



GESTIÓN DEL RIESGO de desastres en

América Latina y el Caribe

Experiencias, aprendizajes y desafíos



**COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA**

**José Manuel Camacho Sanabria
Rosalía Chávez Alvarado
Yered Gybram Canchola Pantoja**
(coordinadores)

Gestión del riesgo de desastres
en América Latina y el Caribe
Experiencias, aprendizajes y desafíos



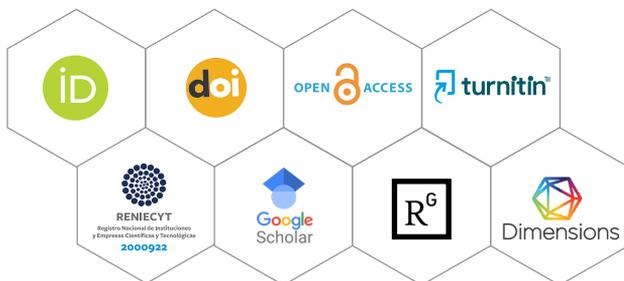
Ediciones Comunicación Científica se especializa en la publicación de conocimiento científico de calidad en español e inglés en soporte de libro impreso y digital en las áreas de humanidades, ciencias sociales y ciencias exactas. Guía su criterio de publicación cumpliendo con las prácticas internacionales: dictaminación de pares ciegos externos, autenticación antiplagio, comités y ética editorial, acceso abierto, métricas, campaña de promoción, distribución impresa y digital, transparencia editorial e indexación internacional.

Cada libro de la Colección Ciencia e Investigación es evaluado para su publicación mediante el sistema de dictaminación de pares externos y autenticación antiplagio. Invitamos a ver el proceso de dictaminación transparentado, así como la consulta del libro en Acceso Abierto.



www.comunicacion-cientifica.com

[DOI.ORG/10.52501/cc.218](https://doi.org/10.52501/cc.218)




**COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA** PUBLICACIONES
ARBITRADAS
HUMANIDADES, SOCIALES Y CIENCIAS

CC+I
COLECCIÓN
**Ciencia e
INVESTIGACIÓN**

Gestión del riesgo de desastres
en América Latina y el Caribe
Experiencias, aprendizajes y desafíos

JOSÉ MANUEL CAMACHO SANABRIA
ROSALÍA CHÁVEZ ALVARADO
YERED GYBRAM CANCHOLA PANTOJA
(coordinadores)

Juan Carlos Alcérreca Huerta
(prólogo)



Gestión del riesgo de desastres en América Latina y el Caribe : Experiencias, aprendizajes y desafíos / José Manuel Camacho Sanabria, Rosalía Chávez Alvarado, Yered Gybram Canchola Pantoja (coordinadores) ; prólogo de Juan Carlos Alcérreca Huerta. — Ciudad de México : Comunicación Científica, 2024. (Colección Ciencia e Investigación).

283 páginas : gráficas ; 23 × 16.5 centímetros

ISBN: 978-607-2628-15-1

DOI: 10.52501/cc.218

1. Desastres naturales — Evaluación de riesgos — América Latina. 2. Administración de riesgos — América Latina. 3. Inundaciones — América Latina. I. Camacho Sanabria, José Manuel, coordinador. II. Chávez Alvarado, Rosalía, coordinadora. III. Canchola Pantoja, Yered Gybram, coordinador. IV. Alcérreca Huerta, Juan Carlos, prologuista.

LC: GB1399.3 G47

Dewey: 551.4890973 G47

La titularidad de los derechos patrimoniales y morales de esta obra pertenece a los coordinadores D.R.© José Manuel Camacho Sanabria, Rosalía Chávez Alvarado y Yered Gybram Canchola Pantoja (coordinadores), 2024. Reservados todos los derechos conforme a la Ley. Su uso se rige por una licencia Creative Commons BY-NC-ND 4.0 Internacional, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.es>

Primera edición en Ediciones Comunicación Científica, 2024

Diseño de portada: Francisco Zeledón • Interiores: Guillermo Huerta

Ediciones Comunicación Científica, S. A. de C. V., 2024

Av. Insurgentes Sur 1602, piso 4, suite 400,

Crédito Constructor, Benito Juárez, 03940, Ciudad de México,

Tel.: (52) 55-5696-6541 • Móvil: (52) 55-4516-2170

info@comunicacion-cientifica.com • www.comunicacion-cientifica.com

 [comunicacioncientificapublicaciones](https://www.facebook.com/comunicacioncientificapublicaciones)  [@ComunidadCient2](https://twitter.com/ComunidadCient2)

ISBN 978-607-2628-15-1

DOI 10.52501/cc.218



Esta obra fue dictaminada mediante el sistema de pares ciegos externos.
El proceso transparentado puede consultarse, así como el libro en acceso abierto,
en <https://doi.org/10.52501/cc.218>

Índice

Prólogo	
<i>Juan Carlos Alcérreca Huerta</i>	9
Introducción	
<i>José Manuel Camacho Sanabria</i>	13
I. Gestión del riesgo ante inundaciones en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, México	
<i>Rosalía Chávez Alvarado</i>	17
II. Propuesta de algoritmo para determinar la susceptibilidad de inundaciones: Un enfoque teórico-metodológico	
<i>Yered Gybram Canchola Pantoja, Luis Miguel Espinosa Rodríguez y Francisco Zepeda Mondragón</i>	51
III. Amenaza por inundación pluvial en una microcuenca urbana de Managua, Nicaragua	
<i>Marjorie Isabel Toruño Álvarez e Ingrid Elizabeth Úbeda Trujillo</i>	91

IV. Inclusión de la dimensión del riesgo en la planificación territorial: Dos casos de éxito en Colombia <i>Fredy Bolívar Gómez, Tobías Leyva Pinto y Mauricio Ramírez Daza</i>	129
V. Gestión del riesgo de desastres en Cuba: Experiencias y desafíos <i>Pablo Bayón Martínez y Rafael Bosque Suárez</i>	161
VI. La gestión integral de riesgo de desastres comunitaria ante los riesgos volcánicos, caso volcán San Vicente, El Salvador, América Central <i>Edgar Antonio Marinero Orantes</i>	189
VII. Escenarios de riesgo de desastres en la escala local: Ciudad de Maipú, Mendoza, Argentina <i>Silvia Graciela Quiroga, Lucía Pravatta y Gustavo Méndez</i>	211
VIII. Enseñar sobre riesgo de desastres: Aprendizajes y desafíos de la docencia universitaria inter- y transdisciplinaria desde Chile <i>Juliette Marin, Josefina Carrasco Atenas y Kevin Albarrán Rebaza</i>	235
Sobre los autores	271

Prólogo

JUAN CARLOS ALCÉRRECA HUERTA*

La gestión del riesgo de desastres ha surgido como un campo de estudio esencial debido al aumento en la frecuencia y severidad de eventos naturales adversos en un mundo cada vez más vulnerable a los efectos del cambio climático, la urbanización desmedida y las desigualdades sociales. En este contexto, el libro *Gestión del riesgo de desastres en América Latina y el Caribe: Experiencias, aprendizajes y desafíos* representa un esfuerzo colectivo para abordar las múltiples dimensiones involucradas en el estudio, análisis, planificación, educación y adaptación al riesgo en una región marcada por su diversidad geográfica y socioeconómica, y a la vez tan expuesta a diferentes amenazas naturales.

A lo largo de sus ocho capítulos, este libro ofrece una revisión, desde la perspectiva y experiencias de estudios de caso, los desafíos y avances en la gestión del riesgo —principalmente ante eventos de inundación, deslizamientos y terremotos— en distintos países de América Latina y el Caribe. Así, cada capítulo contribuye a tejer una narrativa que, a través de distintos enfoques teóricos, metodológicos y prácticos, señala tanto los logros alcanzados como los desafíos que persisten en la región.

El primer capítulo de este libro nos muestra cómo la falta de coordinación interinstitucional y entre niveles de gobierno, la escasez de recursos, la falta de actualización de los instrumentos normativos y la insuficiente par-

* Doctor en Ingeniería por la Technische Universität Braunschweig, Alemania. Investigador de El Colegio de la Frontera Sur, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6325-3118>; Scopus <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55695398900>

ticipación ciudadana incrementan la vulnerabilidad de la población frente a las inundaciones. Este contexto se refleja en otros escenarios del libro, donde la planificación y la respuesta ante desastres a menudo se ven obstaculizadas por similares factores estructurales. Sin embargo, en el análisis de la gestión del riesgo de inundaciones en Chetumal, Quintana Roo, México, se ponen de relieve las limitaciones y oportunidades presentes en las instancias públicas municipales.

En un enfoque más técnico, el segundo capítulo presenta una propuesta de algoritmo para determinar la susceptibilidad de inundaciones y los posibles umbrales de inundación a través de la integración de las propiedades físicas del relieve, la funcionalidad hídrica, la percepción remota y sus componentes geoespaciales. La propuesta no sólo es una aportación teórica, sino que promueve la formulación de un modelo dinámico territorial, con aplicaciones prácticas en la planificación territorial y en la creación de políticas públicas basadas en datos precisos y actualizados. De forma análoga, el capítulo tres, ilustra la aplicación práctica de herramientas estadísticas basadas en datos históricos para la simulación de inundaciones pluviales en una microcuenca urbana de Managua, Nicaragua. Como resultado, este capítulo muestra cómo la integración de bases de datos sólidas y la implementación de modelos son fundamentales para guiar la planificación territorial de manera efectiva, proponiendo zonas de restricción, regulación y sensibilización, vitales para mitigar riesgos en áreas urbanas densamente pobladas y con ello motivar la creación de modelos replicables y adaptables para otras ciudades en América Latina.

Destacando la importancia de la gestión del riesgo en la planificación territorial, el capítulo cuatro demuestra la integración de la tecnología y el conocimiento local en la gestión del riesgo para los casos de Mocoa y el río Cauca en Colombia. El uso de datos de sensores remotos, combinado con el conocimiento empírico de las comunidades, permitió desarrollar acciones de planificación territorial que no sólo respondieron a eventos pasados, sino que pueden guiar decisiones dirigidas a la reconstrucción y el manejo de desastres para construir sociedades más resilientes, capaces de adaptarse a las condiciones cambiantes de su entorno. Este capítulo refuerza la idea de que la planificación territorial debe ser proactiva y está basada en evidencia para ser efectiva en la reducción del riesgo de desastres.

La experiencia cubana en la gestión del riesgo es el foco del capítulo cinco. Cuba, con su larga historia de enfrentamiento a eventos hidrometeorológicos extremos, ofrece lecciones valiosas sobre la importancia de una política coherente y bien estructurada para la gestión del riesgo. El capítulo analiza el Plan de Estado para el enfrentamiento al cambio climático, conocido como Tarea Vida, a fin de proveer un panorama general de las perspectivas de desarrollo de las acciones en torno a la política, la gestión y la educación ambiental. Las lecciones aprendidas en Cuba son en especial relevantes, especialmente para otras naciones caribeñas y latinoamericanas que enfrentan desafíos similares. Por otra parte, la gestión comunitaria del riesgo en El Salvador (capítulo seis), específicamente en el contexto del volcán San Vicente, ofrece una visión sobre cómo la organización local y la capacitación pueden ser determinantes en la reducción de riesgos. En áreas donde las instituciones formales pueden tener limitaciones, la participación activa de las comunidades permite un escenario viable para afrontar eventos tanto hidrometeorológicos como geológicos. Este caso nos recuerda que la resiliencia no sólo se construye desde las instituciones, sino también desde el empoderamiento de las comunidades.

El análisis de escenarios de riesgo en la ciudad de Maipú, Mendoza, Argentina, a través del capítulo siete, aporta una reflexión sobre la importancia del conocimiento territorial y su nivel de detalle en la gestión del riesgo. Este capítulo destaca cómo la construcción de escenarios específicos a partir de la interrelación del área de impacto de amenazas naturales y antrópicas, los niveles de vulnerabilidad, exposición y riesgo de la población y su distribución territorial pueden informar sobre los actores clave para una gestión eficiente del riesgo y la planificación de intervenciones estratégicas para reducir el impacto de futuros desastres.

Finalmente, el libro aborda en su último capítulo la educación en la gestión del riesgo de desastres. A través del análisis de experiencias educativas en Chile, se destaca la importancia de la enseñanza multidisciplinaria y la necesidad de superar barreras disciplinarias para formar profesionales capaces de enfrentar los desafíos complejos que presentan los desastres.

En conjunto, estos capítulos documentan y exponen experiencias y metodologías valiosas dirigidas a incentivar y mejorar futuros esfuerzos en la gestión del riesgo de desastres en la región. La riqueza de conocimiento pre-

sentada en este libro es un testimonio del esfuerzo colectivo de investigadores, profesionales y comunidades que, a través de sus experiencias y posibilidades, contribuyen al desarrollo de estrategias más efectivas y sostenibles para la reducción del riesgo de desastres.

Este libro no solo es una contribución significativa al campo académico, sino también tiene el potencial de influir en la práctica de la gestión del riesgo de desastres en toda América Latina y el Caribe. La diversidad de enfoques y contextos presentados ofrece una visión que puede servir como base para futuras investigaciones y políticas en la región. Alentamos a los lectores a profundizar en cada uno de los capítulos, con la esperanza de que el conocimiento aquí reunido inspire nuevas ideas, acciones y colaboraciones en el campo de la gestión del riesgo de desastres, para así poder construir sociedades más resilientes y capaces de enfrentar los desafíos que presentan las amenazas naturales.

Introducción

JOSÉ MANUEL CAMACHO SANABRIA*

Esta introducción tiene como objetivo principal abordar cuestiones esenciales relacionadas con los factores que han contribuido al incremento en la frecuencia y la magnitud de los desastres globales, así como el impacto de este aumento en la severidad de estos eventos a nivel mundial. Además, se exploran las regiones más afectadas y los tipos de desastres que son más comunes en ellas. También se analiza la evolución de la gestión del riesgo de desastres (GRD) y los principales desafíos que enfrenta, particularmente respecto a la inversión en prevención y resiliencia.

En las últimas décadas, los desastres globales —definidos como eventos que causan impactos significativos en las comunidades y superan la capacidad local para gestionarlos— han experimentado un aumento tanto en frecuencia como en severidad. Este incremento se atribuye a factores como el cambio climático, el crecimiento demográfico, la urbanización y la degradación ambiental (Cui *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2022; Ghaffarian *et al.*, 2023). A pesar de los avances tecnológicos y políticos, estos fenómenos continúan representando una amenaza significativa (Lagap y Ghaffarian, 2024).

Desde la década de 1960, se ha observado un crecimiento notable en el número de desastres como en su impacto, afectando de manera despropor-

* Doctor en Ciencias Ambientales por la Universidad Autónoma del Estado de México (UAE-Mex). Investigador de la Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo (UQRoo), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0366-0613>; Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56820283800>

cionada a los países y las regiones en desarrollo (Coetzee *et al.*, 2023). Entre 1980 y 1999, se registraron 4 212 desastres relacionados con amenazas naturales a nivel mundial, que provocaron aproximadamente 1.19 millones de muertes, afectaron a más de 3 000 millones de personas y causaron pérdidas económicas estimadas en 1.63 billones de dólares. En los últimos veinte años (2000-2019), se documentaron 7 348 desastres a nivel global, resultando en aproximadamente 1.23 millones de muertes, afectando a más de 4 000 millones de personas, y generando pérdidas económicas cercanas a los 2.97 billones de dólares (CRED-UNDRR, 2020).

En cuanto a la distribución geográfica, Asia ha sido la región más afectada, con 3 068 eventos de desastre entre 2000 y 2019, seguida por las Américas y África. A nivel de países, China y Estados Unidos han reportado el mayor número de desastres, lo que refleja su vulnerabilidad geográfica y densidad poblacional en áreas de riesgo. En términos globales, las inundaciones se han presentado como el tipo de desastre más común, seguidas por tormentas, temperaturas extremas, sequías, incendios forestales y terremotos (CRED-UNDRR, 2020).

A nivel regional, entre 1970 y 2019, América Latina y el Caribe experimentaron 2 309 desastres, resultando en 510 204 muertes, 297 millones de personas afectadas y pérdidas económicas superiores a 437 000 millones de dólares. Dentro de la región, Centroamérica y México registraron inundaciones (34%) y tormentas (28%) como los desastres más frecuentes, con alta mortalidad en los terremotos de Guatemala (1976) y Nicaragua (1972). En la década de 1990, el huracán Mitch en Honduras (1998) fue uno de los más mortales. Por otro lado, el Caribe, afectado principalmente por fenómenos meteorológicos e hidroclimáticos, sufrió desastres que a menudo impactaron de manera desproporcionada en comparación con otras subregiones, como los huracanes Irma y María en 2017. En América del Sur, las inundaciones fueron el desastre más común (48%), con eventos notables como la inundación en Vargas, Venezuela (1998), y el terremoto en Áncash, Perú (1970), los cuales causaron miles de muertes (Bello *et al.*, 2020).

En este contexto, es relevante considerar la evolución de la gestión del riesgo de desastres desde 1972. Este proceso comenzó en EE. UU. con la evaluación del conocimiento nacional sobre desastres. El Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales (DIRDN), proclamado

por la ONU en 1989, marcó un hito al impulsar la creación de marcos globales, como la Estrategia de Yokohama, el Marco de Acción de Hyogo y el Marco de Sendai. Estas iniciativas han promovido un enfoque más proactivo y sistémico en la gestión del riesgo, avanzando en la reducción de vulnerabilidades y el fortalecimiento de la resiliencia (Mojtahedi y Lan, 2017; Ghaffarian *et al.*, 2023; Sandoval *et al.*, 2023).

No obstante, a pesar de estos avances, el ciclo de gestión de desastres —que organiza las actividades en tres etapas: antes, durante y después del desastre— ha sido criticado por su enfoque simplista y cíclico. Aunque este enfoque ha sido eficaz en la respuesta humanitaria, la persistencia de la visión cíclica subraya la necesidad de nuevas perspectivas para enfrentar los desafíos actuales (Bosher *et al.*, 2021). La evolución del ciclo ha enfatizado la mitigación y la preparación, en línea con los marcos de Hyogo y Sendai, promoviendo un enfoque proactivo centrado en la reducción del riesgo y la prevención, lo cual es crucial para un desarrollo sostenible (Cui *et al.*, 2018).

Sin embargo, la mayor parte de los recursos a nivel mundial todavía se destinan a la preparación para la respuesta y las acciones humanitarias. En consecuencia, la financiación para la reducción del riesgo y la prevención a largo plazo sigue siendo insuficiente. En los países en desarrollo, la dependencia de donantes externos y la baja inversión interna limitan la capacidad para fortalecer la prevención y la resiliencia, perpetuando una vulnerabilidad que podría mitigarse con la mayor inversión en medidas preventivas (Coetzee *et al.*, 2023).

En este marco, el presente libro ofrece una visión integral sobre la GRD, centrando su análisis en prácticas de planificación territorial y la integración de tecnologías geoespaciales. A través de estudios de caso en países de América Latina como México, Nicaragua, Colombia, Cuba, El Salvador, Argentina y Chile, se exploran las experiencias, aprendizajes y retos asociados a la GRD en estos territorios. Se subraya la importancia de la colaboración interinstitucional, la educación ambiental y la mejora de métodos inter- y transdisciplinarios en la enseñanza de la GRD. Además, se destaca la necesidad de una planificación informada para construir sociedades más resilientes, destacando el crucial papel de la participación comunitaria y la adaptación tecnológica en la reducción del riesgo de desastres (RRD).

Bibliografía

- Bello, O., Bustamante, A., y Pizarro, P. (2020). *Planificación para la reducción del riesgo de desastres en el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* (Documentos de Proyectos [LC/TS.2020/108]). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal). <https://www.cepal.org/es/publicaciones/46001-planificacion-la-reduccion-riesgo-desastres-marco-la-agenda-2030-desarrollo>
- Bosher, L., Chmutina, K., y Van Niekerk, D. (2021). Stop going around in circles: Towards a reconceptualisation of disaster risk management phases. *Disaster Prevention and Management*, 30(4-5), 525-537. <https://doi.org/10.1108/DPM-03-2021-0071>
- Coetzee, C., Khoza, S., NemaKonde, L., Shoroma, L., Wentink, G., Nyirenda, M., Chikuse, S., Kamanga, T., Maripe, K., Rankopo, M., Katembula-Mwansa, L., y Van Niekerk, D. (2023). Financing disaster risk reduction: Exploring the opportunities, challenges, and threats within the Southern African Development Community Region. *International Journal of Disaster Risk Science*, 14, 398-412. <https://doi.org/10.1007/s13753-023-00499-6>
- CRED-UNDRR (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters-United Nations Office for Disaster Risk Reduction). (2020). *Human cost of disasters: An overview of the last 20 years (2000-2019)*. CRED-UNDRR. <https://lc.cx/nNRnwr>
- Cui, K., Ziqiang, H., y Dongming W. (2018). Resilience of an earthquake-stricken rural community in Southwest China: Correlation with disaster risk reduction efforts. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(3), 407. <https://doi.org/10.3390/ijerph15030407>
- Ghaffarian, S., Rosa-Taghikhah, F., y Maier, H. (2023). Explainable artificial intelligence in disaster risk management: Achievements and prospective futures. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 98, 104123. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.104123>
- Lagap, U., y Ghaffarian, S. (2024). Digital post-disaster risk management twinning: A review and improved conceptual framework. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 110, 104629. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2024.104629>
- Mojtahedi, M., y Lan B. (2017). Critical attributes for proactive engagement of stakeholders in disaster risk management. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 21, 35-43. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.10.017>
- Sandoval, V., Voss, M., Flörchinger, V., Lorenz, S., y Jafari, P. (2023). Integrated Disaster Risk Management (IDRM): Elements to advance its study and assessment. *International Journal of Disaster Risk Science*, 14, 343-356. <https://doi.org/10.1007/s13753-023-00490-1>
- Zhang, Z., Li, N., Wang, M., Liu, K., Huang, C., Zhuang, L., y Liu, F. (2022). Economic ripple effects of individual disasters and disaster clusters. *International Journal of Disaster Risk Science*, 13, 948-961. <https://doi.org/10.1007/s13753-022-00451-0>

I. Gestión del riesgo ante inundaciones en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, México

ROSALÍA CHÁVEZ ALVARADO*

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.218.01>

Resumen

Este trabajo tiene el objetivo de analizar la gestión del riesgo de desastre ante inundaciones en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, México, definiendo limitantes de las instancias públicas municipales, principalmente, Protección Civil Municipal (PCM) y la forma en que la población contribuye en la construcción del riesgo. Se utilizó una metodología cualitativa con el uso de tres técnicas de recolección de datos, la primera revisión bibliográfica sobre el tema a nivel internacional y local. La segunda metodología fue la entrevista a profundidad con autoridades de Protección Civil Municipal (PCM) de Othón P. Blanco de Quintana Roo, México; y la tercera, una entrevista para validar las áreas de inundación a 490 viviendas.

Los resultados permiten comprender que existen áreas de oportunidad en el municipio para lograr una mejora en la gestión del riesgo de desastre por las inundaciones. Entre ellas, analizar la instalación y rutas de los refugios, actualizar los instrumentos normativos, principalmente el Atlas de Riesgo Municipal; mejorar la coordinación entre instancias federales, estatales y municipales y aumentar el presupuesto para lograr que PCM cuente con los recursos humanos y materiales necesarios para gestionar el riesgo ante inundaciones que afecta a la población en áreas urbanas y rurales.

* Doctora en Filosofía con orientación en Asuntos Urbanos por la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL). Cátedra Conahcyt adscrita a la Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo (UQRoo). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3468-9283>; Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57192701301>

Como conclusión, existe una amplia construcción del riesgo a inundaciones por parte de la comunidad, PCM se enfoca en solucionar los problemas con el presupuesto asignado, pero aún falta avanzar en la comprensión y priorización de este tema. Es necesario mejorar en la asignación y transparencia de presupuestos para las distintas etapas de la gestión del riesgo de desastres. Hay que poner atención al diseño y ubicación de los refugios que difícilmente satisfacen las necesidades de la población; y, por último, es importante lograr una participación ciudadana activa para disminuir el riesgo de inundación.

Palabras clave: *Inundaciones, Protección Civil Municipal, construcción social del riesgo.*

Introducción

Este capítulo es un trabajo que se ha construido con la colaboración entre algunos miembros de la Universidad Autónoma del estado de Quintana Roo y Protección Civil Municipal (PCM) de Othón P. Blanco, desde el 2021 hasta inicios del 2024. El trabajo es un marco de colaboración sin firmas, sin embargo, tiene el elevado compromiso de intervenir en pro de la sociedad y contribuir favorablemente en la gestión del riesgo de desastres ante inundaciones.

El trabajo presenta un marco teórico o antecedentes resultado de una búsqueda bibliográfica que permitió contextualizar el concepto de inundaciones, así como algunas estrategias a nivel mundial y nacional para gestionar este tipo de riesgo. En este apartado se evidencia la pérdida humana y material que conlleva el riesgo por inundación, al igual que los impactos sociales que implica, como la vulnerabilidad, pobreza social y pobreza nacional. Un ejemplo de esto es el caso de Haití, donde ha habido una migración forzada, la pérdida de la seguridad alimentaria y altos costos de una reconstrucción en aras de programas sociales.

