de la OMS.

Para consolidar esta transición desde la trinchera clínica hacia la gobernanza política, el diseño de políticas públicas de salud y el escalamiento comunitario definitivo de los métodos de tratamiento hídrico (Hernández Melchor, 2014), se continuará con la búsqueda activa de alianzas estratégicas y fondos de financiamiento nacionales e internacionales. Este capital será destinado específicamente a realizar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos pertinentes en las redes de agua comunitarias de la periferia. El financiamiento es indispensable para robustecer la infraestructura y el monitoreo territorial, pues la inacción ante este fenómeno validará la catastrófica predicción de la OMS para el año 2050: el advenimiento de una pandemia global por resistencia antimicrobiana que se convertirá en la principal causa de mortandad

mundial. Salvaguardar la salud pública y el patrimonio hospitalario exige desterrar el empirismo administrativo, asegurar recursos y consolidar el liderazgo de los profesionales de la ingeniería química en la gobernanza sanitaria moderna.

Como declaración metodológica y de transparencia respecto al uso de herramientas tecnológicas, se hace constar que se empleó la inteligencia artificial Google Gemini como apoyo exclusivo en los procesos de revisión de estilo, corrección lingüística a tercera persona, compactación estructural y optimización de claridad argumentativa. De igual manera, los gráficos externos e independientes (Figura 1, Figura 2, Figura 3 y Figura 4) fueron mejorados, estilizados y editados estéticamente mediante herramientas basadas en esta misma IA, recayendo la total y exclusiva responsabilidad de los datos cuantitativos y conclusiones en la autora del presente artículo. Bajo esta misma premisa de confidencialidad, se hace constar que las bases de datos originales y los registros de identidad corporativa se omiten de los anexos públicos y se mantienen bajo estricto resguardo y protección de secreto

industrial, salvaguardando los derechos de propiedad y la integridad comercial de la institución involucrada.

Bibliografía

- Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. (2025). Estrategia Nacional de Acción contra la Resistencia Antimicrobiana. Ciudad de México, México.
- Hernández Melchor, Y. (2014). Estudio del tratamiento óptimo del agua de lluvia para el cumplimiento de la normativa de su infiltración al subsuelo en una planta de la industria automotriz. Impluvium, No. 1, Red del Agua UNAM, Ciudad de México, México.
- México. (1984). Ley General de Salud. Diario Oficial de la Federación. 7 de febrero de 1984 (Última reforma publicada en el DOF, 2026). México.
- México. (1998). Reglamento de Insumos para la Salud. Diario Oficial de la Federación. 4 de febrero de 1998 (Última reforma publicada en el DOF, 2025). México.
- Organización Mundial de la Salud. (2023). Clasificación AWaRe de antibióticos: El uso racional de los antimicrobianos. Ginebra, Suiza.
- Secretaría de Salud (México). (2018). ACUERDO por el que se declara la obligatoriedad de la Estrategia Nacional de Acción contra la Resistencia a los Antimicrobianos. Diario Oficial de la Federación. 5 de junio de 2018. Objetivo 4: Utilizar de forma óptima los agentes antimicrobianos (Modificaciones al Anexo Único publicadas en el DOF, 9 de noviembre de 2022). México.
- Secretaría de Salud (México). (2023). Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos. 13ª ed. Comisión Permanente de la FEUM. Ciudad de México, México.
- Secretaría de Salud (México). (2024). Guía para la integración y funcionamiento del Subcomité para la Optimización del Uso de Antimicrobianos (SCA) en las unidades para la atención médica de segundo y tercer nivel [PROA]. Comando Interinstitucional del Sector Salud. Ciudad de México, México.
- Secretaría de Salud (México). (2026). Suplemento para establecimientos dedicados a la venta y suministro de medicamentos y demás insumos para la salud, Versión 7.0. Comisión Permanente de la FEUM. Ciudad de México, México.

World Health Organization. (2023). AWaRe classification of antibiotics for evaluation and monitoring of use. World Health Organization. Geneva, Switzerland.

World Health Organization. (2024). Global antimicrobial resistance and use surveillance system (GLASS) report 2024. World Health Organization. Geneva, Switzerland.

World Health Organization. (2026). ATC/DDD Index 2026. WHO Collaborating Centre for Drug Statistics Methodology. Norwegian Institute of Public Health. Oslo, Norway. Disponible en: https://www.whocc.no/atc_ddd_index/

Normas editoriales para contribuciones a *Impluvium*

1. Naturaleza académica del texto

Las contribuciones deberán ser de carácter académico, técnico o de análisis de política pública. El texto no deberá personalizarse ni redactarse en primera persona, y deberá mantener un tono objetivo, analítico y fundamentado en evidencia.