En una metodología cualitativa, se realizaron entrevistas a profundidad con seis miembros de PCM para indagar sobre su trabajo en la gestión del riesgo ante inundaciones. Se preguntó sobre las acciones positivas y las de menor impacto dentro del municipio al enfrentar inundaciones severas.

Se concluye que es necesaria la presencia de una institución que se encarga de actualizar los documentos para la toma de decisiones, buscar presupuesto para obtener recursos humanos y materiales, y así lograr una respuesta inmediata y evitar la proliferación de vulnerabilidad, pobreza y asentamientos informales.

Antecedentes

A treinta y cuatro años de adoptar el Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales y su Marco Internacional de Acción, la exposición mundial al riesgo de desastres se ha reducido escasamente. Sin embargo, se han logrado mejoras significativas en la reducción de pérdidas humanas, medios de subsistencia y la salud de acuerdo con el Marco de Sendai 2015-2030. Por ello, la Asamblea General de las Naciones Unidas designó el 13 de octubre del 2020 como el Día Internacional para la Reducción del Riesgo de Desastres a fin de promover la cultura para reducir los impactos que conducen al desastre a nivel mundial.

Una de las consecuencias más costosa e impactante de los fenómenos hidrometeorológicos, es la inundación. Los datos recientes sobre la frecuencia e intensidad de las inundaciones que generan desastres denotan que han incrementado en las últimas décadas. Por ello, las instituciones internacionales y los gobiernos nacionales continúan adaptando acuerdos y políticas públicas que enfatizan la integración de la reducción del riesgo de desastres, a fin de mitigar la vulnerabilidad y mejorar la resiliencia ante fenómenos de origen natural. Estos acuerdos se basan en los supuestos de lo que cada gobierno debería hacer como política pública para la gestión del riesgo de desastres (GRD) (Bocher *et al.*, 2007).

Las cifras de eventos y costos económicos ocasionados por diversos desastres aumentaron considerablemente. En la década de 2000 a 2010, las Naciones Unidas mencionaron que 373 eventos de origen natural, como terremotos, inundaciones, ciclones, erupciones volcánicas y sequías, afectaron a 208 millones de personas en el mundo, incluyendo la muerte de 280 000 personas y pérdidas materiales por 52 000 millones de dólares. En 2015, se estimó que los desastres tienen un promedio de 250 000 a 300 000

millones de dólares cada año en pérdidas económicas (Dorasamy *et al.*, 2013; UNISDR, 2015).

Las acciones y objetivos de los acuerdos internacionales se complementan y ajustan a lo que se conoce como la gestión del riesgo de desastres (GRD). Incluso diez de los diecisiete Objetivos del Desarrollo tienen metas relacionadas con la disminución del riesgo de desastres. Ante tal escenario, es prioritario conocer cómo manejar el desastre, ya que no solo pone en riesgo los acuerdos firmados, la ética y garantía de las instituciones internacionales, sino también de los gobiernos nacionales y locales.

Es imprescindible impulsar e integrar la gobernanza a nivel nacional, estatal y local para gestionar la reducción del riesgo de desastres (RRD) a fin de impulsar la coherencia entre políticas nacionales y locales. Asimismo, se necesita integrar la gestión del riesgo de desastres al sector social y privado, como parte fundamental de impulsar la resiliencia y reducir la pobreza generada por cuantiosas pérdidas y escasos esquemas de apoyo para la población afectada y los gobiernos locales que atienden las emergencias con elevadas limitaciones humanas y económicas (Dorasamy *et al.*, 2013; Oldham y Astbury, 2018).

Las cifras en países menos desarrollados invitan urgentemente a contribuir en la construcción de una gestión del riesgo antes del desastre que permita estar preparados, y que ayude a impulsar el conocimiento e investigación sobre los eventos naturales que puedan desencadenar un desastre. También es necesario impulsar acciones que faciliten a los gobiernos locales la gestión del riesgo ante inundaciones teniendo como objetivos primordiales la prevención y mitigación.

En la década de 1980 hubo un cambio en la forma de entender la gestión del riesgo de desastres ante inundaciones y el papel que juega la población, la protección civil y la planificación urbana. Se introdujo la dinámica de la vulnerabilidad, la exposición y la resiliencia basado en el conocimiento generado por las comunidades afectadas. Este enfoque que incluye el conocimiento y la cultura local en la concepción del riesgo y la forma de manejarlo permitió entender que su gestión es un proceso participativo, donde las personas deben identificar, evaluar, tratar y planificar estrategias que protejan contra peligros y vulnerabilidades de diverso origen (Krummacher, 2014).

En el proceso de gestión del riesgo ante inundaciones, es imperativo empoderar a la población, respetar su cultura y contexto para construir confianza (Chhoun, 2016), y fortalecer los usos y costumbres que favorecen la conservación de vegetación, la presencia de áreas verdes y la arborización en la ciudad o comunidad.

Algunos autores (Shaw y Goda, 2004; Chhoun, 2016) definen las fases de la gestión del riesgo como evaluación, mitigación, preparación, respuesta y rehabilitación, donde es importante preparar estrategias institucionales basadas en el conocimiento y prácticas de las comunidades. Estas deben ser consideradas en el proceso de adaptación de las estrategias de afrontamiento para generar confianza y empoderamiento comunitario.

Algunos trabajos mencionan que si bien las emergencias no se pueden prevenir, sí se pueden manejar de forma exitosa mediante una gestión del riesgo planificada y acertada, con respuestas concretas y regidas por instancias públicas, esfuerzos coordinados satisfactoriamente, y una base de datos continuamente actualizada, integrada y basada en el conocimiento (Dorasamy *et al.*, 2013, Mojtahedi *et al.*, 2017).

El desastre se define por su ocurrencia repentina, demanda de respuestas inmediatas, generación de incertidumbre y estrés, amenaza a la estimación personal y comunitaria de organización y, aumento en intensidad y magnitud con el paso del tiempo (Dorasamy *et al.*, 2013). Cabe destacar que en el Reino Unido no se usa la palabra desastre sino emergencia (Oldham y Astbury, 2018).

Los gobiernos tienen la responsabilidad de reinvertir en activos de infraestructura pública, la cual está en riesgo debido a tormentas, inundaciones y otros fenómenos naturales que pueden desencadenar un desastre. Al considerar la asistencia a viviendas y negocios afectados por inundaciones, los gobiernos se enfrentan con bastante frecuencia a déficits para financiar la reconstrucción, lo cual tiene efectos graves a largo plazo, ya que en otros momentos del año deben financiar otros programas sociales alejados del mantenimiento y la reconstrucción de la infraestructura dañada (Cárdenas *et al.*, 2007).

Algunos países optan por el endeudamiento al buscar en la comunidad internacional apoyos económicos los cuales llegan retrasados, resultan insuficientes, y están lejos de representar incentivos para la reducción del riesgo

(Linnerooth *et al.*, 2005). Tan sólo el ejemplo del sismo de 1985 representó una pérdida de 7 000 millones de pesos, lo que representó el 2.7% del PIB de ese mismo año y un déficit fiscal de 1 900 millones de pesos los siguientes cuatro años (Cárdenas *et al.*, 2007).

En países en desarrollo es complicado buscar alternativas de mercado para financiar acciones postdesastres, como la reconstrucción, respuesta y auxilio, sobre todo porque a largo plazo su capacidad financiera se reduce considerablemente debido a otros programas sociales que requieren apoyos económicos (Cárdenas *et al.*, 2007). Por ello, los gobiernos deberían incluir en sus planificaciones temporales acciones de prevención y atención en caso de desastre, así como fortalecer estructuras institucionales con experiencia en el tipo de riesgo al que están expuestos.

En América Latina y el Caribe se va evidenciando la acreditación de los gobiernos para manejar el desastre en diversos ámbitos:

1. Las atribuciones institucionales se ven rebasadas continuamente.
2. Perjudica el poder adquisitivo de las familias, comunidades y gobiernos.
3. Amplía la tasa de migración forzada por la crisis ambiental.
4. Los montos económicos de la recuperación y reconstrucción cada vez son mayores y cada año son asumidos por un mayor número de la población.
5. Genera incertidumbre económica para los inversionistas.
6. Son disímiles entre ciudades y a veces se quiere ocupar la misma fórmula de atención.
7. Hace falta la integración de sistemas de información constante de emergencias climáticas.

Se define la vulnerabilidad financiera como la falta de acceso por parte de un gobierno a fondos nacionales y extranjeros para financiar la inversión en reconstrucción post-desastre, respuesta a emergencias y socorro, la cual depende de la solidez de su situación fiscal y económica (Mojtahedi *et al.*, 2017).

Existen políticas internacionales y nacionales que se enfocan en ampliar la resiliencia, lo cual implica acciones para gestionar la presencia de riesgos

ante diversos fenómenos hidrometeorológicos de la región. Para lograr que el Caribe mexicano incremente su resiliencia ante dichos fenómenos naturales se debe trabajar en la gestión del riesgo de desastre ante inundaciones, construyendo programas, iniciativas y planes de urbanización con enfoque en la resiliencia (Oldham y Astbury, 2018).

En 1996 se creó en México un presupuesto anual en forma de fideicomiso llamado Fondo Nacional de Desastres Naturales (Fonden) que estaba destinado a la atención y recuperación postdesastre y que además acumulaba el presupuesto no gastado el año anterior. El Fondo de Prevención para Desastres Naturales (Fopreden) de este mismo fideicomiso se derivó con el objetivo de contar con presupuesto para que las entidades de México lograsen acciones de prevención de desastres. Sin embargo, estos fideicomisos eran recursos económicos que provenían de la sociedad, eran volátiles y los desembolsos eran superados cada año. En 2005, después de una severa temporada de huracanes, los fondos se agotaron (Cárdenas *et al.*, 2007).

A partir del 2006, el Fonden debía ser más confiable para poder cubrir las altas pérdidas, procurar capital para socorro y acciones de emergencia, así como la remoción de escombros. Tenía que ser capaz de indemnizar las pérdidas sin exceder la capacidad financiera de cada gobierno estatal y municipal de México, por lo que se establecieron condiciones como:

1. No intervenir con el funcionamiento legal del Fonden.
2. Atender necesidades inmediatas del Fonden.
3. Reducir el riesgo de incertidumbre relativo al pago a terceros (portador de riesgo).
4. La prima y costos asociados con el riesgo, así como su transacción financiera, debían reducirse al mínimo.

En México, a partir del 2021 comenzaron las acciones legales para “extinguir” los fideicomisos del Fonden (Vidal y Chávez, 2018). En 2022 se presentaron emergencias en la Secretaría del Bienestar, pues está destinando presupuesto para la atención de las personas y las comunidades ante desastres de origen natural. Hasta ahora, el Fondo de Prevención de Desastres Naturales (Fonden) sigue funcionando como programa social (SHCP, 2023). Como ciudadano afectado, ahora cada uno debe inscribirse en un programa ins-

titucional para obtener apoyo económico para la reconstrucción de su vivienda, siempre que cumpla con las especificaciones solicitadas.

La globalización trae nuevos riesgos a las economías y comunidades, ya que la forma en que se distribuyen los sistemas mercantiles, los recursos sociales y ambientales puede tener un fuerte impacto a nivel de cascada. La industria y los servicios con los que cuenta son parte de sistemas complejos que pueden ser desastrosos y poner en peligro economías de lugares remotos al ser únicos y contar con recursos ambientales frágiles, como lo son las dunas costeras. Las ciudades del Caribe mexicano sostienen su economía ofreciendo alternativas de turismo con finanzas ilimitadas y enfrentando las demandas del rápido crecimiento urbano (Krummacher, 2014; Oldham y Astbury, 2018).

Estas ciudades tienen un perfil de incremento exponencial por encima de la tasa de crecimiento nacional debido a su perfil turístico. Incluso existen políticas nacionales que impulsan el crecimiento económico y demográfico de la región, así que querer frenar esa expansión o que se desvíe para construir resiliencia debido a la presencia continua de huracanes puede resultar complejo, pero no imposible.

Una de las prioridades del Marco de Sendai es integrar la gobernanza del riesgo de desastres a todos los niveles posibles, con ello, se busca impulsar la creación o modificación de los esquemas políticos y legales entre el desarrollo y la gestión para la reducción del riesgo de desastres con coherencia, así que es imprescindible contar con marcos legales y organismos institucionales que tengan funciones definidas, orientadas y alentadas a la reducción del riesgo de desastre (Mojtahedi *et al.*, 2017).

El papel del gobierno en este tema es preponderante. La planificación debe plasmarse en documentos oficiales que rijan el crecimiento de las ciudades y las inversiones empresariales que impactan el contexto ambiental. Algunos autores reconocen que la reducción del riesgo se ve limitada por la forma en que se invierte y diseña la infraestructura clave en la GRD. Esta suele ser defectuosa, rebasada, aumenta la degradación ambiental, le falta mantenimiento y está desarticulada (Oldham y Astbury, 2018). Esto sucede cuando las instancias públicas y privadas no respetan la normativa de planificación urbana.

La planificación urbana está relacionada con el riesgo de desastre y la intención institucional y social de reducir los efectos y las condiciones indeseables post amenaza. Por ello, la intervención comunitaria en las decisiones de planificación es imprescindible. La reducción de riesgos plasmada en un plan o documento cuyo objetivo sea gestionar el riesgo de desastres debe contener medidas de reducción para mejorar las capacidades de afrontamiento y la resiliencia de la comunidad, además de reducir la vulnerabilidad social. El plan debe incluir la transferencia de riesgos, medidas de mitigación, recursos humanos y materiales necesarios, así como plantear metas a alcanzar y formas de desarrollar las capacidades de las comunidades (Van Niekerk *et al.*, 2017).

Las instituciones pueden impulsar un cambio en la calidad de vida de las personas. Su inversión en infraestructura puede ser un incentivo adicional para la construcción de resiliencia comunitaria que impulse la inversión empresarial hacia la igualdad de condiciones, ya que “una ciudad más resistente a los impactos es cuando existe una mejor apuesta o inversión a una que no lo tiene” (Oldham y Astbury, 2018).

Una forma de favorecer la reducción del riesgo de desastres es buscar la construcción de una ciudad evitando las brechas de la resiliencia ya que mirar al futuro permite comprender cuáles son y cómo frenar o disminuir las amenazas, logrando un cambio basado en programas, iniciativas y formas de urbanización donde los gobiernos locales ofrezcan de forma consciente a fin de contribuir a “un dividendo de la resiliencia” desde la gestión del riesgo (Rodin, 2015).

Ciudad y gestión del riesgo ante inundaciones

La urbanización es un reto del siglo XXI, ya que se proyecta que para el 2050 el 70% o más de la población habitará en ciudades. De este porcentaje, habrá un número significativo de la población que resida en ciudades costeras. Para favorecer a la gestión urbana y la gestión del riesgo de desastres por inundaciones, deberá existir un compromiso local de planificar desde una perspectiva inclusiva (Parikh *et al.*, 2022).

En ambientes urbanos, se ha optado por la utilización de SUDS (Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible), los cuales adaptan el drenaje convencional para crear un sistema que reduce el caudal provocado por la lluvia en las calles. Esto disminuye los contaminantes arrastrados por la escorrentía hacia el sistema de agua, también minimiza los costos de inundaciones y mejora el paisaje urbano. Este tipo de infraestructura se encuentra en ciudades mexicanas como Morelia, Guadalajara, Ciudad de México, Veracruz y Mérida (Hernández, 2017; Estrada, 2018).

Oleadas de migrantes llegan a las ciudades costeras en busca de oportunidades laborales, principalmente, en el mercado del turismo. Si el sistema económico local presenta reducidas ofertas laborales, se generará un cúmulo de asentamientos humanos informales. En algunos países se observa que el 61.7% de la población ya habita áreas irregulares, lo que pone en discusión otros desafíos asociados, como impactos ambientales irreversibles que resultan por contaminar el agua potable, el aire y tener un mal manejo de los desechos sólidos (Parikh *et al.*, 2022).

De acuerdo con algunos trabajos, el calentamiento global ha intensificado el ciclo hidrológico a nivel mundial, cambiando la frecuencia, intensidad y duración de los eventos de precipitación. Debido a esto, se observan lluvias inesperadas en periodos más cortos que tiene un impacto social y ambiental costoso, y a veces irreparables (Contractor *et al.*, 2021, Zhongming *et al.*, 2020).

Estas alteraciones se consideran una amenaza por el aumento de las inundaciones, afectando de manera directa a las personas, sus pertenencias y a la infraestructura de la ciudad, pues se transforman en vulnerabilidades de tipo social, ya que impide que las personas inviertan en la reposición de sus pertenencias. Lo mismo ocurre con las ciudades, donde se invierte en una infraestructura pluvial calculada para usos de la población y la absorción de ciertos milímetros de lluvia, mismos que se ven rebasados con el paso del tiempo y con eventos de riesgos causados por la precipitación (Du *et al.*, 2022, McBride *et al.*, 2022).

A pesar de que se ha comprobado que la urbanización, la deforestación y la apropiación de ecosistemas diversos para asentamientos humanos puede desencadenar inundaciones, las lecciones aprendidas, la experiencia y las necesidades actuales demuestran la necesidad de ampliar y mejorar las

soluciones para reducir los daños. A pesar de que existe un avance en la organización para atender los desastres comunitarios, la gestión por parte de las instituciones y de la población es lenta y limitada para lograr la reducción del riesgo de desastres. Algunas comunidades urbanas han desarrollado estrategias de afrontamiento en lugar de esperar que las instituciones les solucionen el problema, sin embargo, estas respuestas aún son insuficientes (Tanwattana, 2018, Oldham y Astbury, 2018).

Existe un patrón prevaleciente en distintas áreas urbanas del mundo donde las autoridades administrativas en gestión del riesgo se ven rebasadas y tienen respuestas desorganizadas, indecisas, hay distintos niveles de atención, áreas sin atención, lo cual resulta en desastres costosos y lamentables. Estas limitaciones a nivel nacional, provincial y distrital causan conflictos y confrontaciones en cuanto a la organización y la obtención de recursos para operar estrategias de atención y recuperación. Incluso parece que la organización comunitaria a nivel micro tiene mejores respuestas, resultado de una cohesión social para la autoayuda al enfrentar las inundaciones. Algunos ejemplos de acciones comunitarias locales son: (1) proteger sus casas y caminos con cerramientos de presas y sacos de arena; (2) transmitir información entre sí, y (3) compartir alimento y medicinas (Tanwattana, 2018).

La Gestión Comunitaria del Riesgo de Desastres (GCRD) permite que las personas estén en la toma de decisiones y la implementación de actividades de la gestión del riesgo de desastres. Es un trabajo colaborativo entre el gobierno local y las comunidades a nivel barrio para identificar, analizar,

Tabla 1. *GCRD acciones y resultados*

<i>Acciones</i>	<i>Resultados</i>
1. Trabajo preliminar para identificar los riesgos	1. Organización comunitaria para gestionar el riesgo de desastres
2. Seleccionar las comunidades	2. Fondo comunitario para la reducción del riesgo de desastres
3. Construir una relación con las comunidades	3. Cartografía de amenaza y vulnerabilidad comunitarias
4. Iniciar una evaluación participativa del riesgo de desastres y gestión	4. Plan comunitario
5. Implementar la planificación para la gestión comunitaria del riesgo de desastres	5. Simulacros comunitarios
6. Implementación gestionada por la comunidad	6. Sistema de aprendizaje comunitario
7. Monitoreo y evaluación participativos	7. Sistema de alerta temprana

Fuente: Elaboración propia basado en Tanwattana (2018).

proponer soluciones, monitorear y evaluar la reducción de las vulnerabilidades, así como mejorar su capacidad de afrontamiento.

La propuesta enfatiza concebir el desastre como una cuestión de vulnerabilidad de las personas que debe empoderar a la comunidad para identificar los factores que la hacen vulnerable, buscando transformar esa desigualdad. Sus fases son la prevención, mitigación, preparación, respuesta, recuperación y reconstrucción.

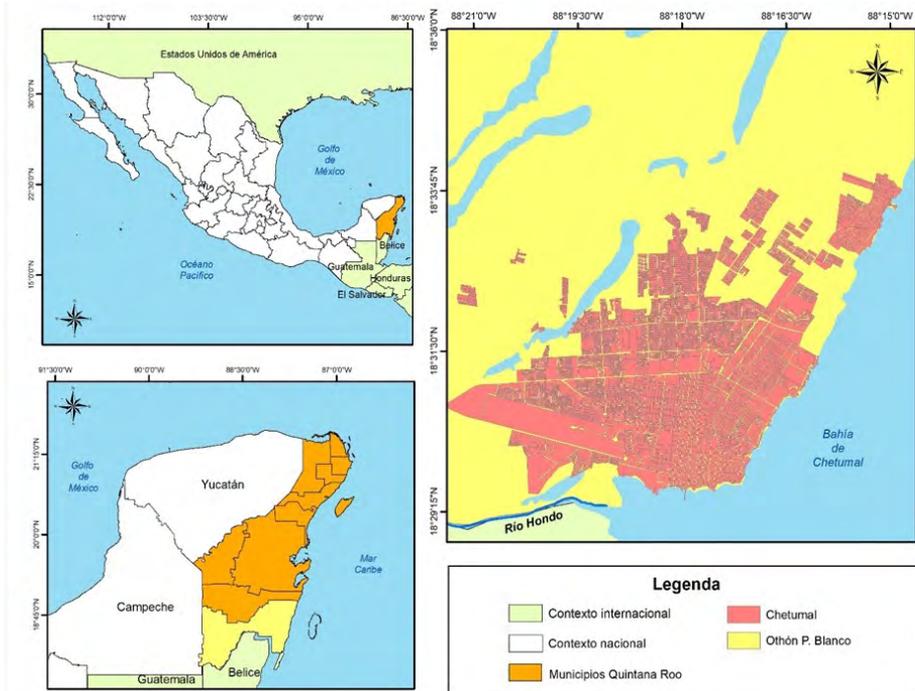
El trabajo de las instituciones es promover el trabajo en red, dentro y fuera de la institución, así como favorecer la generación de información, compartirla y decidir. Asimismo, debe tener la capacidad de integrar a la comunidad y entrelazar las atribuciones, roles y responsabilidades de los distintos grupos para lograr que la respuesta a mayor escala sea notoria (Tanwattana, 2018). No todo el trabajo debe ser del gobierno.

Área de estudio

La ciudad de Chetumal se localiza en el Caribe mexicano, específicamente al sureste de México, en el estado de Quintana Roo, municipio de Othón P. Blanco (figura 1). Por su ubicación geográfica la ciudad está expuesta a diversos riesgos (a) geológicos, (b) hidrometeorológicos, (c) químico-tecnológicos, (d) sanitario-ecológicos y (e) socio-organizativos. Este capítulo pretende explorar las inundaciones, derivadas de fenómenos hidrometeorológicos como “huracanes, tormentas tropicales, vaguadas y nortes, los cuales han sido los de mayor afectación a la población en la ciudad y cuyos costos económicos también han sido elevados” (Funcionario 2, Comunicación personal, 22 de noviembre de 2023).

Chetumal es actualmente considerada una ciudad mediana, ya que cuenta con 233 648 habitantes (INEGI, 2021). Es una ciudad fronteriza cuya expansión es dirigida por la estructura política del momento. A más de once décadas de su fundación, Chetumal cuenta con un sistema de drenaje incompleto. Las características geográficas y geológicas de la ciudad no son aptas para el desarrollo urbano y la expansión de la ciudad continúa con algunos barrios planificados y otros de tipo informal. Sobre todo en la periferia, existen diversos cuerpos de agua subterránea y la presencia de selva baja

Figura 1. Ubicación geográfica de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, México



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2021).

que han sido antropizados. La expansión de la ciudad la deciden personas con poder político y económico, integrantes de una élite política y gobernante nativa de Quintana Roo, quienes guían la “urbanización” con asignación presupuestaria, sin embargo, estas personas tiene una visión limitada de lo que es el crecimiento urbano con miras en el desarrollo (Camal y Arriaga, 2014).

Metodología

Este trabajo tiene como objetivo principal brindar un análisis institucional de la gestión del riesgo de desastre ante las inundaciones, indagando en sus estructuras y las interacciones con otras instancias a fin de lograr esclarecer aquellos aspectos significativos que interviene en la respuesta, cómo inter-

preta y reacciona, principalmente Protección Civil Municipal de Othón P. Blanco en Quintana Roo, se busca interpretar las razones que generan la desconfianza de la población local en torno a las políticas públicas a favor de la reducción del riesgo ante inundaciones pluviales. Se busca determinar si se ha logrado o está rumbo a la construcción de la resiliencia comunitaria.

La metodología utilizada para este trabajo consiste en una revisión bibliográfica que permitiera mostrar un estado del arte de la gestión del riesgo de desastre por inundación de forma general. Se basa principalmente en la responsabilidad institucional y social con el fin de visualizar opciones para construir un camino hacia la resiliencia comunitaria.

La segunda etapa consiste en una entrevista semiestructurada realizada en noviembre del 2023 a personal de la oficina municipal de Protección Civil de Othón P. Blanco, encargado de gestionar el riesgo de desastre en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, México. Se entrevistó a seis funcionarios de distinto nivel para indagar en lo siguiente: (a) qué acciones realizan para la gestión del riesgo ante inundaciones, (b) quiénes apoyan, (c) si existen recursos humanos y materiales para lograr una política pública satisfactoria en materia de gestión del riesgo de desastres ante las inundaciones y (d) qué se necesita para mejorar la calidad de su respuesta. Lo más importante era conocer (e) su percepción sobre sus funciones, su respuesta y los recursos con los que cuentan, además de (f) conocer qué se necesita para lograr mejorar su gestión.

La tercera etapa consistió en procesar datos cualitativos extraídos de una entrevista para validar las áreas de inundación de acuerdo con las llamadas al 911 en agosto del 2022, las cuales habían sido registradas por PCM. Para ello, se interrogó a más de 2 500 viviendas para determinar si había inundación o no. La respuesta positiva permitía preguntar el nivel de altura de la inundación y el tipo de afectación que sufrían, validando la información. Se obtuvieron respuestas de 490 viviendas, sin embargo, existieron aspectos que la población mencionó por su importancia en la construcción del riesgo. Estos aspectos se anotaron y, con base en ellos, se redactó un apartado de los resultados.

Resultados

Debido a los diversos puntos de interés de este trabajo se optó por redactar los resultados en apartados temáticos, aunque se reconoce que todos los temas finalmente están relacionados con dos situaciones que deben ser atendidas de emergencia en la ciudad de Chetumal. Es indispensable generar un presupuesto que permita contar con recursos humanos y materiales adecuados para gestionar el riesgo de desastres en sus distintas etapas, y así, lograr que con el paso del tiempo se necesite únicamente gestionar el riesgo.

Un segundo aspecto relevante es cambiar la forma de designar al director de protección civil, así como de áreas donde es importante la experiencia en el tema para obtener buenos resultados. Algunos de estos rubros son la policía, la milicia y los jueces de la suprema corte. Con el mismo rigor se deben designar a los responsables de estas áreas a nivel nacional. A continuación, se presentan los resultados por tema.

Nivel de organización del gobierno

Ante una emergencia las autoridades locales pueden y deben solicitar apoyo al gobierno estatal, y cuando la situación es aún más grave, se hacen declaratorias de emergencia que implican el apoyo del gobierno federal, incluyendo el Ejército, la Fuerza Armada, la Marina y la Guardia Nacional en el operativo DN-III. Este apoyo moviliza personal de distintas dependencias e instalaciones del Ejército y Fuerza Aérea para integrar un Consejo Nacional de Protección Civil, ya sea a nivel estatal o municipal, según corresponda.

Cuando sucede una inundación severa que afecta a más de un municipio en la entidad la prioridad está en repartida pero el problema es que no hay una organización definida de tipo horizontal y vertical para que compartamos responsabilidades, por lo que, a veces las acciones no logran los objetivos necesarios. Por ejemplo, no hay registros de personas afectadas, hay barrios que no se apoyan, en fin, vamos viendo deficiencias graves” (Funcionario 2, Comunicación personal, 22 de noviembre del 2023).

El Plan DN-III establece que cuando una instancia de gobierno no tiene representación los militares pueden ejercer esas atribuciones con el fin de apoyar a la población y lograr la atención y recuperación de forma expedita. Sin embargo, se ha visto a miembros del Ejército militar realizando acciones distintas a aquellas para las que han sido entrenados. Los militares podrían apoyar en la instalación y vigilancia de albergues, así como la evacuación de personas, en la planificación e instalación de módulos médicos, vigilancia a nivel social, revisión y análisis de la infraestructura, y en aquellas tareas que son para lo que han sido entrenados.

Acciones municipales de prevención

En el municipio de Othón P. Blanco existen acciones con mira a la prevención que incluyen el apoyo de otras instancias públicas municipales y estatales. La coordinación en estas tareas es importante para lograr objetivos como contribuir a un menor nivel de inundación. El Operativo Tormenta es uno de los trabajos interinstitucionales que más reconocimiento y valor tienen para el municipio y para Quintana Roo.

El Operativo Tormenta es un trabajo en conjunto que dirige la alcaldesa. Se solicita apoyo de instancias, como Servicios municipales, bomberos, Secretaría del municipio y nosotros protección civil, como instancias municipales. También participan instancias estatales, como la comisión de agua potable y alcantarillado, salud y protección civil estatal. Pero se han sumado instancias de nivel federal, entre las más destacadas, Conagua, CFE y los militares, así entre todos vamos realizando acciones que, cuando llegan las temporadas de lluvias y huracanes, podamos estar en mejores condiciones.

Lo que más se prioriza es la limpieza de alcantarillas sanitarias y pluviales, ver que estén reparadas y funcionando, eliminar las ramas de las redes de energía eléctrica, revisar los colectores mayores del drenaje pluvial y hacer las obras necesarias para que las lluvias logren desaguarse. En realidad, este operativo tiene varias reuniones para ir subsanando las necesidades observadas (Funcionario 1, Comunicación personal, 22 de noviembre del 2023).

Las autoridades municipales cuentan con un nivel de organización de tipo horizontal y vertical que permite compartir responsabilidades en la etapa de prevención ante fenómenos hidrometeorológicos, los cuales comienzan en abril y concluyen en diciembre de cada año. Actualmente, acordaron dividir la ciudad en cuatro regiones con el fin de distribuir el trabajo de identificación de áreas de inundación y puntos críticos.

Tabla 2. Definición de partes de la gestión del riesgo de desastres ante inundaciones

<i>Etapas de la LGPC</i>	<i>Definición de LGPC</i>	<i>Acciones municipales</i>	<i>Participantes</i>
Identificación de riesgos	Analizar e identificar el peligro y las amenazas que definen los riesgos, así como sus posibles daños, lo que define la vulnerabilidad.	Debería existir un atlas de riesgo. El más reciente es de 2011. Cada vez que llueve se generan inundaciones es PCM quien está encargada de identificar los puntos basados en las llamadas recibidas en el 911 y los llamados a sus números directos.	<ul style="list-style-type: none"> • PCM • Población con sus llamadas • Seguridad Ciudadana con el 911
Previsión	Reconocer y construir herramientas para enfrentar los riesgos. Invertir en recursos humanos y materiales para realizar las siguientes etapas.	Con los puntos identificados y los llamados, se realiza limpieza y mantenimiento en pozos de absorción, alcantarillas pluviales y corte de hierba y árboles en zonas que lo ameritan por afectar el funcionamiento del drenaje pluvial. La figura 2 ilustra los puntos críticos.	<ul style="list-style-type: none"> • PCM • Servicios públicos municipales • Recolección de basura
Prevención y preparación	Acciones anticipadas para construir una estructura de respuesta humana y material ante el impacto de un fenómeno antrópico o natural que provoque riesgo de desastre. Puede ser en el corto, mediano y largo plazo.	Encabezados por el municipio se declara la temporada de huracanes y con ello se establecen el Comité Operativo de Huracanes, el Operativo Tormenta, el Consejo Estatal de Protección Civil y el Comité Operativo Especializado en Fenómenos Hidrometeorológicos. Revisar y reportar los inmuebles que serán refugios durante huracanes o lluvias extremas para que las instancias correspondientes	<ul style="list-style-type: none"> • Ejército Mexicano • Marina-Armada de México, Consejo Nacional del Agua (Conagua) • Comisión de Agua Potable y Alcantarillado (CAPA) • Bomberos • Servicios Públicos Municipales • Dependencia de atención Ciudadana • Protección Civil Municipal de Othón P. Blanco (PCM). • Coordinación Estatal de Protección Civil (COEPROC).

		<p>los mantengan en condiciones favorables de uso.</p> <p>En las oficinas del secretario de gobierno municipal se instala el centro de mando cuando existe un desastre por inundación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Comisión Federal de Electricidad (CFE). • Secretaría Estatal de Salud y Asistencia (SESA).
Atención de la emergencia o auxilio	<p>Poner en marcha todas aquellas acciones y estrategias que se definieron para lograr salvaguardar la vida de las personas, así como disminuir las afectaciones materiales. Esto requiere de una infraestructura diseñada para que las instancias operen, monitoreen, controlen y evalúen el proceso para retroalimentar la mitigación.</p>	<p>Recibir llamadas y atenderlas de acuerdo a su prioridad.</p> <p>Monitorear los puntos críticos y aquellos nuevos puntos de inundación.</p> <p>Apoyar a la población en situación de desastres.</p> <p>Revisar en colonias afectadas para apoyar a las personas en refugios o en casas de familiares.</p> <p>Revisar a personas en refugios y orientar a SESA (Secretaría Estatal de Salud) para atención prioritaria en refugios.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Población con sus llamadas • Seguridad Ciudadana con el 911 • Cuando se emite alerta nacional de emergencia el Ejército Nacional despliega el DN-III. Programa de apoyo a la población para lograr la evacuación y, apoyo en traslado de heridos. • Sin alerta nacional de emergencia se constituye un Control de Mando que encabeza la PCM y todas las instancias municipales y algunas estatales están a disposición para aminorar la contingencia de forma expedita. • SESA está a cargo de apoyar en la instalación de refugios.
Recuperación	<p>Realizar procesos de reconocimiento de la situación y actuar para continuar con la vida cotidiana. El proceso inicia durante la emergencia.</p>	<p>Apoyo para limpieza de calles, limpieza de pozos, alcantarillas y todo el sistema de drenaje.</p> <p>Revisión de servicios en las colonias para reactivar la distribución de agua y energía eléctrica.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • CAPA • Recolección de basura • Servicios públicos municipales • PCM • CFE
Reconstrucción	<p>Asignar estrategias y apoyos para lograr una vida cotidiana normal, en lo social y económico. Invertir en reconstruir las afectaciones materiales, asegurando que nuevos eventos tengan una afectación menor, corrigiendo aquello que favoreció el riesgo.</p>	<p>Para cada familia no existen acciones, ellas acceden a la Secretaría de Bienestar para solicitar apoyo. Para la ciudad se tiene un registro de los daños y se canaliza con la instancia correspondiente. Generalmente, el Desarrollo Integral de la Familia (DIF) realiza el registro de familias afectadas para la entrega de bienes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • CAPA-Infraestructura de agua y drenaje • Servicios Públicos Municipales-Reconstrucción de banquetas y bacheo • CFE-Reparación de cableado y servicio de energía eléctrica • Servicios públicos municipales

		Levantamiento y limpieza de áreas verdes, árboles caídos. Reconstrucción y mantenimiento de vialidades municipales y estatales.	<ul style="list-style-type: none"> • Obras públicas estatales y municipales • Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SCT)
Mitigación	El aprendizaje y puesta en marcha, en lo social y material que, contribuya a disminuir o eliminar daños por amenazas y peligros identificados, sobre aquello que fue vulnerado.	<p>Recopilación de datos sobre el estado de la infraestructura pluvial y el drenaje sanitario para reportar a las instancias correspondientes para que se reparen o reconstruyan.</p> <p>Cartografiar puntos críticos de inundaciones.</p> <p>Monitoreo de pozos de absorción.</p> <p>Revisión continua de arborización para evitar que crezcan las copas y ocasionen daños.</p> <p>Trabajo de revisión y creación de listas de acciones prioritarias, limpieza de arbolado, liberar cableado de energía eléctrica.</p> <p>Analizar la posibilidad de la construcción de obra pluvial.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • PCM • Servicios públicos municipales • CAPA

Fuente: Elaboración propia con base en CDHCU (2021) y PNUD (2012). Datos de la ciudad de Chetumal, Trabajo de campo con PCM (2023).

PCM ha mencionado que la mayoría de sus comités y acciones de prevención y atención están enfocados en la llegada de un huracán, sin embargo, lluvias intensas de escasa duración también causan daños en la sociedad de Chetumal.

De acuerdo en datos de PCM las lluvias intensas que están causando inundaciones y tienen puntos de impacto severo son lluvias que alcanzan los 30 y 50 milímetros (mm) en menos de 6 horas. Algunas de estas lluvias están asociadas a frentes fríos y vaguadas prefrontales.

La figura 2 y la tabla 3 muestran los puntos críticos que han sido identificados por PCM durante las lluvias más recientes que afectaron la ciudad en agosto del 2022. Con base en estos puntos se distribuyen los puntos por regiones y por instancias públicas para recibir mantenimiento y limpieza

antes de empezar la temporada de huracanes para tener la infraestructura pluvial en condiciones idóneas y evitar las inundaciones. Empero, con las lluvias extremas y los recursos humanos y materiales con los que cuenta PCM, se ven rebasados por las necesidades de la población, pues consideran que “este tipo de trabajos donde tenemos varios puntos de atención al mismo tiempo y poco personal hace creer a la gente que no hacemos nada y sabemos que, para ellos, unos minutos significan mucho tiempo, pero necesitamos más recurso humano y material” (Funcionario 4, Comunicación personal, 22 de noviembre del 2023).

Tabla 3. *Áreas de inundación y puntos críticos por sector en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, 2023*

<i>Sector</i>	<i>Dependencia de atención ciudadana</i>	<i>Áreas de inundación</i>	<i>Puntos críticos</i>
Uno	CAPA Servicios Generales Municipales	18	33
Dos	Bomberos Servicios públicos municipales	23	38
Tres	PC municipal y estatal	9	34
Cuatro		44	25
Total		94	130

Fuente: Entrevista con personal de PCM (2023).

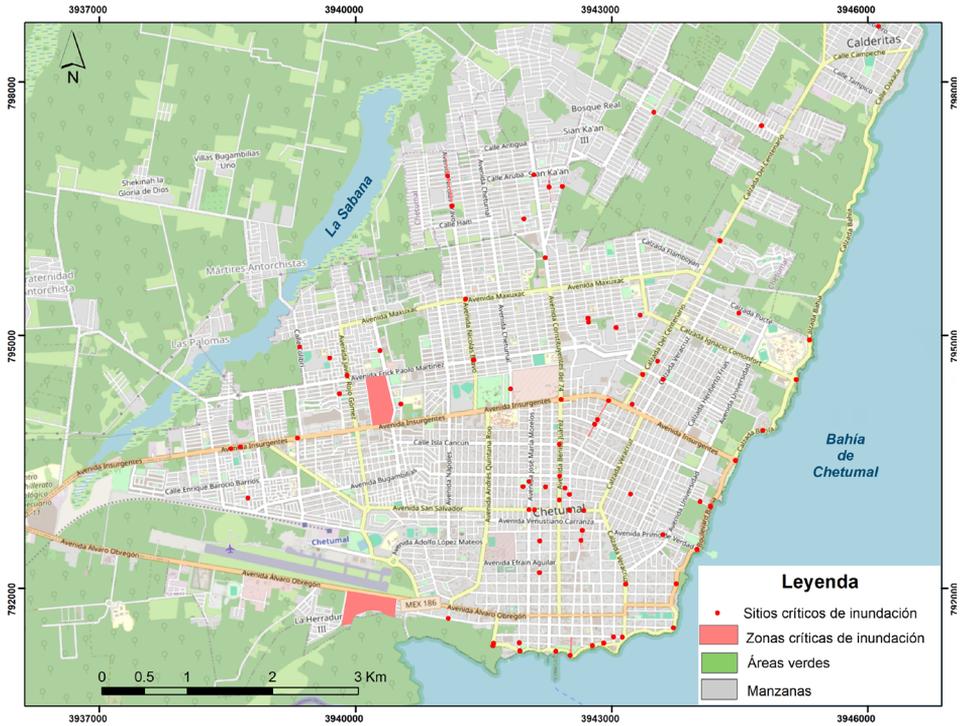
Las autoridades de PCM reconocen que, la falta de recursos humanos y materiales afecta la percepción que tiene la población de ellos y su trabajo.

Los pozos de absorción requieren de desazolvo continuo, y el municipio solo cuenta con un vehículo que ofrece el servicio a las comunidades rurales y urbanas. Esto hace que el proceso sea lento y la cobertura de las áreas urgentes tenga una calendarización prolongada. El costo del combustible es asumido por el municipio. El vehículo debe estar en condiciones favorables para la temporada de mayor presencia de lluvias. Una sola unidad para todo el municipio es insuficiente.

La limpieza de los pozos de absorción debe ser continua y supervisada por PCM debido a que se acumula tierra negra que permite el crecimiento de hierba con raíces profundas, lo que complica su mantenimiento.

Otro problema importante en los pozos es que la población los utiliza para desalojar las heces de sus animales. Incluso, de forma cotidiana, los animales en situación de calle defecan y las lluvias conducen sus heces a la

Figura 2. Zonas prioritarias de inundación según PCM



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2020) y datos de PCM (agosto 2022-2023).

infraestructura pluvial y sanitaria, lo que se solidifica y obstruye el flujo de agua, además de crear focos de infección para la población. A pesar de que PCM ha mencionado en diversos medios que esa práctica debe evitarse, aún sigue siendo un problema severo.

Cada que se realiza la limpieza de pozos de absorción o del drenaje pluvial nos damos cuenta de que la población arroja ahí su basura, las heces de sus animales, ya encontramos un colchón. Todo ello obstruye el paso del agua y, cuando el drenaje sanitario se satura con agua de lluvia, porque la población abre sus coladeras, entonces nos topamos con que las inundaciones son también con aguas negras (Funcionario 6, Comunicación personal, 22 de noviembre del 2023).

Refugios como parte de la prevención y atención

Los refugios son un tema delicado y escasamente tratado en la literatura académica e incluso en los documentos oficiales. Merecen atención especial en cuanto a cómo se van a distribuir, con qué materiales se va a contar o, qué se les ofrece a las personas para estar ahí, la dotación de servicios, no solo alimentación sino médicos y medicinas, la seguridad dentro del refugio y las rutas para llegar a ellos.

Nos dimos cuenta de que, allá por Los Monos (barrio de la ciudad) que es irregular, había bastantes familias y en el centro de mando querían que los soldados los llevaran al Este de la ciudad, lo que significaba que los llevarían al otro lado de donde viven. Eso no es factible, pues las personas al saberlo no se van a salir y las lluvias no dejaban de caer. Así que revisamos los refugios que teníamos antes y que estaban más cerca, entonces los reactivamos, equipamos y llevamos ahí. ¿Por qué dudamos en llevarlos?, porque estaban rodeados de zonas inundadas, las personas solas no iban a lograr llegar, pero el refugio no estaba inundado (Funcionario 5, Comunicación personal, 22 de noviembre del 2023).

En 2023 protección civil estatal estableció 837 refugios en la entidad de Quintana Roo. En el municipio de Othón P. Blanco existían 26 urbanos y 96 rurales. Para ellos, se eligen escuelas que deberán estar en condiciones de recibir a más de 150 familias que los habitarán durante la situación de emergencia.

Hay que aclarar que se necesita con mucha urgencia que haya nueva organización de refugios porque nos dimos cuenta de que algunos tienen problemas, están en áreas de inundación, no hay rutas viables, falta mantenimiento para ser refugio, como agua o baños en mal estado. Eso es tarea de la secretaría de educación pública porque son los responsables del mantenimiento de las escuelas y, sobre todo, de analizar las rutas de evacuación. Luego no hay por dónde pasar (Funcionario 4, Comunicación personal, 22 de noviembre del 2023).

Prevención en coordinación con la academia

Para el 2022 se identificaron nuevos puntos críticos de inundación distintos a los que se tenían en 2020. En PCM se dieron a la tarea de actualizarlos, así como de hacer el listado de la infraestructura pluvial en gran parte de la ciudad. Hasta ahora, en conversaciones con director de PCM la Universidad de Quintana Roo a través del Observatorio de Resiliencia ante el Riesgo por Inundaciones en Quintana Roo (ORIQROO), se ha realizado un trabajo en conjunto para subsanar aquellas limitaciones que hasta el 2023 aún se padecían en PCM, como la falta de computadoras para tener forma de almacenar y analizar los datos que se recopilaban, realizar cartografía, reportes, presentaciones, etc. Todo el material necesario para su trabajo.

El trabajo en conjunto permitió a ambas partes realizar cartografías a nivel de manzana en áreas específicas y críticas por la inundación en la ciudad. También se pudo hacer bases de datos de la infraestructura pluvial en la ciudad con fotos, ubicación georreferenciada y su estado actual, lo que permitió apoyar el Operativo Tormenta del 2023. El ORIQROO también generó información que fue de utilidad para PCM, logrando que una instancia pública y una académica trabajaran en conjunto para favorecer la reducción del riesgo por inundación. De esta conjunción se realizaron algunos podcast en la página Spotify del ORIQROO para difundir información a la ciudadanía de forma que, existieran más canales de comunicación.

Participación de la sociedad

Prevención de la población: Aseguramiento y devaluación de la vivienda

Se dice que la mejor prevención es el aseguramiento de los bienes a fin de lograr una recuperación expedita, no obstante, la población mencionó que siguen pagando sus créditos inmobiliarios, por lo que de acuerdo con el Fondo de la Vivienda del ISSSTE (Fovissste) y el Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (Infonavit), el objeto del crédito tiene un seguro que cubre daños por fenómenos naturales o hidrometeorológicos y su

vigencia es por el tiempo que la persona tiene el crédito (Fovissste, s/f; Infonavit, s/f).

Las personas que buscaron usar este seguro mencionaron que la respuesta no fue favorable, se pedía demasiada documentación, era mucho tiempo invertido y se les negaba el apoyo económico. Este tipo de acciones contribuye a que la población perciba mayor inseguridad y abandono ante las emergencias por eventos climáticos. La población menciona que pierde la fe en el gobierno por la falta de apoyo. En general, la población expresó:

1. Nadie apoya durante la emergencia para movilizarse a los refugios.
2. Si se hace el aviso de ir a refugios, no hay datos de rutas de evacuación.
3. Los seguros de los inmuebles no han sido cobrados.
4. Las viviendas se devalúan con cada inundación, no solo por el desgaste de la lluvia, sino porque se reconoce como área de inundación y, si se opta por vender la vivienda, el mercado inmobiliario es mínimo y el precio de la vivienda se devalúa.

Construcción del riesgo por la sociedad

El ORIQROO al realizar sus recorridos de campo para el levantamiento de datos, realizó una entrevista corta para validar las áreas de inundación de 490 viviendas con muestreo aleatorio no probabilístico que se llevó a cabo de abril a mayo del 2023. Se realizaron preguntas sobre si era zona de inundación o no a más de 2 500 viviendas. Donde la respuesta fue positiva, se recopiló información de 490 viviendas para validar la información recibida de las llamadas al 911 sobre la inundación de agosto del 2022. La población respondió las preguntas y amplió la información, lo que ayudó a definir cómo la sociedad aporta en la construcción del riesgo. Fue evidente que la población participa a veces de forma deliberada y otras no. Lo que es importante es considerar estas acciones para que PCM al conocerlas implemente acciones para informar a la población del peligro inminente si continúa realizándolas.

Hubo personas, principalmente varones, que mencionaron que, al sentir miedo de ver que el agua se acumulaba en las calles, en su desesperación,

abrieron las coladeras del drenaje sanitario, y por ahí se fue el agua. Ellos no se inundaron.

Al continuar los recorridos en los barrios adyacentes se mencionó que ellos nunca se habían inundado, que la infraestructura pluvial funcionaba correctamente, sin embargo, durante esta última inundación, de forma inexplicable, se les inundó la casa de dentro hacia afuera y con aguas negras, ya que sus retretes, coladeras, lavabos y lavaderos rebosaban de agua negra.

La gente, sin pensar, en su desesperación abre las coladeras, esto lo que hace es que satura el drenaje sanitario y, al buscar salida, lo hace por las casas de más adelante o, si es una colonia más baja, por allá va a brotar toda el agua negra. Esto es un problema de años, pero las gentes lo siguen haciendo. Sabemos que demoramos a veces en llegar, sin embargo, esas no son áreas prioritarias, o sea, no se van a inundar, es solo el miedo (Funcionario 3, Comunicación personal, 22 de noviembre del 2023).

Las personas también comentaron que, al saber que su calle se inunda si no limpian las rejillas de drenaje pluvial, una lluvia ligera puede provocarles problemas. Por ello, realizan limpieza continua de sus rejillas, sin embargo, observan que los flujos de lluvia torrencial traen cantidades considerables de basura.

Otra acción relevante que se mencionó fue que hay vecinos que sacan a su perro, y al levantar sus heces, las depositan en los pozos de absorción. También, los perros en situación de calle que defecan en la calle contribuyen a tapan los pozos de absorción o las rejillas de drenaje pluvial.

Lo que no sabe la gente es que las heces de los animales, con el contacto del agua, se hacen duros como rocas y tapan las coladeras. Cuando vamos a dar mantenimiento es un problema, pues no es fácil remover las heces de los animales, necesitamos palas y picos, tapan, disminuyen el flujo del agua un 10% (Funcionario 5, Comunicación personal, 22 de noviembre del 2023).