2. Estructura del manuscrito

- Título del artículo
- Nombre del autor o autores y su institución de adscripción
- Resumen (hasta 150 palabras)
- Introducción
- Desarrollo
- Conclusiones
- Bibliografía

3. Formato del documento

Las contribuciones deberán enviarse en formato Microsoft Word, con las siguientes especificaciones:

- Fuente Arial
- Tamaño de letra: 12 puntos
- Interlineado doble
- Márgenes estándar

4. Extensión

Los textos no deberán exceder las **2,500 palabras**, incluyendo el cuerpo del texto, figuras, tablas y bibliografía. Uso de imágenes, figuras y gráficos

5. Uso de imágenes, figuras y gráficos

- Las imágenes deberán entregarse en archivos independientes en **formato JPG**, con una resolución mínima de 150 dpi.
- En el documento Word se deberá indicar su ubicación mediante referencias como: *Véase Figura 1.*

6. Sistema de citas y referencias

Se utilizará el sistema **Harvard-APA** para citas y referencias bibliográficas.

- Las citas deberán incorporarse dentro del texto, incluyendo apellido del autor, año de publicación y página cuando corresponda.
- No se utilizarán notas al pie para referencias bibliográficas.

Ejemplo de cita en el texto: (González Villarreal, 2013, p. 25)

7. Bibliografía

La bibliografía deberá incluirse al final del documento en el apartado “Bibliografía” y presentarse de la siguiente manera: autor(es), año de publicación (entre paréntesis), título, fuente o editorial y lugar de publicación.

Ejemplo: González Villarreal, F. y Arriaga Medina, J. (2015). Expresiones de la inseguridad hídrica. Revista Ciudades, No. 105, Puebla, México.

8. Uso de inteligencia artificial en la elaboración del manuscrito

El uso de herramientas de inteligencia artificial está permitido como apoyo en procesos tales como:

- Revisión de estilo y redacción
- Apoyo lingüístico o de traducción
- Organización del texto o mejora de claridad
- Generación o edición de imágenes y gráficos

No obstante:

- La responsabilidad total del contenido, los argumentos, los datos y las conclusiones recae exclusivamente en el autor o autores.
- Cualquier uso de Inteligencia Artificial deberá declararse de forma explícita en una nota al final del documento

Ejemplo: Nota metodológica. Se empleó ChatGPT 5.2 en la revisión de estilo y redacción del presente artículo.

- En caso de que las imágenes, gráficos o ilustraciones hayan sido generados o modificados mediante herramientas de inteligencia artificial, esta información deberá declararse explícitamente en el pie de figura, indicando la herramienta utilizada y el tipo de intervención

Ejemplo: Gráfica 1. Porcentaje de personas con acceso a agua potable en municipios seleccionados. Tabla generada / mejorada / estilizada / editada a través de ChatGPT 5.2.

- El uso de Inteligencia Artificial no exime del cumplimiento de estándares de originalidad, citación adecuada y ética académica.

9. Aspectos éticos y de propiedad intelectual

Los artículos sometidos a evaluación deberán ser originales y de creación de sus autores, por lo que no deberán atender contra la propiedad intelectual de un tercero. De demostrarse plagio, los autores perderán el derecho de ser publicados.

10. Proceso editorial

El Comité Editorial evaluará los artículos para determinar su pertinencia temática, calidad académica y adecuación a las normas editoriales. Asimismo, podrá realizar correcciones de estilo y ortografía, o solicitar a los autores ajustes menores de contenido cuando sea necesario. Al someter su artículo a evaluación, los autores aceptan todos los términos y condiciones declarados en esta convocatoria.

11. Envío de contribuciones

Los artículos deberán enviarse mediante el formulario electrónico disponible en: <https://www.agua.unam.mx/impluvium.html>. Los autores recibirán una notificación sobre la correcta recepción de los artículos.



NÚMERO 36

**EQUIDAD DE GÉNERO
E IGUALDAD SUSTANTIVA
EN LA GESTIÓN DEL AGUA**

Editora invitada: **Mtra. Ana Gabriela Piedra Miranda, Profesora, Universidad Autónoma Metropolitana**

Recepción de trabajos: **Del 6 de julio al 27 de septiembre del 2026.**

La gestión del agua no es neutral al género. Las desigualdades estructurales influyen en el acceso, control y toma de decisiones sobre los recursos hídricos, así como en la distribución de cargas asociadas al cuidado, la salud y el saneamiento. Estas brechas no solo reproducen inequidades sociales, sino que también limitan el acceso a oportunidades económicas, educativas y de participación, afectando de forma diferenciada el bienestar y las capacidades de mujeres y otros grupos históricamente excluidos. Incorporar la perspectiva de género en el sector hídrico es, por tanto, una condición indispensable para avanzar hacia la igualdad sustantiva, entendida no solo como igualdad formal ante la ley, sino como la creación de condiciones reales que permitan el ejercicio pleno de derechos, el acceso equitativo a oportunidades y la distribución justa de beneficios y responsabilidades.