Las modificaciones a las viviendas por reglamentación deben ser aprobadas por PCM, sin embargo, en el municipio de Othón P. Blanco, parece no ser así. Se observó que las personas construyen una plancha de concreto

alrededor de su vivienda, lo que al parecer desconocen es que, esa es un área de absorción de agua para evitar que la ciudad se inunde. Esta disposición se basa en la Ley de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (Cámara Nacional de Diputados, 2024). Por ello, la Organización Mundial de la Salud menciona, que además de que las casas tengan áreas de absorción, en las áreas urbanas es necesario tener al menos nueve metros cuadrados de espacio verde por habitante.

Para PCM, es imperante dar a conocer las obras que realizan, así como las aportaciones que la sociedad hace a la construcción del riesgo para evitar que se repitan, y así sumar a la difusión de información que contribuya a la resiliencia comunitaria. Se han abierto diversos canales para informar a la población en redes sociales y diversos comunicados en radio y televisión sobre los comités instalados por la llegada de la época de huracanes. Asimismo, se han abierto diversos canales a la población para alertar del acercamiento y desarrollo de fenómenos hidrometeorológicos.

Una de las preocupaciones de PCM es que Chetumal es una ciudad con un flujo de población continua, por lo que no todos saben qué debe hacerse en caso de un huracán, por lo que las campañas de difusión de las temporadas de huracán son continuas durante los meses de mayo a noviembre. Las autoridades desean ampliar la forma en que se pueda comunicar a la población qué hacer y qué no hacer durante la temporada de huracanes y otros fenómenos hidrometeorológicos para reducir las inundaciones.

Es imperativo construir resiliencia al educar sobre el significado de las alertas tempranas, de las banderas ante la presencia de huracanes, en fin, la mayor información que contribuya a la construcción gradual de una comunidad resiliente ante las inundaciones.

Hasta ahora, PCM ha estado abierta a la colaboración con la Universidad Autónoma del estado de Quintana Roo y el ORIQROO generando información y cartografías que estén disponibles para todas las instancias públicas y privadas para tomar decisiones, informar y, sobre todo, favorecer la reducción del riesgo de desastre por inundaciones.

Conclusiones y propuestas

Los resultados del trabajo de campo mostraron las acciones y estrategias utilizadas por PCM del municipio de Othón P. Blanco ante las limitaciones humanas y materiales con las que cuenta. Se hace evidente la contribución social en la construcción del riesgo. Existen una serie de acciones que favorecen la afectación de la ciudad de Chetumal por las lluvias. Hace falta una mayor rigurosidad en la implementación de las leyes y reglamentos a nivel nacional y local, ya que en la ciudad existen inversiones y usos de suelo que tienen administración federal, estatal y local. Es imperante respetarlas para continuar reproduciendo el esquema, principalmente, porque la expansión urbana que es continua.

PCM mencionó que casi no revisan licencias de construcción o permisos de uso de suelo, lo que en otras ciudades de México es imperante para aprobar dichas solicitudes, pues se basan en un plan de desarrollo urbano local y el atlas de riesgo. Estos dos últimos documentos presentan una inconsistencia en su actualización, lo que contribuye a que se ignoren los peligros y amenazas en la ciudad, qué los genera, cómo se siguen reproduciendo y qué hacer para su disminución y mitigación.

Existe una relación entre instancias públicas locales y estatales cuando se activan las alarmas de emergencia, incluso el apoyo del gobierno federal. Sin embargo, es necesario que el gobierno local tenga un presupuesto más elevado para facilitar recursos humanos y materiales a PCM, así como, la forma en que debe elegirse el líder de tal instancia. Se requiere elegir a una persona con experiencia en el tema, que comprenda las tareas y las responsabilidades, a fin de que se invierta aún más en sus necesidades, así como generar confianza y un liderazgo frente a otras instancias y la población.

Se debe reforzar la conexión entre áreas municipales en momentos ajenos a la emergencia, beneficiando la generación e intercambio de información que aporte a la actualización de documentos locales necesarios para la toma de decisiones en la construcción de la ciudad, y ante la gestión del riesgo de desastre.

Generar un liderazgo en la población facilitaría que la gestión del riesgo

se comparta con la comunidad, así como, el respeto a las leyes, reglamentos y el atlas de riesgo, mismo que requiere una actualización continua.

La participación ciudadana es importante, no solo en el momento de la emergencia, pues las personas realizan acciones que contribuyen a la generación del riesgo. Se debe comunicar apropiadamente lo que implica un riesgo, y lo que favorece a su reducción. Unas de las formas más habituales de hacerlo es mediante el uso de redes sociales, por lo que infografías y anuncios en TikTok, Instagram, Facebook, con un lenguaje sencillo, podrán aportar en la gestión del riesgo del desastre y en la participación ciudadana en las etapas que PCM lo considere.

Se ha evidenciado que la mayoría de las inundaciones en la ciudad se generan por fenómenos hidrometeorológicos distintos a los huracanes, por lo tanto, es imperante tener un presupuesto que facilite la instalación de un conjunto de estaciones meteorológicas para emitir una alerta temprana en cuanto se observe que la lluvia está en los umbrales históricos que provocan inundaciones. Eso favorecería que escuelas, oficinas, centros comerciales logren ser evacuados y las personas en áreas de inundación logren estar en los refugios con anticipación.

Es necesario invertir en una infraestructura sanitaria y pluvial con capacidad para satisfacer las exigencias futuras de la ciudad, contando con dos redes distintas de conducción de agua en la ciudad. Hasta ahora los pozos de absorción han servido para captar agua y dirigirla a puntos de desfogue, pero debido a la cantidad de lluvia resultan insuficientes, y su costo de construcción y la cantidad que existe en la ciudad (más de 400), podría representar una inversión significativa en la creación de una red de drenaje pluvial capaz de reducir las inundaciones.

La instalación de refugios fue un tema interesante. Su disposición requiere analizar las últimas lluvias, así como las rutas de evacuación. En este caso, es imprescindible contar con cartografías a nivel de barrio que identifiquen calles, avenidas y refugios, así como las áreas inundables. En este caso, la Universidad Autónoma de Quintana Roo y el ORIQROO están contribuyendo a su creación y su actualización, así como otros documentos necesarios para PCM y la toma de decisiones. Es importante recordar que deben estar en las mejores condiciones para que la población cuente con atención médica e inclusiva para discapacitados, adultos mayores y enfermos.

Integrar el mayor número posible de instancias públicas y privadas logrará que se combinen esfuerzos de las partes interesadas para brindar apoyo y experiencia que favorezcan la reducción del riesgo ante inundaciones. Esto hará que la gestión del riesgo de desastres sea un trabajo de todos.

Reflexiones

Hasta ahora, en México se ha avanzado en la construcción de una legislación y marco normativo de lo federal a lo local que incide en acciones que buscan disminuir el riesgo de desastre. Sin embargo, existe un proceso de segregación socioespacial en la determinación de presupuestos que parece tener su origen en la administración estatal. Se va a privilegiar que los puntos de mayor contribución fiscal visualicen apoyo inmediato, como se puede ver en las declaratorias de emergencia. Con el paso de huracanes, las ciudades del estado de Quintana Roo que reciben apoyo inmediato son Cancún y Playa del Carmen, debido a que son dos puntos turísticos de talla internacional, mientras que la ciudad de Chetumal, a pesar de ser capital, debe esperar el apoyo. Incluso en el presupuesto designado para la actualización de planes de ordenamiento territorial y planificación urbana, así como el atlas de riesgo, se han otorgado mayores presupuestos a las ciudades mencionadas y sus municipios. El Atlas de Riesgo de Chetumal es del 2011 y aún están en la gestión para el otorgamiento de un presupuesto.

Este tipo de inconsistencias y diferenciaciones se percibe por la población, sin embargo, por la falta de transparencia en los presupuestos, la comunidad culpa a PCM. Otro tipo de segregación es visible en el edificio destinado a la PC municipal y al estatal, así como al número de personal administrativo y en campo, como las unidades de respuesta.

La PC estatal podría y logra apoyar a la PC municipal, si las ordenes de apoyo son emitidas por la gobernadora. Así, las decisiones de poder son directrices de las acciones ante la gestión del riesgo de desastre, por ello, tanto la academia como la sociedad, deben apoyar y proporcionar las herramientas para incentivar respuestas y presupuestos que favorezcan la reducción del riesgo de desastre, así como la respuesta por parte de instancias públicas más locales.

Este trabajo buscó los principios que rigen la gestión del riesgo de desastres, los cuales son la eficiencia, equidad, integralidad, transversalidad, corresponsabilidad, y rendición de cuentas. Se encontró una mínima coordinación entre instituciones para la RRD. Los gobernadores son los que tienen el poder de decisión ante las declaratorias de emergencia que brindan apoyos económicos.

Hay una mínima transparencia en la gestión de estos presupuestos, por lo que es mínima la posibilidad de conocer la eficiencia de las inversiones, así como su transversalidad. En regiones como Chetumal, Quintana Roo, que cada año es escenario del paso de huracanes, nortes, frentes fríos, vaguadas, entre otros fenómenos hidrometeorológicos, la RRD debería ser una prioridad, siendo la segunda, el trabajo por minimizar la presencia y conservación de población vulnerables, principalmente, por este tipo de fenómenos y omisiones institucionales.

Este tema requiere de una consciencia social para elaborar estrategias que mejoren la vida de las personas, inviten a una mayor participación honesta de la población. Se requieren nuevas estrategias para recolectar información en tiempo real, como aplicaciones sobre el registro de efectos sobre la ciudad. Esta información puede ser de índole local e internacional. Es importante realizar trabajos con un lenguaje más accesible para la población en general, pero que también sirvan para órganos de índole nacional o internacional. Para esto, es necesario trabajar desde la transdisciplinariedad, abstraer y repetir casos considerados de éxito, así como ampliar posturas teóricas y metodológicas a favor de la reducción del riesgo.

Aunque el camino sea complejo, solo se requiere de voluntad social y política para lograr mayores inversiones y colocar el tema en las agendas nacionales y locales.

Reconocimientos

Es importante para la autora de este trabajo reconocer y agradecer a los funcionarios de gobierno de PCM que participaron con sus ideas, respondiendo cabalmente a las preguntas realizadas. Por último, a la Dra. Lourdes Villanueva, por invitarnos a subir al barco de la gestión del riesgo en ciuda-

des costeras. Lo que inició como un proyecto de trabajo, hoy es nuestra pasión.

Bibliografía

- Bosher, L., Dainty, A., Carrillo, P., Glass, E., y Price, J. (2007). Integración de la gestión del riesgo de desastres en la construcción: Una perspectiva del Reino Unido. *Investigación e Información de Edificios*, 35, 163-177. <https://doi.org/10.1080/09613210600979848>
- Camal-Cheluja, T. L., y Arriaga-Rodríguez, J. C. (2014). Crecimiento y transformación urbana de Chetumal. Una interpretación desde la lógica de la élite política local, 1974-2014. En A. Higuera Bonfil (Coord.), *Quintana Roo: Cuatro décadas de vida independiente*. Universidad de Quintana Roo / Marú de Balam.
- Cámara de Diputados. (2023, 21 de diciembre). *Ley General de Protección Civil*. Secretaría General. Secretaría de Servicios Parlamentarios. México. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPC_200521.pdf
- . (2024, 1 de abril). *Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano*. Diario Oficial de la Federación. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGAHOTDU.pdf>
- Cárdenas, V., Hochrainer, S., Reinhard, M., Pflug, G. i Linneroothbayer, J. (2007). Sovereign financial disaster risk management: The case of Mexico. *Environmental Hazards*, 7(1), 40-53. <https://doi:10.1016/j.envhaz.2007.04.005>
- Chhoun, N. (2016). *Disaster management in Cambodia: Community-based disaster risk management in the case of drought* [Ponencia]. 1st TU-CAPS Asia-Pacific Century Integrating the Differences, Phuket. <https://www.adb.org/sites/default/files/linked-documents/46009-003-sd-02.pdf>
- Contractor, S., Donat, M.G., Alexander, L.V. (2021). Changes in observed daily precipitation over global land areas since 1950. *Journal of Climate*, 34(1), 3-19. <https://doi.org/10.1175/jcli-d-19-0965.1>
- Congreso del Estado de Quintana Roo. (2023, 21 de diciembre). *Ley de Acciones Urbanísticas del Estado de Quintana Roo*. *Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo*. <http://documentos.congresoqroo.gob.mx/leyes/L190-XVII-20231221-L1720231221190-acciones-urban%C3%ADsticas.pdf>
- Dorasamy, M., Raman, M. y Kaliannan, M. (2013). Knowledge management systems in support of disasters management: A two decade review. *Technological Forecasting and Social Change*, 80(9), 1834-1853. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.12.008>
- Du, H., Donat, M. G., Zong, S., Alexander, L. V., Manzanaras, R., Kruger, A., Choi, G., Salinger, J., He, H. S., Li, M.-H., Fujibe, F., Nandintsetseg, B., Rehman, S., Abbas, F., Rusticucci, M., Srivastava, A., Zhai, P., Lippmann, T., Yabi, I., Stambaugh, M. C., Wang, S., Batbold, A., Oliveira, P. T. D., Adrees, M., Hou, W., Silva, C. M. S. E., Lucio, P. S., y Wu, Z. (2022). Extreme precipitation on consecutive days occurs more often in a warming

- climate. *Bulletin American Meteorologic Society*, 103(4), E1130-E1145. <https://doi.org/10.1175/bams-d-21-0140.1>
- Estrada Díaz, G. (2018, julio-diciembre). Los sistemas urbanos de drenaje sustentable: Una estrategia adaptativa para incrementar la resiliencia de las zonas urbanas. *Revista e-RUA*, 10(20), 45-55. <https://rua.uv.mx/index.php/rua/article/view/184>
- Fovissste (Fondo de la Vivienda del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado). (s/f). *Seguro de daños para vivienda*. Fovissste. <https://www.gob.mx/fovissste/acciones-y-programas/seguro-para-tu-vivienda>
- Hernández Ferreyra, L. (2017). *Análisis de sistemas urbanos de drenaje sostenible en la ciudad de Morelia, Michoacán: Caso de estudio "Villas del Pedregal"* [Tesis de maestría]. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/4757
- INEGI (2021). *Censo de Población y Vivienda 2020. Principales resultados por AGEB y manzana urbana*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México: INEGI. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#microdatos>.
- Infonavit (Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores). (s/f). *Descripción INFONAVIT*. <https://www.cnbv.gob.mx/SECTORES-SUPERVISADOS/BANCA-DE-DESARROLLO/Descripcion-del-Sector/Documents/Descripcion%20INFONAVIT.pdf>
- Linnerooth-Bayer, J., Mechler, R., y Pflug, G. (2005). Refocusing disaster aid. *Science*, 309, 1044-1046. <http://www.jstor.org/stable/3842542>
- MacBride, Ch., Andries C. K. y Liesl D. (2022). Changes in extreme daily rainfall characteristics in South Africa: 1921-2020. *Weather and Climate Extremes*, 38, 100517. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100517>
- Mojtahedi, M., y Oo, B. L. (2017). Critical attributes for proactive engagement of stakeholders in disaster risk management. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 21, 35-43. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.10.017>
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). (2012). *Conceptos generales sobre gestión del riesgo de desastres y contexto del país. Área de Desarrollo Local y Objetivos de Desarrollo del Milenio*, PNUD. <https://www.undp.org/es/chile/publicaciones/conceptos-generales-sobre-gestion-de-riesgos-y-contexto-del-pais-0>
- Power, M. (2004). The risk management of everything. *The Journal of Risk Finance*, 5(3), 58-65. <https://doi.org/10.1108/eb023001>
- Rodin, J. (2015). *The resilience dividend*. Profile Books.
- Shaw, R., y Goda, K. (2004). From disaster to sustainable civil society: The Kobe experience. *Disasters*, 28(1), 16-40. <https://doi.org/10.1111/j.0361-3666.2004.00241.x>
- SHCP (Secretaría de Hacienda y Crédito Público). (2023). *Programa de Fondo de Desastres Naturales* (Nota informativa). Gobierno de México. <https://www.gob.mx/shcp/prensa/nota-informativa-349793#:~:text=Tambi%C3%A9n%20se%20ha%20asegurado%20un,6%20de%20noviembre%20de%202020>
- Tanwattana, P. (2018). Systematizing Community-Based Disaster Risk Management (CBDRM): Case of urban flood-prone community in Thailand upstream area. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 28, 798-812. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.02.010>

- Thompson, I., Shrestha, M., Chhetri, N., y Agusdinata, D. B. (2020). An institutional analysis of glacial floods and disaster risk management in the Nepal Himalaya. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 101567. <https://doi:10.1016/j.ijdr.2020.101567>
- UNISDR (2015). *Global assessment report on disaster risk reduction 2015*. UNISDR. <https://www.undrr.org/media/14914>
- Van Niekerk, D., Nemaconde, L. D., Kruger, L., y Forbes-Genade, K. (2017). Community-Based Disaster Risk Management. *Handbooks of Sociology and Social Research*, 411-429. https://doi:10.1007/978-3-319-63254-4_20
- Vidal-A., G., y Chávez-M., L. A. (2018). Erogando recursos del fondo nacional de desastres naturales (Fonden) en México: Una propuesta de corresponsabilidad social y empresarial, ajustándose a los propósitos de desarrollo sostenible. *Revista FACCEA*, 8(2), 78-87.
- Zhongming, Z., Linong, L., Xiaona, Y., Wangqiang, Z., y Wei, L. (2020). Precipitation from persistent extremes is increasing in most regions and globally. *Geophysical Research Letters*, 46(11), 6041-6049. <https://doi.org/10.1029/2019GL081898>

II. Propuesta de algoritmo para determinar la susceptibilidad de inundaciones: Un enfoque teórico-metodológico

YERED GYBRAM CANCHOLA PANTOJA*

LUIS MIGUEL ESPINOSA RODRÍGUEZ**

FRANCISCO ZEPEDA MONDRAGÓN***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.218.02>

Resumen

La presente propuesta metodológica está diseñada para determinar el pronóstico de susceptibilidad de inundaciones, formulada en cuatro etapas fundamentales con base en la generación de un modelo dinámico territorial que nos permite tener un acercamiento a las condiciones reales de un sistema susceptible a inundaciones. El algoritmo está constituido por cuatro derivadas matemáticas integradas para comprender el proceso del umbral de las inundaciones. La primera derivada está conformada por el cálculo de índices de las propiedades físicas del relieve a partir del enfoque de nano-cuencas; la segunda, realiza el análisis de las condiciones y la funcionalidad hídrica; la tercera, el estudio y procesamiento de imágenes satelitales y el uso de aplicaciones geotecnológicas; y la cuarta, la correlación de las derivadas geoespaciales. El principal propósito de su aplicación es descifrar las

* Doctor en Ciencias Ambientales por la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex). Profesor-investigador de la Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8153-1203>

** Doctor en Geografía por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Profesor de carrera de tiempo completo de la Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9545-400X>; Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221983231>

*** Doctor en Ciencias del Agua por la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex). Secretario de Extensión y Vinculación y profesor-investigador de tiempo completo de la de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3297-7580>

máximas y mínimas de los posibles umbrales de inundación desde un punto de vista holístico que pueda ser tomado en cuenta en estudios como la regulación de usos del suelo, el dimensionamiento de riesgos, así como visualizar la tendencia de dónde pueden ocurrir las inundaciones, contribuir a la investigación aplicada y poder desarrollar diversos proyectos. Por ejemplo, mapas de escenarios prospectivos, aplicaciones móviles con miras hacia la generación de medidas correctivas y estrategias para crear una sociedad más resiliente y participativa en sus contextos territoriales.

Palabras clave: *Ecuaciones, estructura, funcionalidad, geoespacio, modelación.*

Introducción

En la actualidad, el manejo del recurso hídrico en nuestras sociedades tiene un valor intangible, tanto para la subsistencia del ser humano, como para gestión de desastres, donde el entendimiento integral geoespacial y diacrónico de este elemento natural permite comprender los procesos geosistémicos complejos en cuanto a su captación, distribución, balances hídricos y zonas donde se pueden suscitar condiciones de peligro. Estas situaciones de vulnerabilidad en las localidades propician escenarios de riesgos que pueden ocasionar problemas socioeconómicos que agudizan la marginación.

Debido a esto, se propone un algoritmo para estimar el umbral de inundaciones desde un punto de vista holístico basado en nociones teóricas-metodológicas de la geomorfología, paisaje, territorio, dinámica geoespacial, órdenes de causas, aplicaciones geotecnológicas y ocupación del suelo. El algoritmo formula ecuaciones matemáticas ordenadas para realizar cálculos y hallar estimaciones de cobertura de tierra que se desborda y satura en un nivel de base de cause. El entendimiento de un análisis morfodinámico, la zonificación de unidades territoriales, la dinámica de causas, fenómenos meteorológicos atípicos y/o extremos, el uso y cambios de la tierra genera un modelo de aproximación del comportamiento geosistémico integrado por variables físico-matemáticas y antrópicas. Esto permite comprender cómo la captación de agua cubre la superficie terrestre, resultando en inundaciones en las inmediaciones de los márgenes de los valles y los ríos, y

saturando de agua los interfluvios que generan grandes concentraciones de agua que cubren en su totalidad el relieve.

Por otro lado, con base en información obtenida de la Base de Datos Internacional de Desastres (EM-DAT, por sus siglas en inglés) desarrollada por el Centro de Investigación sobre Epidemiología de los Desastres (CRED, por sus siglas en inglés), en México han ocurrido 82 desastres asociados a inundaciones entre los años 1952 a 2021. El 49% de los casos se originaron por la acumulación temporal de agua debido a precipitaciones intensas (inundaciones fluviales); el 47% se debieron al desbordamiento de cauces de ríos y/o arroyos (inundaciones fluviales), mientras que el 7% restante ocurrió en zonas costeras y estuvo relacionado con eventos de marea de tormenta. Hasta su última actualización en el 2022, EM-DAT estima que dichos desastres causaron la muerte de 4 660 personas en México y, en términos del impacto económico, el valor calculado asciende a un total de \$5 278 597 que se incrementó a más de cinco mil quinientos millones de dólares.

Por su parte, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred, 2023) reportó que en 2022, los fenómenos hidrometeorológicos fueron los causantes de más perjuicios en el país al conformar el 81% del monto total de los daños y pérdidas, con más de 9 524 viviendas dañadas y poco más de 207 000 personas afectadas.

La información del impacto socioeconómico de los desastres cobra mayor relevancia al considerar que por sus características geográficas, el territorio nacional está expuesto a diversas amenazas de origen natural, donde las inundaciones son recurrentes cada temporada de lluvias. Asimismo, las cifras ponen sobre la mesa otro tema fundamental referente a los gastos de rehabilitación y recuperación post desastre, lo cual puede constituir un factor de freno en el contexto de crecimiento económico del país y el desarrollo social.

Las cifras sugieren que el tema de las inundaciones en México representa un reto, tanto por la génesis y dinámica del fenómeno per se, pero también porque pone de manifiesto la existencia de entornos altamente vulnerables y expuestos. Bajo esta tónica, la toma de decisiones a nivel federal ha optado por un enfoque preventivo, lo cual ha llevado al desarrollo de políticas y estrategias en materia de reducción del riesgo de desastre. De acuerdo con el Cenapred (2019), en 2018 se erogaron casi 350.9 millones de pesos, los

cuales fueron destinados a proyectos como la construcción de instalaciones y equipamiento para Protección Civil, así como el programa de Infraestructura para la Protección de Centros de Población y Áreas Productivas de la Comisión Nacional del Agua (Conagua) y el Programa de Prevención de Riesgos, el cual es operado por la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (Sedatu).

Si bien el agua es un recurso finito, al no dimensionar su fuerza, crecida y acumulación en los cauces, genera vulnerabilidad, por lo que debe analizarse desde un enfoque multidisciplinario para garantizar que se cubran todos los factores antroponaturales que intervienen en su cuidado, captación, distribución y desplazamiento sobre la superficie terrestre.

Partiendo de lo anterior, se requieren propuestas innovadoras para dimensionar desde una perspectiva integral haciendo uso de geotecnologías y modelos geohidrológicos. Esta propuesta consiste en un algoritmo geohidrológico que permita comprender el comportamiento de una unidad de territorial con características homogéneas para entender la dinámica del agua de manera detallada y específica. Esto permitirá tener elementos y herramientas de apoyo para definir estrategias y llevar a cabo acciones que mitiguen el riesgo en zonas vulnerables debido a condiciones físico-geográficas y sociales.

Asimismo, desde una perspectiva social y económica, este algoritmo pretende mostrar diferentes escenarios de los posibles umbrales de inundación, por lo que ofrece un modelo práctico de análisis territorial que contribuye dimensionar el impacto en las diferentes actividades de la población, la industria, la minería, el sector recreativo, agropecuario, piscícola y energético, mediante el entendimiento de la geodinámica espacial del agua ante súbitas precipitaciones por fenómenos hidrometeorológicos. Esto permite a la sociedad prepararse y/o aumentar su resiliencia o adaptación, retomando criterios expuestos por Canchola (*et al.* 2017), para esta primera propuesta donde se ha seleccionado una muestra de las funciones de cada derivada del algoritmo aplicado a dos territorios: la cuenca de Guadalupe de San Marcos, Texas (EE. UU.) y una porción de una cuenca de Valle de Bravo, Estado de México.

El propósito de este trabajo es generar un modelo innovador que permita comprender el funcionamiento geohidrológico a partir de la delimitación

de unidades geodinámicas inundables mediante un algoritmo integral que permita determinar las condiciones de distribución, escurrimiento, infiltración, y captación de agua para identificar zonas susceptibles de inundaciones y entender los riesgos en un contexto de resiliencia social.

El algoritmo está dispuesto de manera ordenada y sistemática en cuatro derivadas que integran ecuaciones matemáticas para hacer cálculos y hallar estimaciones complejas donde intervienen factores fisiográficos como el drenaje natural del agua, el relieve, fenómenos hidrometeorológicos, vegetación y uso de suelo. Con esto se genera y obtiene información acerca de la estructura, la dinámica y el funcionamiento de unidades geohidrológicas.

La primera derivada está conformada por variables de factores geográficos-morfodinámicos, geológicos y estructurales que inciden directamente en el relieve. El análisis geomorfológico forma parte esencial de estas primeras ecuaciones debido a que permite identificar las formas de la superficie terrestre. Además, están estrechamente relacionadas con la dinámica del agua, en particular con la captación, escurrimiento e infiltración.

La segunda parte de la ecuación está orientada a la zonificación de unidades o delimitación geohidrológica (mediante el enfoque de microcuenca y/o nanocuenca), además del análisis geohidrológico que representa la dinámica de dirección de flujo, la definición del cauce principal y la concentración o acumulación. Esto permite definir el escurrimiento, desbordamiento, captación, análisis históricos y tasas de retorno. La ecuación permite entender los procesos geohidrológicos relacionados con los fenómenos hidrometeorológicos, los cuales son variables y alimentan el modelo, lo que permitirá generar escenarios para simular el comportamiento de las unidades.

La tercera derivada utiliza variables a partir de pronósticos numéricos GFS (Global Forecast System por sus siglas en inglés) y WRF (Weather Research and Forecasting por sus siglas en inglés). Esta genera una predicción meteorológica y atmosférica con datos de precipitación y temperaturas, a una resolución espacial de 8 y 16 km, y temporal, cada 12 horas. También se cuenta con información obtenida del Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra (LANOT) Unidad Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex) como la tasa de precipitación a una hora, el tope de nubes y la temperatura superficial del suelo GOES-16. De igual forma, se complementa con el estudio de amenazas hidrometeo-

rológicas y la ocupación del uso del suelo y vegetación mediante el uso de imágenes Landsat, Sentinel y Planet.

La última parte del algoritmo consiste en la correlación que integra toda la información obtenida en los procesos anteriores. Esto tiene la finalidad de mostrar proyecciones de la susceptibilidad de inundación por fenómenos hidrometeorológicos perturbadores, contemplados en una escala cuantitativa de 1 al 4, en relación con criterios cualitativos que van de Muy Bajo (1), Medio (2), Alto (3) a Muy Alto y/o Extremo (4).

De esta forma, la información que proporciona este algoritmo contribuye a generar un modelo que contextualiza de manera específica el comportamiento de las unidades geohidrológicas, lo cual es necesario para la gestión del agua tanto para cuestiones de actividades humanas, agroproductivas, y de riesgo. Un enfoque ecosistémico y de resiliencia permite contar con puntos de vista más cercanos a la realidad respecto a la dinámica geoespacial y los cambios en las condiciones meteorológicas que se manifiestan en eventos particularmente extremos y a menudo poco agradables para la sociedad que resultan en desastres.

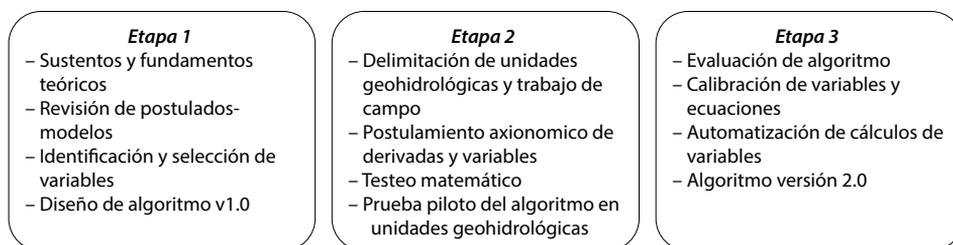
Este algoritmo innovador ha sido creado recientemente, por lo cual se encuentra en una etapa piloto, donde se estarán calibrando las variables utilizadas. Sin embargo, para fines de este capítulo, se exponen las bases teóricas-metodológicas que lo sustentan, así como un primer desarrollo axiomatico-matemático utilizando las variables más representativas de las ecuaciones. Esto se pone a prueba, tanto en el territorio de Valle de Bravo Estado de México, México, como en San Marcos, Texas, en los Estados Unidos de Norteamérica.

Método de investigación

La metodología aplicada se basó en un enfoque geosistémico-procedimental lógico, el cual nos permite un acercamiento a las condiciones reales de un geosistema, en este caso de “unidades geohidrológicas” con el fin de determinar su susceptibilidad a inundaciones y de utilizar un algoritmo que permite procesar información (datos o productos) de manera ordenada. Estas operaciones sistemáticas permiten obtener y generar cálculos de cada una de las

variables con el objetivo de determinar el pronóstico de susceptibilidad de inundaciones. Dicho algoritmo consta de tres etapas fundamentales. La etapa 1 consiste en el diseño y la creación del propio algoritmo sustentado en teoremas y el diseño de variables; la segunda etapa, es un postulamiento axonómico para el primer testeo matemático del algoritmo para probar variables en unidades geohidrológicas; y la tercera etapa, consiste en la evaluación, calibración y automatización del algoritmo (véase figura 1).

Figura 1. *Etapas para el desarrollo del algoritmo*
Etapas metodológicas-Algoritmo susceptibilidad-inundaciones



Fuente: Elaboración propia, 2023.

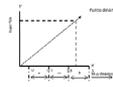
A continuación se presenta el algoritmo, el cual está constituido por cuatro derivadas matemáticas integradas en ecuaciones denominadas: (I) “ Dx) Análisis morfodinámico; (II) Dy (*Zonificación*: Unidades geohidrológicas / Dinámica-Cauces; (III) Dz^* Procesamiento de imágenes de satélite (GOES-16, LANDSAT 8-9-SENTINEL-PLANET; y (IV) $D\Delta$ Correlación: Determinación de zonas “inundables”:

Figura 2. Algoritmo susceptibilidad-inundaciones, versión 1.0

$$f(D \sum psi) \left[\begin{matrix} Dx) \\ f(\Sigma D \psi) = \frac{[(f_{Dx})' + (f_{Dx})'' + (f_{Dx})^{n_1}]}{\sum f(Dx)^n} \\ f(\Sigma D \psi) = \frac{\sqrt{(\chi I - 1)^2 + (\chi II - 1)^2 + (\chi III - 1)^2}}{(f_{Dx})'' \cdot f_{(Dx)^{n_1}}} \end{matrix} \right] + \left[\begin{matrix} Dy(\\ f(Dy) = \phi A \cdot dr = \iint (\Delta x A) \end{matrix} \right] + \left[\begin{matrix} Dz* \\ f(Dz) = fa = (f \cdot (\frac{A_{t-1} + A_{t-2} + A_{t-n_1}}{n})) \\ fb = (f \cdot (\frac{B_{t-1} + B_{t-2} + B_{t-n_1}}{n})) \\ f(fa, fb) = \sqrt{fa^2 + fb^2} \cdot VIE \end{matrix} \right] / \left[\begin{matrix} D\Delta \\ D\Delta \Sigma = \frac{(D\Delta_1 + D\Delta_2 + D\Delta_n)}{3} \end{matrix} \right]$$

Dx) Análisis Morfodinámico

- V_{IE} = Índice de Estructura Morfológica
 $f = (IET) = (Igg \cdot 100 / \text{esp. mc}) \Delta$
 IET = Índice de Estructura Morfológica
 Igg = Superficie de la estructura morfológica
 esp. mc = Superficie de la unidad geohidrológica
 100 = Valor constante
- V_{IG} = Índice de Ocupación de Procesos Gravitacionales
 $f = (IOPG) = (SOPG \cdot 100 / \text{esp. mc}) \Delta$
 IOPG = Índice de Ocupación de Procesos Gravitacionales
 SOPG = Superficie Ocupación de Procesos Gravitacionales
 esp. mc = Superficie de la unidad geohidrológica
 100 = Valor constante
- V_{IF} = Índice de Ocupación de Procesos Fluviales
 $f = (IOFF) = (SOPF \cdot 100 / \text{esp. mc}) \Delta$
 IOFF = Índice de Ocupación de Procesos Fluviales
 SOPF = Superficie Ocupación de Procesos Fluviales
 esp. mc = Superficie de la unidad geohidrológica
 100 = Valor constante



Dy) Zonificación: Unidades geohidrológica / Dinámica-Cauces

- V_{U} = Unidades geohidrológicas inundables
- V_{CA} = Cauces y embalses de inundación
- V_{SI} = Susceptibilidad a inundación

$$V_{SI} = \left[\frac{C_1 \cdot (I_{U_1} - I_{U_2}) \cdot e^{-I_{U_2}}}{C_2 \cdot (I_{U_1} - I_{U_2}) \cdot e^{-I_{U_2}}} \right]$$

- V_{SI1} = Coeficiente de infiltración
- Tiempo de retorno: [10, 100, 200, 500, 1000 años]
- V_{SI2} = Permeabilidad
- $K = (D \cdot Z) \cdot \ln(h / h_0 Z^2)$
- V_{SI3} = Análisis hidrológico - Máximos Afluentes Contemporáneos: (1983 - 2023)
- Tiempo de retorno (50, 100, 200, 500, 1000 años)

Dz* Procesamiento imágenes de satélite (GOES-16, LANDSAT 9-SENTINEL PLANET)

- V_{RS} = Rain Rate → GFS → 0 - 500 mm hora
 WPS → 0 - 600 mm
- V_{PR} = Pronóstico 24 horas
- V_{EE} = Eventos Extremos (Estimación Pmm)

- Huracanes
- Tormentas y depresiones tropicales
- Ullas, tormentas
- Otros eventos meteorológicos extremos (bombas de agua, frentes fríos, mientonas, tornados, anomalías microclimáticas y en cuevas semiofocales)
- V_{PR} = Ullas, cambios y ocupación de suelos (1994-2023)

DΔ & Correlación: Determinación de zonas inundables

- V_{IPI} = Integración de Aporte (Agua Proceso (PC) y Aporte (WH). Umbral de susceptibilidad.
- $V_{IPI} = (Iq \cdot PC + WH) / 3$
- $I\Delta \Sigma = \{D\Delta_1; D\Delta_2; D\Delta_n\}$
 $I\Delta_1; I\Delta_2; I\Delta_n$
- R:
 1. Muy bajo o bajo
 2. Medio
 3. Alto
 4. Muy alto o extremo

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Descripción del algoritmo

Los fundamentos teóricos de este algoritmo se basan en una correlación entre las ciencias de la tierra, las geotecnologías y el análisis dialéctico entre la geografía, geomorfología, geología, hidrología, edafología, ecología, percepción remota, cartografía, matemáticas y ambiente. Los criterios teóricos metodológicos expuestos se sustentaron de acuerdo con lo siguiente:

- Por su parte, Kant (1750), Humboldt (1845), Moebius (1895) y Davis (1899) contribuyeron a entender las bases filosóficas y dialécticas del algoritmo.
- Los principios prácticos del entendimiento de las bases de la dinámica geoespacial iniciaron con Fernández (1915), Passarge (1919), Sochova (1963), Tricart (1965), Stobart (1967), Neef (1969) y Dunn (1973).
- Las consideraciones en la teoría de geosistema expuestas por Bertalanffy (1974); Bertrand (1978), Gómez *et al.* (1982), Chorley (1991), De Bolós (1992); Ibarra (1993); Walker y Grabau (1993), Mateo (1999-

2002), Gunderson y Holling (2002), Espinosa y Hernández (2015) y Canchola *et al.* (2017).

- Con lo que respecta a la parte geológico-geomorfológico De Pedraza (1996), Mendoza (2002), Lugo (2004), Mulligan (2004), Farina (2006), Alcántara *et al.* (2009), Galochet (2009), Canchola *et al.* (2017), Zepe-da *et al.* (2019) y Canchola (2021).
- En cuanto a la parte geotecnológica, Currit (2009), Slaymaker (2009), Acevedo (2013) y Ortiz (2014-2019).

A continuación se presenta el sustento teórico-conceptual de las cuatro derivadas del algoritmo:

(I) "Dx" Análisis Morfodinámico

A lo largo del tiempo, el ser humano ha tenido un gran interés por comprender la superficie terrestre y los elementos que lo estructuran, partiendo desde el origen del relieve, la dinámica, comportamiento y evolución del mismo, así como los procesos morfológicos que en él se suscitan (Lugo, 2004 citado por Canchola *et al.*, 2017).

En el ámbito de la geografía, la geomorfología juega un papel fundamental e importante ya que, en los últimos años, ha sido considerada como la columna vertebral de la geografía física (Gregory *et al.*, 2002, citados en Bocco y Palacio, 2012) y de las diferentes disciplinas y ramas auxiliares de la geografía. Asimismo, la geomorfología se apoya en otras disciplinas, tales como: la climatología, hidrología, geología, entre otras. Su finalidad es comprender el estudio sistemático de las formas del relieve (Canchola *et al.*, 2017) y el entendimiento dinámico del territorio.

La geomorfología es una ciencia que nace en Francia a finales del siglo XIX con Emanuel de Martonne y alcanza reconocimiento a mediados del siglo XX con la Escuela de Estrasburgo, dirigida por el Dr. Jean Tricart (Arroyo, 2012). Al igual que otras ciencias, la geomorfología ha pasado por diferentes etapas que, junto con la evolución del pensamiento geográfico y geológico, han tenido una evolución sustancial para el estudio de las diferentes formas de la superficie terrestre.

En este sentido, se han introducido paradigmas y enfoques teóricos, los cuales intentan explicar la estructura y evolución del relieve y han servido de base para el entendimiento del territorio. Por ejemplo, las primeras teorías geomorfológicas desarrolladas por Davis y Penk (Lugo, s/f; Canchola *et al.*, 2017) han ayudado a entender el funcionamiento, origen y evolución del relieve

De esta manera, autores como John (2007), Arroyo (2012) y Canchola *et al.* (2017) citan a William M. Davis (1850-1934) como uno de los principales exponentes en el desarrollo de la investigación geomorfológica orientada a paisajes de erosión con un enfoque y/o paradigma geológico. A través de su modelo, Davis intenta explicar la evolución del relieve terrestre, exponiendo cómo la red de drenaje (ríos) sobre el terreno funge como un agente exógeno que, en conjunto con otros factores físicos, contribuyen al modelado y la evolución del relieve. Dicha teoría, la cual denominó como “ciclo geográfico o ciclo de erosión”, describe los procesos de “penillanura” (fase de senilidad) (Davis, 1899 citado en Canchola *et al.*, 2017), definido como “activos en climas húmedos, con formación de valles en V (fase juvenil del paisaje) que posteriormente se ensanchan (fase de madurez) y terminan en una superficie arrasada.”

Sin embargo, el postulado de Davis fue cuestionado por otros exponentes, tal es el caso de la Escuela de la geografía alemana, donde exponentes como Siegfried Passarge y Alfred Hettner se convierten en dos grandes críticos de Davis (Arroyo, 2012).

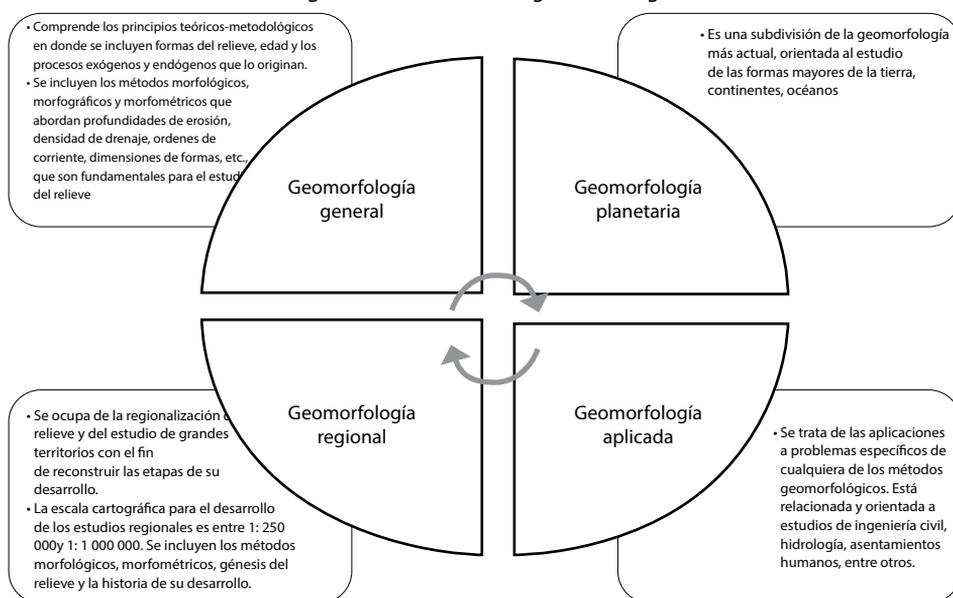
Cabe mencionar que autores como Lugo (s/f) consideran que la teoría de Davis ha sido de gran importancia en el ámbito de los estudios geomorfológicos, ya que ha sido uno de los aportes teóricos que intentó explicar la dinámica del relieve a partir de una secuencia evolutiva para entender el territorio actual.

No obstante, estos postulados y sus aportes teóricos-metodológicos han sido controvertido. Durante el siglo xx, precisamente a partir de los años cincuenta y sesenta, la geomorfología entró en una nueva etapa de gran desarrollo. Comenzaron a surgir trabajos novedosos y con otros enfoques como lo es la geomorfología climática y la geomorfología estructural, donde autores como Birot (1949), Cholley (1950), Tricart (1952), Tricart y Cailleux (1956) citados por (Lugo, s/f) comenzaron a desarrollar nuevos principios

y métodos para explicar las formas del relieve. Estos consideraban que las condiciones climáticas del pasado y del presente influyen en su modelado, junto con otros factores físicos.

En esta nueva fase de la geomorfología se introdujeron nuevos métodos y técnicas para sustentar los estudios geomorfológicos. Esto resultó en la división de la ciencia geomorfológica en varias ramas y sub-ramas, cada una de ellas con una base teórica propia que contribuye a un conocimiento más completo del relieve (Sala, s/f) (véase figura 3).

Figura 3. Divisiones de la geomorfología



Fuente: Elaboración propia con base en Lugo (1988) y Lugo (s/f).

Estas bases y fundamentos, relacionados en gran medida con el pensamiento geográfico, han servido de base para la evolución de la ciencia geomorfológica y sus diferentes divisiones para el estudio del relieve. Las principales escuelas que han sentado las bases para el entendimiento geosistémico del relieve son la escuela anglosajona, francesa, alemana y rusa son (Salas, 1984; Arroyo, 2012; Canchola *et al.*, 2017).

En este sentido, debido al desarrollo que ha tenido la geomorfología en los últimos años y a la incorporación de diferentes métodos y técnicas

para el estudio complejo y dinámico del relieve, la geomorfología ha tenido una gran aportación en el desarrollo de estudios con diferentes aplicaciones.

Dicho lo anterior, la geomorfología ha pasado por diferentes etapas fundamentales que la han llevado a consolidarse como ciencia y como unidad de análisis. La escuela alemana, francesa y soviética han sentado las bases para entender al paisaje y analizar cómo funciona. Cabe resaltar que estas bases tienen un sustento geomorfológico.

Estas nociones epistemológicas han creado un acercamiento teórico-conceptual del funcionamiento del paisaje a través del tiempo, donde el aporte de la geomorfología en el estudio del paisaje-territorio ha sido un factor fundamental al introducir y aportar diferentes métodos y técnicas para el análisis de la superficie del relieve.

Cabe mencionar que un elemento esencial en la línea de investigación de los estudios de paisaje para el entendimiento funcional complejo y dinámico del territorio fue la incorporación de la teoría de sistemas al ámbito de los estudios geográficos por Sochova (1963), ya que considera que los espacios o paisajes naturales —también denominados “complejos territoriales naturales” (Mateo *et al.*, 2012, p. 253)— pueden concebirse como geosistemas para entender la complejidad y la dinámica del territorio.

De esta manera, la aplicación de la Teoría General de Sistemas en la ciencia geográfica, geomorfológica y del paisaje, como mencionan García y Muños (2002), radica en las formas de representación o “modelos” que se adecuan a los caracteres estructurales y funcionales del territorio. Todas estas bases teóricas y metodológicas han sido retomadas para identificar los elementos que constituyen al paisaje y con ello, delimitar los procesos que conllevan a una dinámica y evolución tanto en el espacio como en el tiempo (Canchola *et al.*, 2017).

Teniendo en cuenta lo anterior, en los últimos años estas aportaciones se han visto como un área de interés de ciencia aplicada ya que, por el nivel de integración de diferentes disciplinas para comprender la complejidad estructural y dinámica del territorio, ha profundizado en el desarrollo de estudios ambientales y territoriales.

El sustento del pensamiento geomorfológico, paisaje y territorio, permite entender desde una base conceptual teórica una metodología aplica-

tiva, el funcionamiento de los componentes del territorio, así como comprender su transformación, dinámica y modelación.

En otro orden de ideas, el análisis morfodinámico del territorio hace referencia al análisis de las condiciones físico-geográficas y geomorfológicas de una zona determinada, a la cual se aplican análisis de tipo cualitativo y cuantitativo para entender su estructura, comportamiento y dinámica.

El análisis cuantitativo son las características, propiedades o atributos puntuales, lineales y volumétricos del relieve que, en conjunto, son denominados parámetros morfométricos del relieve y son esenciales para el análisis e interpretación numérica aproximada (Méndez, 2015) de las condiciones topográficas del relieve.

De esta manera, al desarrollo del análisis cuantitativo se aplica el método morfométrico, el cual se ocupa del análisis del relieve mediante la expresión cuantitativa de determinados parámetros o elementos. Es decir, incluye los aspectos cuantitativos de un área, por ejemplo: el grado de inclinación del terreno (pendiente), la altitud, la altitud, la exposición y el grado de rigurosidad (Arroyo, 2012), pendiente del terreno, entre otros.

Por su parte, el análisis cualitativo está orientado a la descripción y análisis del relieve, considerando que existen diferentes formas que lo constituyen.

De esta manera, se parte del análisis morfológico del relieve que de acuerdo con Arroyo (2012), abarca los aspectos descriptivos de la geomorfología de un área, haciendo una diferenciación espacial de las diferentes formas que estructuran la superficie terrestre, las cuales se clasifican en: valles, planicies, colinas, montañas, mesetas, laderas, entre otras.

En esta fase se recopilan y se procesan características básicas en el software SIG como lo es el Modelo Digital de Elevación (MDT), y a partir de ello se obtienen elementos secundarios necesarios para el análisis morfodinámico del territorio.

El IEM es el área total de la superficie de cada una de las unidades morfológicas diferenciadas y delimitadas, lo cual está relacionado con el análisis cualitativo y cuantitativo del relieve.

$$v_XI = \text{Índice de Estructura Morfológica}$$

$$f = (IET) = (U_{gg} \times 100 / \text{sup.mc})$$

Donde:

- IET = Índice de Estructura Morfológica
- Ugg = Superficie de la estructura morfológica
- sup.mc = Superficie de la microcuena
- 100 = Valor constante

$$v_XII = \text{Índice de Ocupación de Procesos Gravitacionales}$$

$$f = (IOPG) = (SOPG \times 100 / \text{sup.mc})$$

Donde:

- IOPG = Índice de Ocupación de Procesos Gravitacionales
- SOPG = Superficie Ocupación de Procesos Gravitacionales
- sup.mc = Superficie de la microcuena
- 100 = Valor constante

$$v_XIII = \text{Índice de Ocupación de Procesos Fluviales}$$

$$f = (IOPF) = (SOPG \times 100 / \text{sup.mc})$$

Donde:

- IOPF = Índice de Ocupación de Procesos Fluviales
- SOPG = Superficie Ocupación de Procesos Fluviales
- sup.mc = Superficie de la microcuena
- 100 = Valor constante

Por otro lado, el análisis cuantitativo hace referencia al análisis de las características, propiedades o atributos puntuales, lineales y volumétricos del relieve, que en conjunto son denominados parámetros morfométricos del relieve y son esenciales para el análisis e interpretación numérica aproximada (Méndez, 2015) de las condiciones topográficas del relieve.

Para finalizar, se puede decir que la morfometría se ocupa del análisis del relieve mediante la expresión cuantitativa de determinados parámetros o elementos del relieve de un lugar determinado. Es decir, incluye los aspectos cuantitativos de un área, por ejemplo: el grado de inclinación del terreno (pendiente), la altitud, la altitud, la exposición y el grado de rigurosidad, entre otros (Arroyo, 2012).