Un enfoque de género en la gestión del agua implica analizar normas sociales, arreglos institucionales y marcos de política pública que reproducen brechas históricas. en los ámbitos social, económico y político. Asimismo, supone documentar y fortalecer el liderazgo de las mujeres y otros grupos subrepresentados en la ciencia, la gestión y la gobernanza del agua, así como generar evidencia sobre cómo la inclusión contribuye a mejorar la eficiencia de los sistemas hídricos, ampliar oportunidades económicas, fortalecer la resiliencia comunitaria y promover modelos de desarrollo más justos y sostenibles.

Se invita a presentar artículos que aborden algunas de las siguientes temáticas:

- a. Género, agua y desigualdades
 - Acceso diferencial al agua y al saneamiento.
 - Trabajo de cuidados, salud y agua.
 - Enfoques interseccionales (género, etnicidad, territorio).
- b. Participación y liderazgo
 - Mujeres en la ciencia, la gestión y la operación del agua.
 - Liderazgo comunitario y gobernanza local.
 - Redes, mentorías y fortalecimiento de capacidades.
- c. Políticas públicas con enfoque de género
 - Transversalización del enfoque de género en planes hídricos.
 - Indicadores y sistemas de seguimiento.
 - Presupuestos sensibles al género.
- d. Derechos humanos e inclusión
 - Agua, saneamiento y derechos de las mujeres.
 - Grupos históricamente excluidos y justicia hídrica.
 - Mecanismos de participación social.
- e. Casos de estudio y buenas prácticas
 - Experiencias locales, nacionales y comparadas.
 - Evaluación de impactos de programas inclusivos.
 - Lecciones aprendidas y escalabilidad.



NÚMERO. 37.

AGUAS REGENERADAS Y REÚSO: BASES CIENTÍFICAS, APLICACIONES Y ESQUEMAS DE GOBERNANZA

Editora invitada: **Dra. Rosa María Ramírez Zamora, Directora, Instituto de Ingeniería UNAM**

Recepción de trabajos: **Del 28 de septiembre al 6 de diciembre del 2026.**

Las aguas regeneradas y el reúso se han posicionado como un componente estratégico de la gestión integral de los recursos hídricos ante escenarios de escasez, sobreexplotación y variabilidad climática. Además de su dimensión tecnológica, las aguas regeneradas plantean desafíos complejos relacionados con la evaluación de riesgos sanitarios y ambientales, la aceptación social, la viabilidad económica y la articulación institucional necesaria para su implementación a distintas escalas.

Desde una perspectiva de sostenibilidad, el análisis del agua regenerada requiere integrar de manera articulada los principios de la economía circular del agua, la gestión integrada por cuencas y la planeación de largo plazo, incorporando de forma explícita los avances científicos y tecnológicos en el tratamiento de aguas residuales. La consolidación

de esquemas de reúso se sustenta en el desempeño de procesos de tratamiento avanzados, que incluyen tratamientos terciarios y cuaternarios, sistemas de membranas, desinfección avanzada y la remoción de contaminantes emergentes, así como en el uso de herramientas de monitoreo en tiempo real, sensores y análisis de datos que permitan garantizar la calidad y seguridad del agua regenerada a lo largo de todo el sistema.

Asimismo, la viabilidad técnica y la legitimidad social del reúso del agua dependen de marcos normativos claros y basados en evidencia, de sistemas de vigilancia sanitaria y ambiental robustos y de esquemas de gobernanza que aseguren trazabilidad, transparencia y rendición de cuentas. La integración de ciencia, tecnología y política pública resulta clave para generar confianza, minimizar riesgos y posicionar al agua regenerada como un componente estratégico de la seguridad hídrica y la adaptación al cambio climático.

Invitamos a académicos, gestores de recursos hídricos y otros actores clave a contribuir con artículos que aborden esta temática desde las siguientes perspectivas:

- a. Fundamentos conceptuales y normativos
 - Definiciones operativas de agua regenerada y reúso.
 - Estándares internacionales y nacionales de calidad.
 - Enfoques de gestión del riesgo y principio precautorio.

- b. Tecnologías y procesos de tratamiento
 - Tratamiento terciario y cuaternario: desempeño y límites.
 - Innovaciones en membranas, desinfección y control de contaminantes emergentes.
 - Digitalización, sensores y monitoreo en tiempo real.
- c. Aplicaciones sectoriales
 - Uso agrícola, industrial y ambiental.
 - Recarga gestionada de acuíferos.
 - Integración del reúso en sistemas urbanos del agua.
- d. Impactos socioambientales
 - Evaluación de riesgos sanitarios y ambientales.
 - Percepción social y comunicación del riesgo.
 - Beneficios para la adaptación al cambio climático.
- e. Gobernanza y financiamiento
 - Marcos regulatorios y arreglos institucionales.
 - Esquemas tarifarios e incentivos económicos.





Impluvium

Publicación digital de la Red del Agua UNAM

Número 35, Abril - Junio 2026

www.agua.unam.mx