(II) "Dy" Zonificación:

Unidades geohidrológica / Dinámica-Cauces

El análisis de la dinámica hidrológica en la superficie

El agua se encuentra en todos los elementos de la vida en la tierra. Es vital para las actividades de la población y el equilibrio ecológico del planeta (Unesco, 2016). Es constituyente de todos los seres vivos y es una fuerza importante que constantemente está cambiando la superficie terrestre. Es un factor clave la civilización de nuestro planeta para la existencia humana (Te Chow, Maidment y Mays, 1994).

La hidrología abarca todas las fases del agua en la Tierra. Es una materia de gran importancia para el ser humano y su entorno. Es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, desde sus propiedades físicas, químicas y su relación con el medio que lo rodea, incluyendo las actividades de los seres humanos. El principal objetivo de la hidrología aplicada es la determinación de eventos analógicos a las cargas de diseño de análisis estructural, esto permite fijar la capacidad y seguridad de estructuras hidráulicas (Aparicio Mijares, 2004).

En este sentido, la delimitación territorial para el estudio de la hidrología y la geodinámica fluvial en cuencas, subcuencas y microcuencas ha permitido un acercamiento al funcionamiento hidrológico de las escorrentías, la captación, acumulación y los sistemas de drenaje los cuales, ante la presión para cubrir las necesidades humanas de las actividades agroproductivas, urbanas, industriales, rurales y adquisición de bienes naturales, están generando procesos de degradación geocológica. Al desconocer las demás variables del sistema, que también depende de si son cerrados y/o abiertos tan complejos y en grandes extensiones territoriales, en muchas ocasiones tienen impacto ocasionado, pérdidas y desequilibrios, no solo en el balance hídrico sino los procesos de autorregulación natural.

El enfoque de nanocuencas permite saber con mayor detalle cómo funciona una superficie donde hay una mayor cohesión de los elementos por la homogeneidad en el paisaje y tienen una composición reducida de unidades menores para mayor compresión entre variables geosistémicas. Debido

a esto, la delimitación basada en nuevos enfoques contribuye a un entendimiento a detalle de los espacios geohidrológicos.

Asimismo, existe un postulado de Strahler (1989) que permite comprender la distribución y configuración especial de los elementos desde la geografía física y uno de ellos son los causes. La ordenación de causes o drenaje consiste en clasificar los causes de acuerdo con su tamaño, longitud y los procesos que desempeñan sobre el relieve. Es decir, su dimensión respecto a sus ríos tributarios para jerarquizarlos de acuerdo con las características de cada uno de ellos (Mesa, 2018), donde los niveles 1 y 2 son procesos erosivos y/o disección del terreno, nivel 3 son transitorios, entre erosivos estructurales, mientras que los causes superiores, correspondientes a los niveles 4 al 7, son ríos cuya estructura morfológica se basa en fallas, fracturas, alineaciones y tienden a extender su valle, los cuales captan con mayor fuerza los flujos provenientes de los órdenes 1, 2, y 3 en adelante. Estos normalmente se forman en zonas con poca pendiente y generan condiciones propicias para el desbordamiento del agua del nivel de base de los ríos, iniciando así los umbrales de las posibles inundaciones, lo que se vuelve fundamental para determinar las zonas de susceptibilidad.

También existe el modelo de Horton, el cual contribuye a entender el complejo proceso de infiltración que, de acuerdo con Ruiz y Martínez (2015), tiene que ver con el nivel máximo del agua que se puede absorber, dependiendo de las propiedades físicas del estado de saturación de humedad, tipo de suelo, basamento litológico y régimen pluviométrico. Asimismo, parte del planteamiento de Horton trata las entradas y salidas infinitas del agua, donde la estimación de la infiltración y escorrentía dependerá de las propiedades físicas del suelo, esto es, de las variaciones de humedad y saturación, las cuales muestran una tasa constante con base los siguientes valores:

$$f_t = f_c + (f - f_c) e^{-kt}$$

Donde:

- f_t = capacidad de infiltración en el instante t
- f_c = valor constante de la capacidad de infiltración en estado de saturación del suelo

- f_0 = valor máximo de la capacidad de infiltración al comienzo de la lluvia
- k = constante de decaimiento
- t = tiempo transcurrido desde el comienzo de la lluvia

Por otra parte, la permeabilidad de acuerdo con la FAO (2016), es aquella propiedad del suelo de transmitir agua y aire al subsuelo, es decir, entre más permeable sea, mayor será la infiltración, por lo cual la ecuación se expresa de la siguiente manera:

$$K = (D \div 2) \times \ln (h_1 \div h_2 / 2)$$

Donde:

- $(D \div 2)$ = radio del hoyo o la mitad de su diámetro en metros
- \ln = logaritmo natural
- h_1 y h_2 = dos profundidades consecutivas del agua en metros: h_1 al inicio y h_2 al final del intervalo de tiempo¹
- $(t_2 - t_1)$ = intervalo de tiempo entre dos mediciones consecutivas (segundos)

Como parte de las últimas variables de esta derivada, está el periodo y/o tasa de retorno, el cual puede ser cualquier evento o fenómeno extremo. Los ejemplos más comunes son las lluvias torrenciales, temperaturas extremas, huracanes, tornados, monzones, frentes fríos, granizadas, entre otros, donde el intervalo, duración o número de años, en promedio, se cree que será igual o mayor al último valor menor registrado. Es la frecuencia con la que se presenta un evento. Es preciso decir que el grado de magnitud de un fenómeno extremo está relacionado de forma inversa con su frecuencia de ocurrencia (periodicidad). Las precipitaciones muy intensas ocurren con una frecuencia menor que las moderadas o débiles (Gutiérrez *et al.*, 2011).

Asimismo, el periodo de retorno es uno de los parámetros más significativos a ser tomado en cuenta en el momento de dimensionar una obra

¹ Los valores de h se pueden calcular como las diferencias entre la profundidad total del hoyo (H) y los valores de P sucesivos. Para obtener K en m/s, cuide de expresar todas las mediciones en metros y segundos.

hidráulica destinada a soportar avenidas. Este se define como el intervalo de recurrencia (T), que es el tiempo entre ocurrencias, es decir, el lapso promedio de años entre la ocurrencia de un evento igual o de mayor magnitud. Este periodo se considera como el inverso de la probabilidad del m -ésimo evento de n -registros.

En este sentido, un evento extremo ocurre si una variable aleatoria, es mayor o igual que un cierto valor. Es decir, el periodo de retorno se determina en función de la posición de la variable aleatoria ($P_{\text{máx}}$ o $Q_{\text{máx}}$ en su caso) en una tabla de valores ordenados de mayor a menor, con base en lo siguiente:

$$Tr = (n + 1) / m; P = m / (n + 1); Tr = 1 / P$$

Por lo cual:

- Tr = periodo de retorno (años)
- n = número de años de registro, es el número de orden
- P = probabilidad de ocurrencia de un evento X .

Es importante señalar que el periodo de retorno no es un intervalo fijo de ocurrencia de un evento, sino el promedio de los intervalos de recurrencia. La ecuación anterior y varias de las expresiones básicas de probabilidad permiten hacer las deducciones siguientes:

La probabilidad de que un evento $X \geq x$ ocurra en algún año es:

$$P = 1 / Tr$$

(III) "Dz*" Procesamiento de imágenes de satélite (GOES-16, LANDSAT 8-9-SENTINEL-PLANET)

El procesamiento de las imágenes de satélite tiene que ver con la observación de la Tierra mediante la percepción remota o teledetección, que se define como aquella técnica para adquirir y procesar información obtenida mediante sensores remotos para identificar elementos del paisaje o superficie terrestres con el fin de generar datos en tiempo casi real de la cobertura geoespacial (Chuvieco, 1990).

En este sentido, una de las aplicaciones de la percepción remota es la meteorología la cual se basa en nociones teóricas-metodológicas y matemáticas en un sentido holístico y dialéctico de las ciencias del paisaje, ambientales, geográficas, climáticas, económicas y sociales basados en métodos cartográficos de análisis y sobreposición de capas. Esto se realiza mediante el uso de geotecnologías como los Sistemas de Información Geográfica (GIS), la percepción remota mediante el análisis de teledetección en plataformas satelitales como LANSAT, GOES, SENTINEL MODIS y VIIRS, así como la corroboración en campo de puntos de control con estaciones RTK, sistema de navegación GNSS y vuelos con drones.

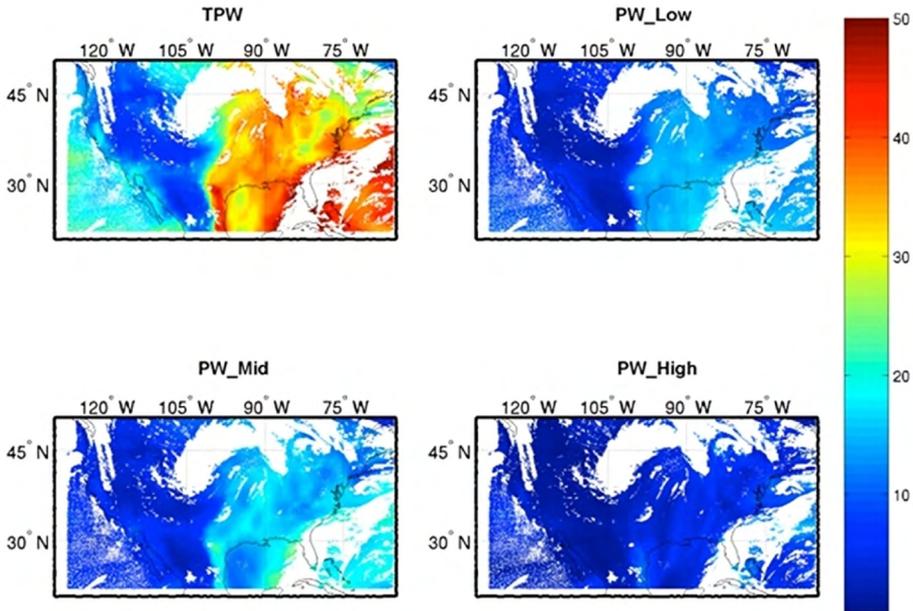
Hoy en día, las plataformas y sensores han incrementado sus productos tanto licenciados como de acceso libre. Tal es el caso de GOES-16, Lansat, Sentinel y Planet. El satélite GOES-16 es parte de una nueva generación de satélites meteorológicos geoestacionarios de la National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA) de la NASA. Estos generan imágenes avanzadas con mayor resolución espacial y más rápida cobertura para lograr pronósticos más precisos, mapas de actividad de rayos al momento y tener una observación mejorada de la actividad solar y las condiciones del tiempo en el espacio (UNAM-LANOT, 2019).

Asimismo, uno de los productos del GOES-16 es el instrumento ABI (Advanced Baseline Imagen), denominado RainRate, el cual permite obtener un valor numérico para la tasa de precipitación en milímetros por hora en el momento en que se realiza la observación con una resolución de 2 km. Esto permitirá realizar pronósticos del flujo de la corriente, inundaciones repentinas y posibles deslizamientos en zonas montañosas o áreas cercanas a las costas (UNAM-LANOT, 2019).

Estos compuestos o productos satelitales contribuyen a generar modelos prospectivos de cómo se puede comportar la lluvia en las próximas horas, lo cual permite al algoritmo obtener datos en tiempo casi real y, sumando con el pronóstico de lluvias de 24 horas se puede tener un estimado de la cantidad de lluvia en “mm” por cada 2 km por píxel (véase figura 4).

De acuerdo con la Ley General de Protección Civil (2012) en su artículo 2 inciso XXIII se define a un fenómeno hidrometeorológico como un agente perturbador que se genera por la acción de los agentes atmosféricos, tales como: ciclones tropicales, lluvias extremas, inundaciones pluviales,

Figura 4. Variables de control de calidad de salida utilizando un caso ABI simulado base "Rainrate"



Fuente: UNAM-LANOT (2019).

fluviales, costeras y lacustres; tormentas de nieve, granizo, polvo y electricidad, heladas, sequías, ondas cálidas y gélidas, y tornados (Cenapred, 2016). Estos tienen diferentes variaciones de incidencia, repetibilidad, magnitud, temporalidad y comportamiento, lo que los vuelve sumamente complejos de estudiar dependiendo de la ubicación geográfica que se este estudiando. Debido a esto, se requiere un catálogo detallado de fenómenos, lo cual facilitará el estudio y la obtención de datos de estas variables.

Por otro parte, como parte de las ultimas variables tenemos la del uso del suelo y vegetación que, de acuerdo con el INEGI (2014), es la cobertura de la tierra y su uso, los cuales son elementos integrantes de los recursos básicos, así como la distribución del uso del suelo agrícola, de la vegetación natural e inducida, además de otros usos como el pecuario, forestal, agrícola, urbano, industrial y rural. En su conjunto, representan una ocupación significativa del territorio, lo cual tiene implicaciones en el monitoreo ambiental, la producción de estadísticas como apoyo a la planeación, la evaluación del cambio climático y la evaluación de los procesos de desertificación, entre otros.

La comprensión temporal de los cambios del territorio, acorde o no al vocacionamiento y las aptitudes territoriales es una variable esencial de análisis. Al analizar estudios de 40 años de los diferentes usos, es posible encontrar zonas de fragilidad, ya sea en las áreas urbanas o rurales, que pueden estar en peligro ante un evento repentino o extremo ocasionado por fenómenos hidrometeorológico. Con el uso de plataformas como la de INEGI y satelitales, se puede generar información histórica y actual para medir los cambios de ocupación del territorio que lo ponen en situación de desventaja, exposición o vulnerabilidad.

(IV) “ Δ ” Correlación: Determinación de zonas inundables

Para poder hacer una correspondencia de los datos obtenidos es necesario conocer las relaciones entre los conjuntos de ecuaciones de cada derivada, por lo cual la teoría de conjunto contribuye a sintetizar la información en dominios y/o valores de los componentes de una ecuación y su proporcionalidad (Ocaña y Pérez, 2011).

Debido a esto, se optó por hacer una correlación entre las derivadas de los algoritmos mediante la parametrización de un universo de 1 a 4, el cual sienta sus bases en los atributos de agente, procesos y peso asignado. Para ello se presenta la tabla 1, adaptada de Canchola (2017).

Tabla 1. Valores y ponderaciones para la asignación de parámetros en el algoritmo

<i>Agente (Ag)-Variables-Naturales</i>		<i>Porcentaje ponderado para cada variable en representatividad territorial (unidad geohidrológica) (Ag)-Variables-Antropogenéticas</i>	
<i>Procesos (Pc's)</i>	<i>Peso Asignado (wh)</i>	<i>Proporcionalidad (%)</i>	<i>Peso Asignado (wh)</i>
Muy intensos, dinámicos y pronunciados	4	76-100	4
Intensos y dinámicos	3	51-75	3
Moderados débiles	2	26-50	2
Insipientes, difusos, irrepetibles	1	0-25	1

Fuente: Elaboración propia (2023).

Cabe mencionar que la obtención de los valores de proceso es la conjunción del análisis documental, cartográfico, trabajo de campo,² y procesamiento de la información en sistemas de información geográfica (SIG/GIS), así como el procesamiento de imágenes de satélite para la generación de compuestos. Todo ello se basa en modelos procedimentales axionómicos y correlacionales tanto cualitativos y cuantitativos (Canchola, 2017, 2021), donde se tiene lo siguiente:

$$D\Delta \sum = Dx) ; Dy(; Dz^* / \sum n^3$$

Resultado de la Correlación (R) =

1. Muy bajo a bajo
2. Medio
3. Alto
4. Muy alto a extremo

Donde:

- Dx) = Análisis Morfodinámico
- $Dy($ = Zonificación: Unidades geohidrológica
- Dz^* = Procesamiento de imágenes de satélite

Resultados

El objetivo planteado es determinar el pronóstico de susceptibilidad de inundaciones a partir de cuatro funciones fundamentales para llevar a cabo un análisis dinámico territorial que nos permita conocer las condiciones reales presentes de un sistema. A partir de las etapas metodológicas se pudo desarrollarel algoritmo en su “versión 1 (v1.0)” que procuró hacer una abstracción de un sistema real para simplificar las variables y/o componentes que se observaron, considerados representativos (Wainwright y Mulligan, 2004).

² Formatos disponibles en <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/66175>

Asimismo, se hizo una primer prueba matemática-geoespacial del algoritmo, en unidades geográficas territoriales o “microcuencas” de México y unidades hidrológicas de Estados Unidos con el fin de realizar y desarrollar análisis espacio-temporales en función de su naturaleza para realizar un análisis territorial.

Los principales productos cartográficos generados fueron el modelo digital de elevación que se generó a partir del procesamiento de imágenes BIL de alta resolución espacial (5 m), para el caso de México, y una resolución que va des de los 30-70 centímetros hasta los 5 metros en el caso de Estados Unidos. Con ello, se generó un *hildshade* o mapa de sombreado del relieve y un mapa de pendientes, los cuales sirvieron de base para analizar las condiciones morfológicas del terreno.

Asimismo, se infirieron los órdenes de drenaje a partir del MDT en software SIG. Estos primeros datos sirvieron de base de análisis para flujos, dirección y ordenes de drenaje. De igual forma, con el apoyo de los mapas de pendientes, geología, tipo de suelos y uso del suelo, se hizo una correlación de variables tocon base en el trabajo de campo realizado en ambos territorios.

De esta manera, se desarrollaron mapas compuesto de la energía del relieve y la densidad de disección los cuales ayudaron a comprender las diferencias altitudinales, así como la saturación de causes mediante una malla de análisis geoespacial de $1 \text{ km}^2 \times 1 \text{ km}^2$, la cual obtuvo datos sobresalientes de procesos. Esto sirvió de base para el cálculo de parámetros morfométricos y para desarrollar los índices que permiten determinar la estructura morfodinámica de las pruebas piloto del algoritmo:

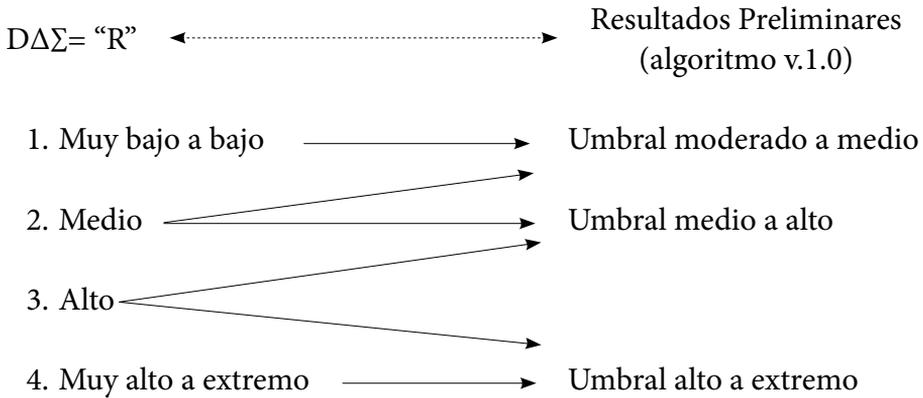
Las funciones seleccionadas por parte de las variables del algoritmo fueron las siguientes:

- I F_x = Morfodinámica del terreno
- II F_y = Cuencas y ríos
- III F_z = Uso del suelo y vegetación
- IV F_d = Correlaciones

Donde:

- $Df = (Fx + Fy + Fz) / n^{33}$

Por último, se obtuvieron mapas con los umbrales de susceptibilidad de inundación con base en el procesamiento matemático, y el trabajo de campo. Esto permitió una correlación-axiomática para obtener resultados preliminares:



A continuación, se presenta la cartografía de la primera prueba del modelo, donde se comparan los resultados de los territorios muestrales seleccionados en México y Estados Unidos. La tabla 2 muestra las correspondencias interpretativas por mapa, con 9 mapas temáticos y el mapa que se presenta como a continuación:

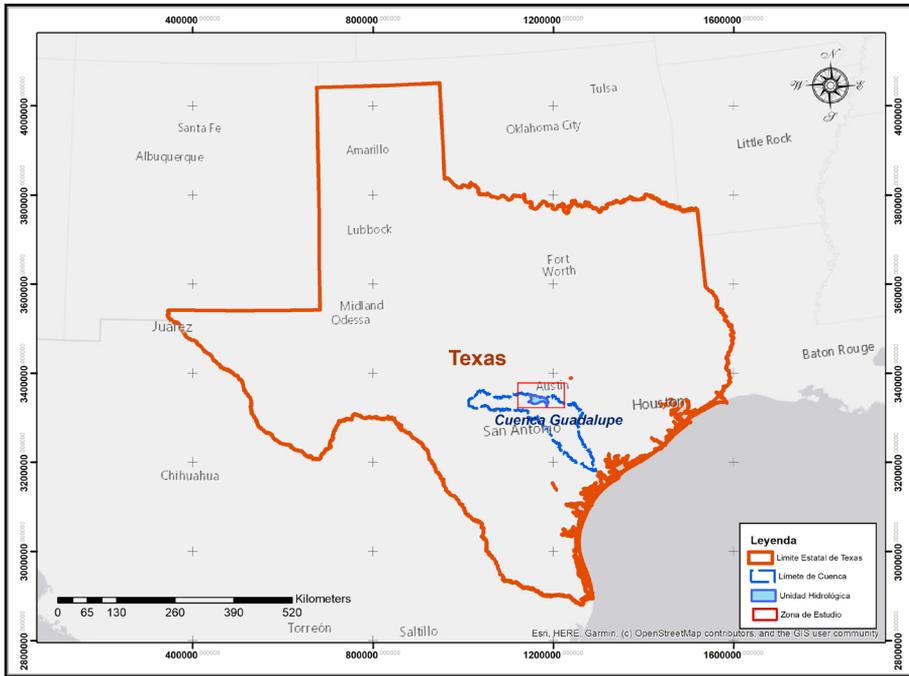
³ Estas funciones se desglosan en ecuaciones matemáticas del algoritmo.

Tabla 2. *Correspondencias interpretativas por tipo de mapa*

No.	Nombre del mapa	Descripción del mapa
1	Ubicación	Muestra el lugar georreferenciado de los estudios, delimitando las cuencas y microcuencas.
2	Uso del suelo y vegetación	Tipificación de los distintos usos en los territorios, que contribuyo a entender las actividades antro-po-naturales.
3	Modelo digital de elevación	Proporciona una perspectiva de la morfología del relieve mediante sombreados.
4	Pendientes	Representa la configuración del relieve en cuanto a la inclinación en grados de las geofomas para comprender los procesos gravitacionales en masa y fluviales.
5	Geología	Delimitación de las diferentes tipologías de rocas, contactos litológicos, fallas, fracturas, las cuales permitieron comprender los procesos endógenos para la conformación del relieve terrestre.
6	Tipo de suelo	Presenta las características físicas, químicas y biológicas de los diferentes tipos de suelo de acuerdo con su origen y la morfoedafogénesis.
7	Energía del relieve	El mapa de energía del relieve nos permite comprender la dinámica en relación con la diferencia altitudinal en un área territorial, lo cual ayudó a comprender el funcionamiento de las fuerzas endógenas y los procesos estructurales entre las cotas altimétricas con una media de pixel de $1,000 \times 1,000$.
8	Densidad de disección	El mapa de densidad de disección presenta la relación de una unidad de medida de $1,000 \times 1,000$ metros por pixel, y con ello permite conocer el número de saturación de ríos, la longitud de los mismos en cada espacio y conocer la mayor dinámica fluvial espacial por tipo de causas. Es un mapa fundamental para determinar el umbral de inundaciones.
9	Red de drenaje	Tipificación de los cauces mediante la diferenciación de tres niveles de procesos de los cauces: erosivos, acumulativos y estructurales, mediante el método de órdenes de drenaje Strahler.
10	Umbrales de inundación	El mapa de umbrales de inundación es el resultado de procesos físico-geográficos-complejos, donde se representa la correlación geosistémica de elementos naturales, como pendiente y flujos de dirección de causas que se ejercen en el territorio, los cuales se combinan con una serie de eventos, tanto naturales como extremos —como la inserción de un meteoro, ya sea en temporada de invierno o verano, como huracanes, frentes fríos, lluvias invernales, tormentas torrenciales, tornados, entre otros—, mediante el desarrollo de las ecuaciones físico-matemáticas dispuestas en el algoritmo.

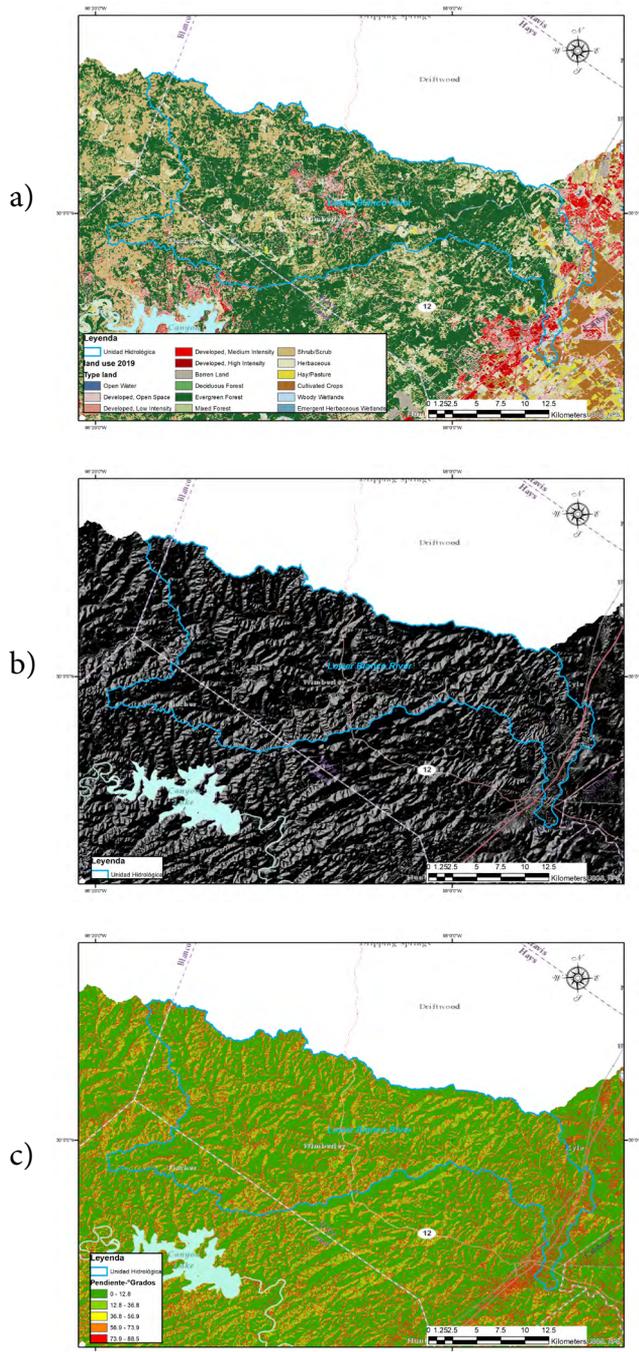
Fuente: Elaboración propia con base en fundamentos de Canchola *et al.* (2017).

Figura 5. Zonas de muestrales de aplicación del algoritmo v. 1.0: Comparativos Texas (EE. UU.) - Estado de México (México)



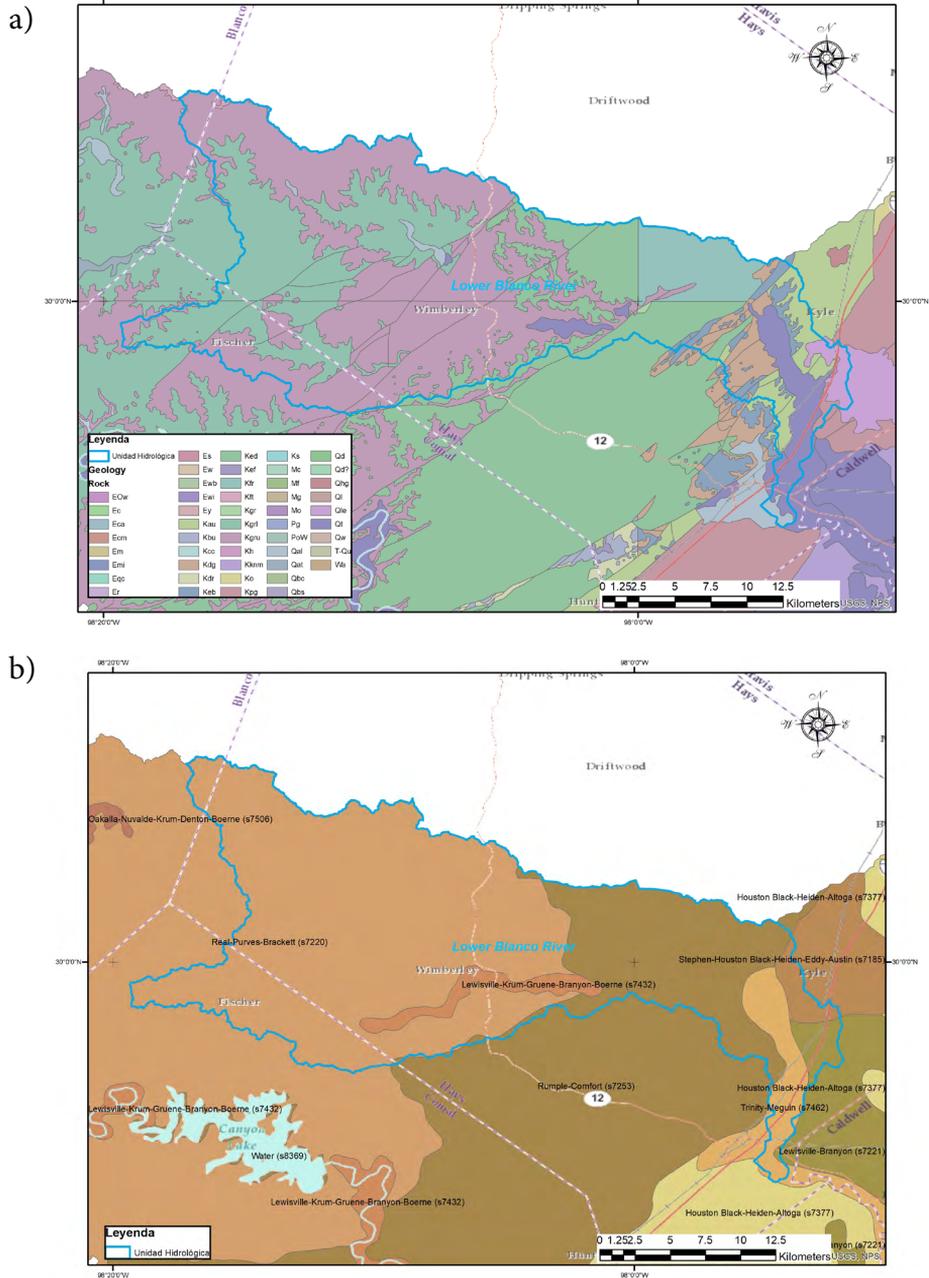
Fuente: Elaboración propia SIG/GIS (2023).

Figura 6. Mapas temáticos de la cuenca de Guadalupe - Región hidrológica de río Blanco: (a) Uso del suelo y vegetación; (b) Modelo digital de elevación, y (c) Pendientes



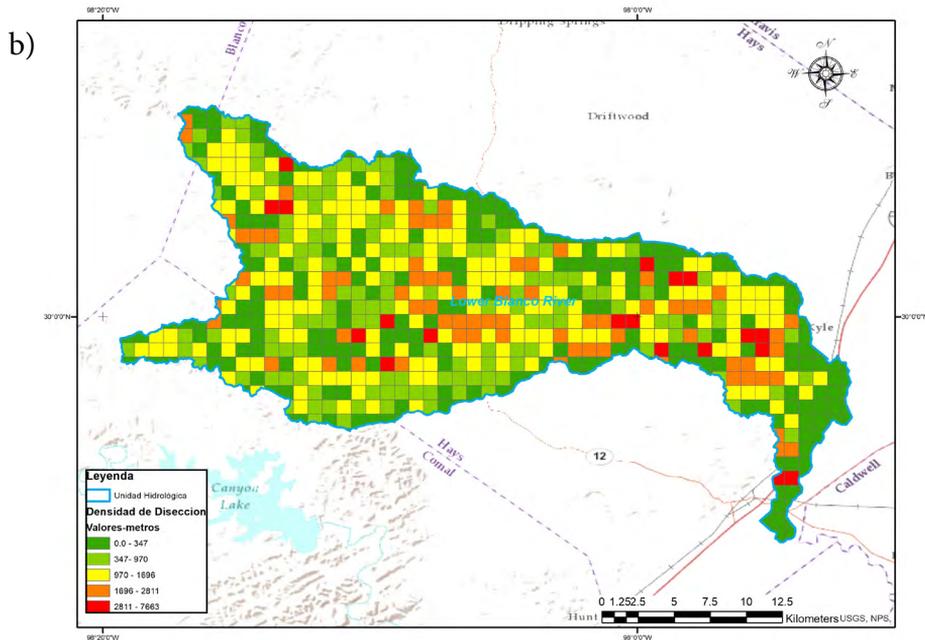
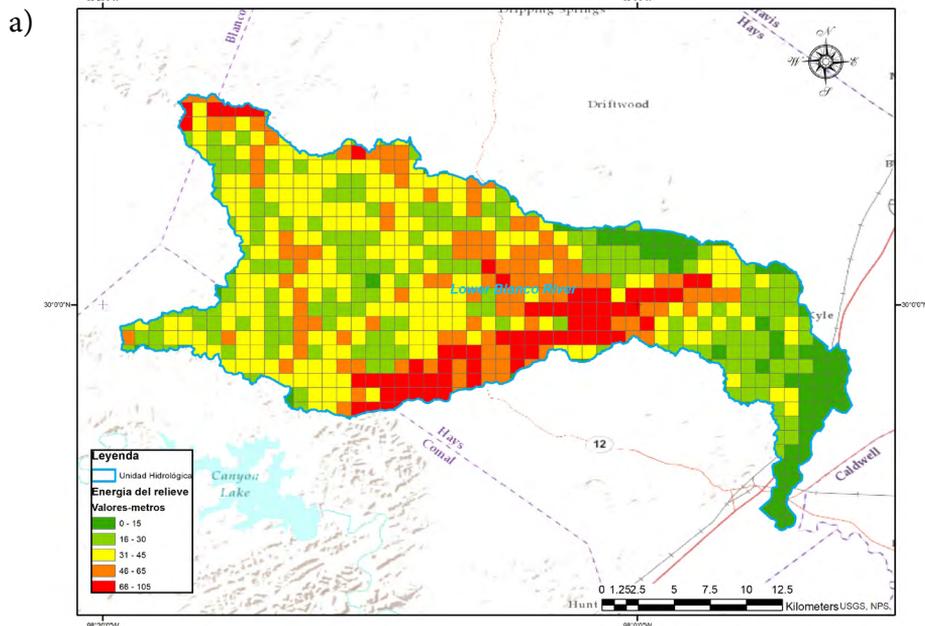
Fuente: Elaboración propia SIG/GIS (2023).

Figura 7. Mapas temáticos de la cuenca de Guadalupe - Región hidrológica de río Blanco: (a) Geología y (b) Tipo de Suelos



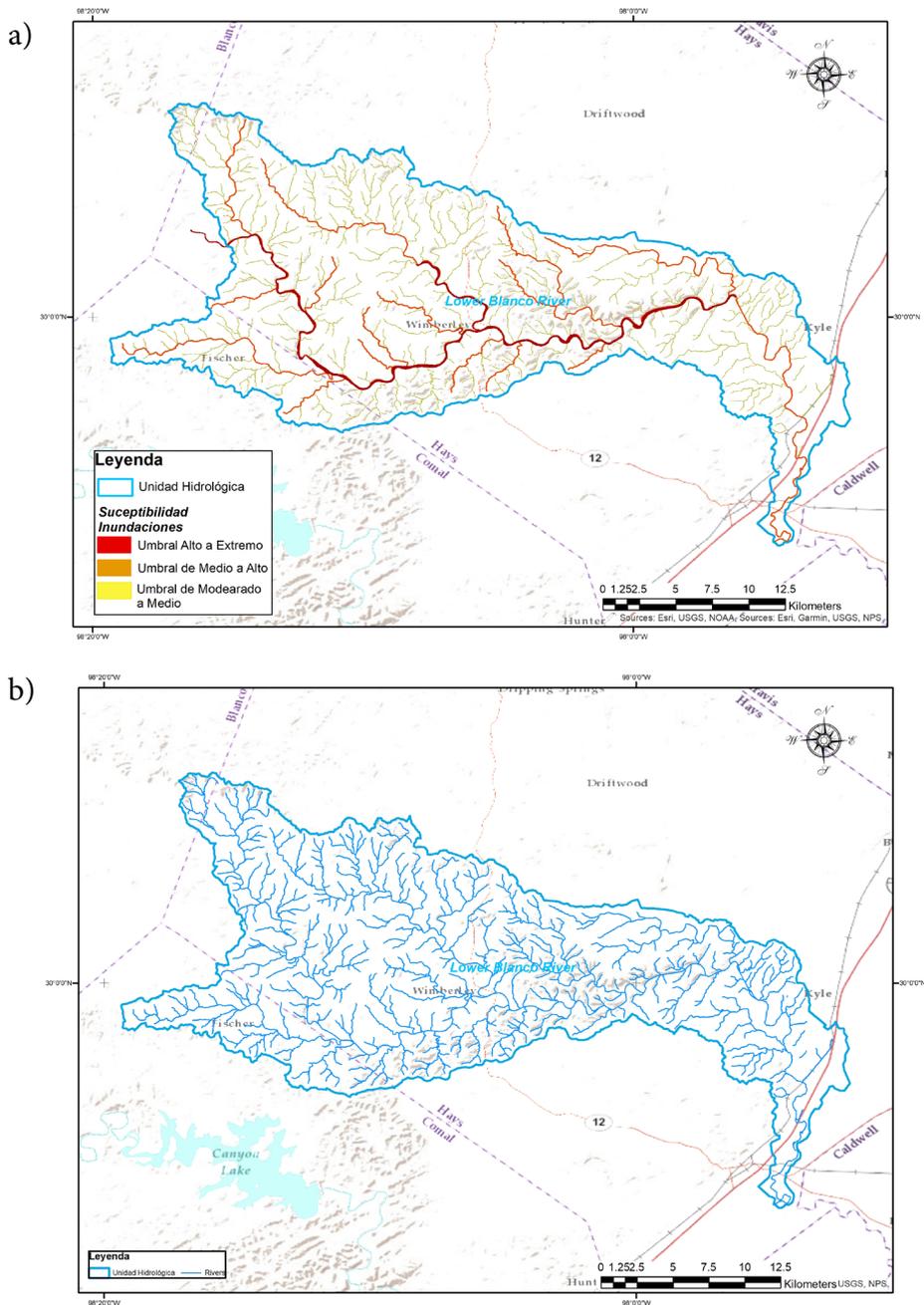
Fuente: Elaboración propia SIG/GIS (2023).

Figura 8. Mapas temáticos de la cuenca de Guadalupe - Región hidrológica de río Blanco: (a) Energía del relieve y (b) Densidad de disección



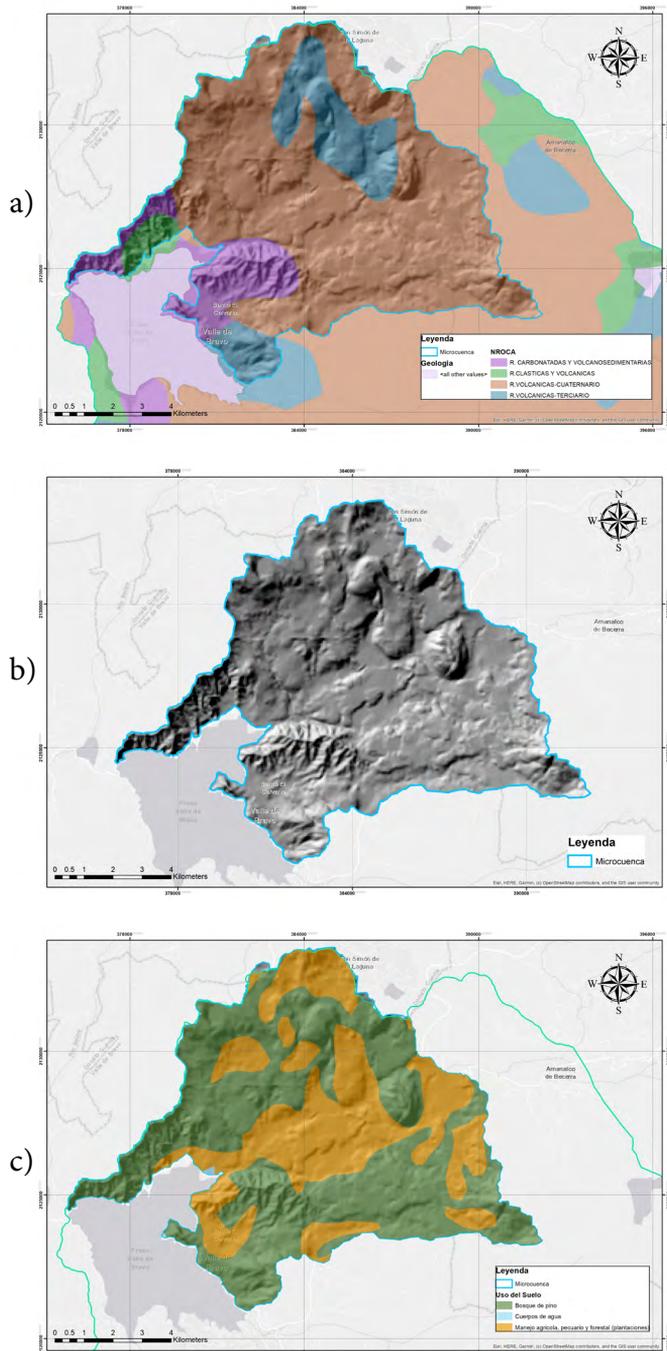
Fuente: Elaboración propia SIG/GIS (2023).

Figura 9. Mapas temáticos de la cuenca de Guadalupe - Región hidrológica de río Blanco:
 (a) Umbrales de inundación y (b) Red de drenaje



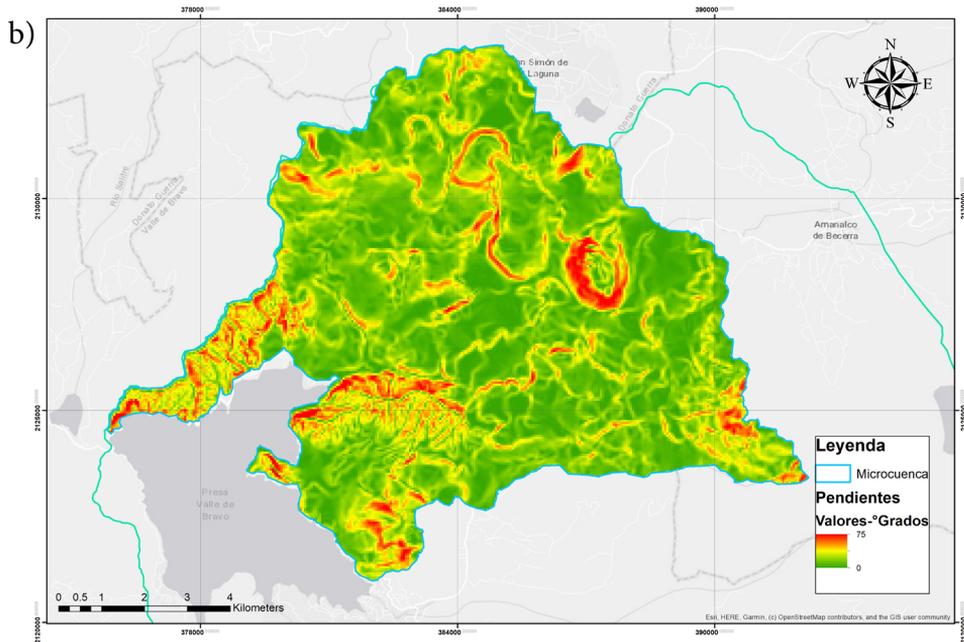
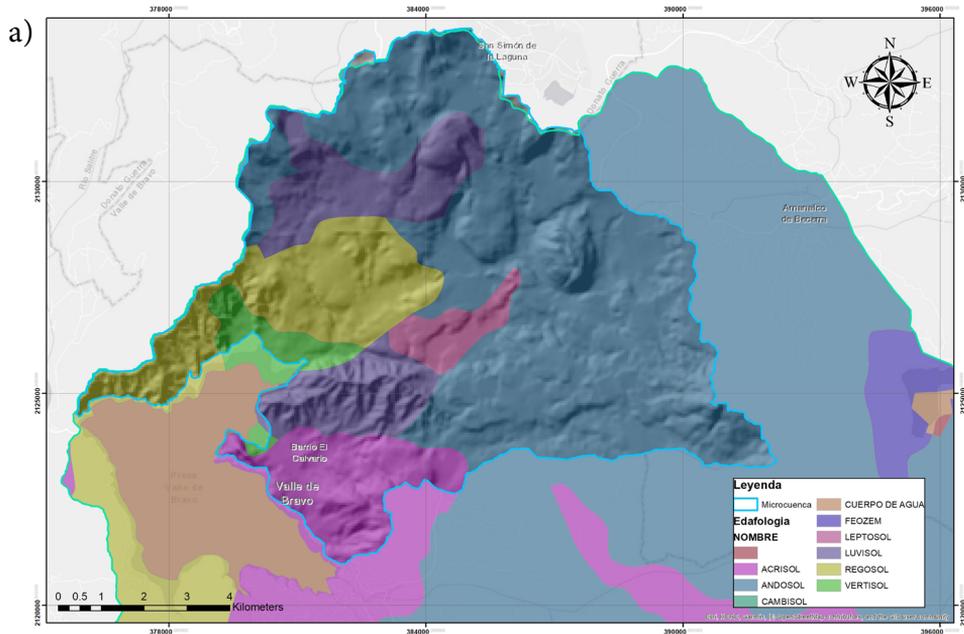
Fuente: Elaboración propia SIG/GIS (2023).

Figura 10. Mapas temáticos de la cuenca del río Cutzamala, subcuenca San Nicolás, Estado de México: (a) Geológico, (b) Modelo digital de elevación y (c) Uso del suelo y vegetación



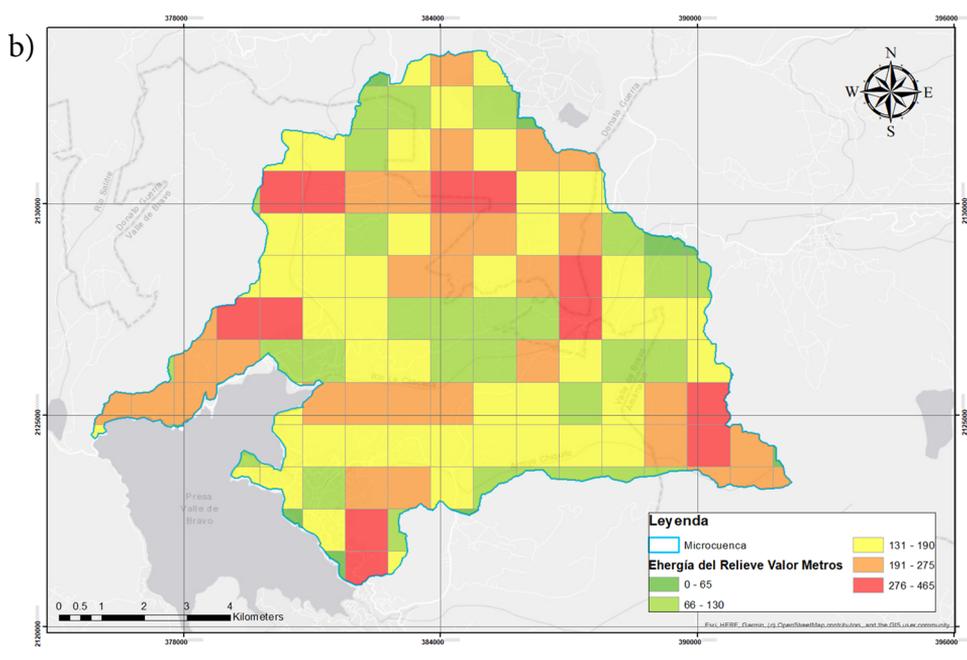
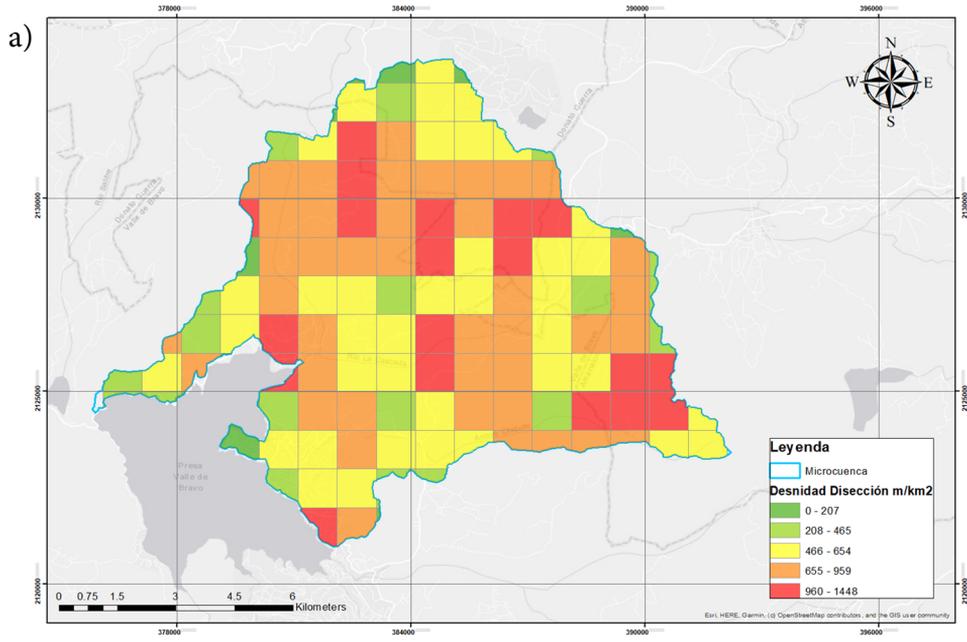
Fuente: Elaboración propia SIG/GIS (2023).

Figura 11. Mapas temáticos de la cuenca del río Cutzamala, subcuenca San Nicolás, Estado de México: (a) Tipo de suelos y (b) Pendientes



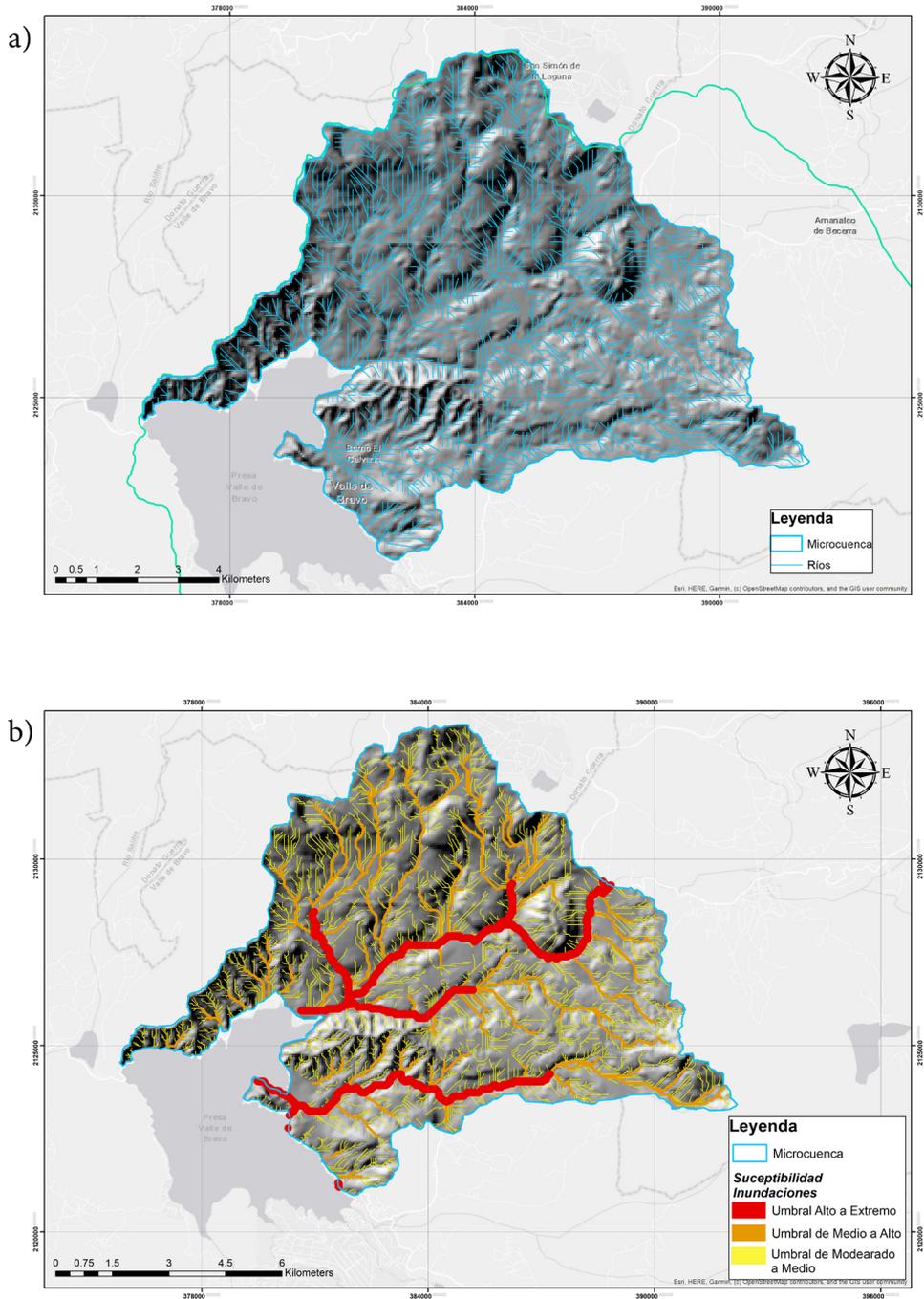
Fuente: Elaboración propia SIG/GIS (2023).

Figura 12. Mapas temáticos de la cuenca del río Cutzamala, subcuenca San Nicolás, Estado de México: (a) Densidad de disección y (b) Energía del relieve



Fuente: Elaboración propia SIG/GIS (2023).

Figura 13. Mapas temáticos de la cuenca del río Cutzamala, subcuenca San Nicolás, Estado de México: (a) Red de drenaje y (b) Umbrales de inundación



Conclusiones

Para poder probar el algoritmo en más de un territorio y aplicarlo en su versión 2.0, se buscará la incorporación de proyectos estratégicos nacionales mediante el impulso de laboratorios nacionales de investigación y subvenciones. También es necesario continuar con el trabajo colegiado para poder desarrollar una red de monitoreo en tiempo casi real cuando se presente un evento extremo.

Se resalta la pertinencia de la inclusión de otras ciencias afines como la ingeniería, hidráulica, geofísica, realidad virtual, así como incluir otros enfoques y métodos para el estudio de inundaciones para tener escenarios más coherentes con la realidad. De igual manera, se necesitan estudios más detallados y multidiversos, como generar tasas de retorno a 1 000 años, así como un catálogo tipificado de amenazas por localidad.

Se reconoce que ante la incidencia de eventos inéditos, atípicos y extremos, la captación de agua puede ser superior a la media anual en 24, 48 y 72 horas. Mediante varios cálculos se puede obtener un espectro más amplio de los posibles umbrales de inundaciones.

Los planteamientos matemáticos y axiomáticos para el estudio de la geodinámica espacial, y en este caso fluvial, es un método procedimental sustentado con datos duros y ecuaciones matemáticas para desarrollar nuevas teorías, métodos y modelos del comportamiento del agua en el planeta. Una perspectiva holística y dialéctica científica son necesarias para la modelación de eventos hidrológicos que van de normales a extremos.

Por último, los postulados para el estudio de inundaciones buscan obtener resultados prácticos de una dinámica territorial fluvial, donde el objeto será siempre salvaguardar las vidas humanas y sus actividades cotidianas. Para esto se necesitan medidas estructurales y no estructurales que ayuden a una toma de decisiones más coherente con la realidad, y la implementación de políticas públicas que contribuyan a generar una cultura social más resiliente.

Reflexiones

La propuesta metodológica mediante la utilización del algoritmo se basa en nociones teóricas metodológicas que aportan, en primera instancia, a la conceptualización de las inundaciones en el espacio. Esto se aplica en el primer eslabón del estudio de los riesgos como la identificación y caracterización por tipo de amenaza. En este caso se busca aplicar a los fenómenos hidrometeorológicos.

Este algoritmo se encuentra en su fase de prueba y calibración para poder obtener de manera más puntual y automatizada los cálculos geoespaciales resultado de irregularidades pluviométricas y eventos extremos que generan la saturación de los causes que se desbordan y provocan inundaciones.

Para finalizar, este planteamiento algorítmico puede ser tomado en cuenta para el caso de México como una propuesta para la determinación de la peligrosidad por inundaciones en una guía o manual. En lo sucesivo se buscará desarrollar un código abierto para la geoespacialización automatizada que pueda generar mapas de salida con base en los atributos específicos por zonas de estudio específicos.

Agradecimientos

- Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnología (Conahcyt).
- Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex).
- Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex).
- Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra (Lanot), Unidad Facultad de Geografía, UAEMex.
- Cuerpo académico “Geotecnologías, ambiente y sociedades resilientes”, Facultad de Geografía, UAEMex.
- Texas State University (TXSU).
- Department of Geography and Environmental Studies, Texas State University.

- Texas Center Geographic Information Science, Texas State University.
- Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo.
- Observatorio de Resiliencia ante el Riesgo por Inundaciones en Quintana Roo.

Bibliografía

- Argente, J. (2014). *Estudio del comportamiento hídrico de una cuenca hidrológica en Angola* [Trabajo de fin de grado, Ingeniería en Geomática y Topografía]. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Arroyo, L. (2012). Esbozo histórico de la geomorfología y su papel como ciencia aplicada en el contexto de los peligros naturales y los planes reguladores. *Revista Geográfica de América Central*, 1(48), 15-34.
- Aparicio-Mijares, F. J. (2004). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Limusa.
- Bocco, G., y Palacio, J. L. (2012). La contribución de la investigación geomorfológica en la cuestión ambiental en México. *Boletín del Instituto de Geografía*, (83), 6-27.
- Canchola, Y. (2017). *Propuesta metodológica para el análisis y valoración geocológica del paisaje* [Tesis doctoral]. Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México.
- . (2021). *Antología comentada de un manual para trabajo de campo en Geografía Ambiental*. Universidad de Quintana Roo / Conacyt. https://dcit.uqroo.mx/DocGeografia/Libros/LIBRO%20CANCHOLA_%20junio%202021_ef.pdf
- Canchola, Y. et al. (2017). La geomorfología en el estudio del paisaje: Nociones teóricas-conceptuales de un binomio complementario e Indisoluble. *Revista Geográfica del Sur*, 7(10), 29-41.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred), Subdirección de Riesgos Hidrometeorológicos. (2016). *Descripción de los fenómenos hidrometeorológicos*. Cenapred. https://www.cenapred.unam.mx/es/documentosWeb/Enaproc/fenomenos_2016.pdf
- . Subdirección de Estudios Económicos y Sociales. (2019). *Impacto socioeconómico de los principales desastres* (Resumen ejecutivo). Cenapred. <http://www.cenapred.unam.mx/PublicacionesWebGobMX/>
- Chuvieco, E. (1990). *Fundamentos de teledetección* (2ª ed.). Rialps.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2018). *Estadísticas del agua en México*. Semarnat. http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf
- Conservation Biology Institute. (2024). *Data Basin*. <https://databasin.org/maps/new/#-datasets=0720eb83572e4c47a8004fefc74b33a5>
- Cortés, H. et al. (1998). Un recorrido a través del paisaje. *Cuadernos de Geografía*, 2(1-2).
- Council of Europe, Landscape Convention. (2024). <http://www.coe.int/t/dg4/culture-heritage/heritage/landscape/versionsconvention/spanish.pdf>

- Cuenca Amanalco-Valle de Bravo. (2023). <http://cuencaamanalcovalle.org/>
EM-DAT (The Emergency Events Database), Université Catholique de Louvain (UCL),
Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), Guha, S. (s/f). www.emdat.be
- Espinosa, L. et al. (2011). *Modelos teóricos de la geomorfología aplicada* (Aula y Ambiente, 10).
- FAO. (2016). *Permeabilidad del suelo*. FAO. https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm
- F. G., L. (2019, junio). El planeta desde la UAEM. *Universitaria*, 2(15), 32-33. <https://revistauniversitaria.uaemex.mx/article/view/12766>
- GOES Image Viewer. (2023). <https://www.star.nesdis.noaa.gov/goes/index.php>
- Guadalupe Regional Flood Control Group. (2024). *Resources*. <http://www.guadalupergpg.org/Resources.aspx>
- Huggett, J. (2007). *Fundamentals of geomorphology* (2a ed.).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2014). *Guía para la interpretación de cartografía uso del suelo y vegetación* (Escala 1:250 000: Serie V). México.
- ITC, Faculty Geo-Information Science and Earth Observation. (2023). <http://www.itc.nl>
- Mateo, J. et al. (2012). Paisaje y geosistema: Apuntes para una discusión teórica. *Geonorte*, (4), 249-260.
- Méndez, J. (2016). Análisis cuantitativo del relieve en cuencas de drenaje de la vertiente norte del macizo "El Ávila" (estado Vargas, Venezuela) y su significado hidrogeomorfológico. *Boletín del Instituto de Geografía*, 25-42.
- Mesa, O. (2018), Cuatro modelos de redes de drenaje. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 42(165). <https://doi.org/10.18257/raccefyn.641>
- Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra (LANOT), Unidad Facultad de Geografía UAEMex. (2023). <http://facgeografia.uaemex.mx/LANOT.php>
- Landsat Science. (2023). <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/>
- Lugo, J. (1988). *Elementos de geomorfología aplicada: Métodos cartográficos*. UNAM-Instituto de Geografía.
- Lugo, J. H. (s/f). *La geomorfología moderna y su importancia en los estudios del relieve mexicano*. UNAM-Instituto de Geografía.
- Ocaña A., y Pérez M. (2011). *Matemáticas básicas*. Universidad de Bogotá / Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Romero, A., y Muñoz, J. (2002). *Concepción moderna del paisaje en el ámbito de la geografía*.
- Ruiz, E., y Martínez M. (2015). *Hidrología aplicada* (Tema 4: Infiltración y humedad del suelo). Universidad de País Vasco. <https://ocw.ehu.eus/mod/resource/view.php?id=36483>
- Te Chow, V., Maidment, D. R., y Mays, L. W. (1994). *Hidrología aplicada*. Nomos.
- UNAM, Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra (LANOT). (2019). *Primer taller introductorio de imágenes de satélite GOES-16*.
- UNAM, Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra (LANOT). (2024). https://www.lanot.unam.mx/recursos_en.html

- Unesco. (2016). *Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo 2016: Agua y empleo*. WWAP.
- U.S. Department of Agriculture (USDA). (2023). *Geospatial data gateway*. <https://gdg.sc.gov.usda.gov/>
- . Geographical Survey (USGS). (2024a). *All data*. <https://www.usgs.gov/products/data/all-data>
- . (2024b). *USGS 3D elevation program (3DEP) datasets from the national map*. <https://www.sciencebase.gov/catalog/item/4f70a58ce4b058caae3f8ddb>
- Sala, M. (1984). *Geomorfología actual: Guía conceptual, temática y bibliográfica*.
- Sentinel Online. (2023). <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/home>
- Texas Geographic Information Office. (2023, septiembre). *Texas Water Development Board (TWDB)*. <https://data.tnris.org/>
- Texas Parks and Wildlife Department (TPWD). (2023, septiembre). *Landescape Ecology Program*. <https://tpwd.texas.gov/landwater/land/programs/landscape-ecology/team/>
- Texas Water Development Board (TSDB). (2023). *Floodplain quilt input layer viewer*. <https://twdb.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=58cb-4d71256440e4ad2599d016636e69>
- Wainwright, J. y Mulligan, M. (Eds.). (2004). *Environmental modelling: Finding simplicity in complexity* (pp. 5-68; 389-393). John Wiley & Sons.

III. Amenaza por inundación pluvial en una microcuenca urbana de Managua, Nicaragua

MARJORIE ISABEL TORUÑO ÁLVAREZ*
INGRID ELIZABETH ÚBEDA TRUJILLO**

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.218.03>

Resumen

El capítulo tiene como propósito llevar a cabo un análisis de la amenaza por inundaciones pluviales en una microcuenca de la ciudad de Managua, específicamente en un tramo de cauce o canal pluvial de flujo no permanente que atraviesa el Recinto Universitario Rubén Darío (RURD) de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua). Esta investigación se desarrolla en dos etapas: la primera es un análisis estadístico del régimen de precipitaciones de más de 40 años con el fin de determinar los caudales máximos para la zona. La segunda parte, trata de la simulación de la amenaza por inundación en un canal de drenaje pluvial con base en los caudales máximos determinados. Para ello se utiliza la guía propuesta por Werren y Lasri en 2014. El resultado es un mapa de amenaza por Inundación que aporta a la gestión territorial, ya que propone zonas de restricción, regulación y sensibilización para la ocupación del territorio.

Palabras clave: *Amenaza, inundación, simulación, gestión, riesgos, territorial.*

* Maestra en Gestión Integral del Riesgo de Desastres. Profesora-investigadora de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN), Managua, Nicaragua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5230-0134>

** Maestra en Gestión Ambiental. Profesora-investigadora de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN), Managua, Nicaragua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1349-4682>

Introducción

A través de la historia se ha visto que los fenómenos naturales han causado grandes impactos negativos a la humanidad, entre ellos, las inundaciones han sido uno de los más destructivos. Para el año 2019, se reportó como uno de los cinco principales riesgos mundiales en términos de probabilidad, en el que los eventos meteorológicos extremos están en el primer lugar (World Economic Forum, 2019). Desde el punto de vista de impacto estos ocupan el tercer lugar y el segundo lugar en el fracaso de la mitigación del cambio climático y la adaptación a este.

Cada año docenas de países y millones de personas alrededor del mundo son afectadas por las inundaciones. Estas representan uno de los riesgos naturales que más afectan a la población mundial (Rentschler y Salhab, 2020) y son la catástrofe que trae más daños económicos y pérdidas humanas en Latinoamérica. El informe sobre El costo humano de los desastres presentado por el Centro de Investigaciones sobre la Epidemiología de los Desastres (CRED), reportó que los desastres provocados por inundaciones han aumentado en los últimos 20 años (2000-2019) en un 44%. Esto trajo afectación a 1 650 millones de personas a nivel mundial, la cifra más alta para cualquier tipo de desastre (UNDRR y CRED, 2020).

Para la región central y norte del continente americano, el informe de los servicios climáticos en el reporte dedicado al agua de la Organización Meteorológica Mundial, las inundaciones representaron el 31% de los desastres relacionados con el tiempo, el agua y el clima, el 16% de las muertes y el 9% de las pérdidas económicas. Lo que trajo consigo la muerte de casi 12 000 personas y contribuyeron con pérdidas económicas de 150 000 millones de dólares. Así mismo, el reporte sobre el Cambio Climático en 2023 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), el impacto de las inundaciones en sistemas humanos, es decir, ciudades, asentamientos e infraestructuras a nivel global es elevado. Según este reporte para la región centroamericana y suramericana los datos indican un nivel medio (IPCC, 2023).

En Nicaragua, durante la época de lluvia, desde mayo a noviembre, ocurren muchas inundaciones debido a las fuertes lluvias que son producidas

por 3 principales razones: lluvias intensas en corto tiempo, tormentas tropicales y huracanes. Esto conduce al desbordamiento de ríos, cauces y deslizamientos de tierra.

Entre los huracanes con más afectaciones se puede mencionar el huracán *Juana* en 1988 y las ocurridas con el huracán *Mitch* en 1998, de acuerdo con los registros del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) (2004). Entre los más recientemente huracanes *Eta* e *Iota* en 2020 y tormenta *Julia* en 2022.

En Managua, las inundaciones han ocurrido desde hace muchos años, en parte por su geomorfología en combinación con el efecto del cambio y la variabilidad climática sumado a la actividad humana relacionada con su desarrollo y crecimiento urbano. Las inundaciones pluviales representan una amenaza por la recurrencia, más que por el número de personas afectadas (INETER, 2010). Este tipo de inundaciones durante la época lluvia, trae consigo el desbordamiento de cauces con precipitaciones de mediana intensidad, inclusive. Por lo que es considerada un factor de riesgo para las familias que habitan en los barrios de la ciudad.

Esto genera una gran afectación sobre todo a los barrios que están asentados en la parte más baja de la ciudad a la orilla del lago Xolotlán. Con elevaciones por debajo de los 50 metros sobre el nivel del mar (msnm), los hace enfrentarse a grandes volúmenes de agua de lluvia que circula por los sistemas de drenajes existentes, muchos en deterioro o con insuficiente capacidad para encausarlos. Jha *et al.* (2012) menciona que como medidas de mitigación se han instalado sistemas de micro represas para tratar de disminuir la cantidad de desechos que baja desde la parte alta; sin embargo, la problemática continúa. El 28 de septiembre de 2017, se registró una inundación en la ciudad de Managua, causada por precipitaciones más intensas y de corta duración de aproximadamente 40 minutos con 100 mm, a lo cual se sumó la incapacidad del sistema de drenaje en canalizar el volumen de lluvia en tan poco tiempo (Moncada y Tórrez, 2017). Esto dejó una afectación en varias partes de la ciudad de por al menos tres horas en el sistema de transporte, viviendas y hospitales inclusive.

Para el estudio de las inundaciones en Nicaragua se diseñó una guía metodológica propuesta por INETER y la Agencia de Cooperación Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). El objetivo de esta guía es

estandarizar criterios y simbología para el proceso de elaboración de Mapas de Amenaza por Inundación que fue construida con base en la revisión de diferentes metodologías utilizadas a nivel nacional e internacional (INETER y COSUDE, 2005). El enfoque de ésta son las inundaciones fluviales a escala 1:50,000, 1:10,000 y 1:5000. Sin embargo, el estudio de la amenaza por inundaciones pluviales en contextos urbanos no está contemplado.

Las inundaciones pluviales se producen por la acumulación de agua de lluvia en un determinado lugar o área geográfica sin que ese fenómeno coincida necesariamente con el desbordamiento de un cauce de río (fluvial). Este tipo de inundación se genera tras un régimen de precipitaciones intensas o persistentes, entendido como la concentración de un elevado volumen de lluvia en un intervalo de tiempo muy breve o por la incidencia de una precipitación moderada y persistente durante un amplio periodo de tiempo sobre un suelo poco permeable (INETER y COSUDE, 2005). Reconociendo el vacío de herramientas para analizar este tipo de fenómenos se propone esta investigación como aporte a la gestión de riesgos de desastres (GRD) para la ciudad de Managua.

La GRD es un proceso continuo, sistémico y sistemático. En este se distinguen 3 grandes etapas o momentos de actuación: Antes, Durante y Después. Estas etapas, se subdividen en 8 categorías: 1) Identificación de los Riesgos, 2) Previsión, 3) Prevención, 4) Mitigación, 5) Preparación, 6) Auxilio, 7) Recuperación y 8) Reconstrucción, según la Coordinación Nacional de Protección Civil de México (2016). Bajo esta concepción este trabajo se ubica en la etapa del Antes en la categoría de Identificación de los factores de Riesgos.

También se alinea al marco internacional, regional y nacional para la GRD. El Marco de Sendai (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres [UNDRR], 2015) y a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en especial el ODS 11 que sugiere “Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles”.

A nivel regional se articula con el eje número 3: “Gestión del Riesgo de Desastres y su relación con el cambio climático” de la Política Centroamericana de Gestión Integral de Riesgos de Desastres CEPREDENAC (2017). Y a nivel nacional se alinea con el Plan Nacional de Lucha contra la Pobreza y Desarrollo Humano (PNDLP-DH) para 2022-2026 promovido por el

Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional (GRUN) de Nicaragua en sus lineamientos número 10: “Ciudades, barrios y comarcas inclusivas, saludables, creativas, seguras, resilientes y sostenibles; y el número 11: “Medidas para mitigar los impactos de la variabilidad climática y el cambio climático” (GRUN-Nicaragua, 2021).

Además, en Nicaragua, está constituido por la Ley No. 337 (2000), Ley Creadora del Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres (Sinapred). A través de este sistema se integran los diferentes niveles territoriales; nacional, departamental, municipal, comunitario, familia e individuo. Lo que se ha convertido en una fortaleza para todo el país, ya que se pueden gestionar los factores de riesgos en todos los niveles. Este sistema también articula diferentes comisiones intersectoriales en el que las universidades forman parte de ellas en dependencia del ámbito de acción de cada área del conocimiento. En complemento a esta ley se han creado un marco legal y regulatorio con el fin de fortalecer la gestión de los Riesgos de Desastres en nuestro país y reducir el Riesgo de Desastres.

El propósito de esta investigación es llevar a cabo un análisis de la amenaza por inundaciones pluviales en una microcuenca de la ciudad de Managua, específicamente en un tramo de cauce o canal pluvial de flujo no permanente que atraviesa el Recinto Universitario Rubén Darío (RURD) de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua). Para ello se sigue la guía propuesta por Werren y Lasri (2014), la cual surge de un trabajo conjunto entre las universidades de Lausana en Suiza y la Universidad de Fez en Marruecos. Esta propuesta tuvo como finalidad adaptar el método utilizado en Suiza, donde tienen muchos años de experiencia en este tipo de estudios, a los contextos de inundaciones en Marruecos. Werren *et al.* (2016) aplicaron esta metodología para llevar a cabo la cartografía de las inundaciones en Beni Mellal, Marruecos.

Este estudio dio como producto final el Mapa de Amenaza por Inundación, sin embargo, durante el proceso se obtienen productos intermedios. Del análisis hidrológico se obtiene los caudales máximos para los tres periodos de retornos considerados. Del análisis hidráulico se obtuvo la simulación del comportamiento del flujo de agua considerando la velocidad, profundidad y extensión de la inundación con base en las condiciones de la topografía del entorno y la geometría del cauce o canal pluvial evaluado.

Ubicación del área de estudio

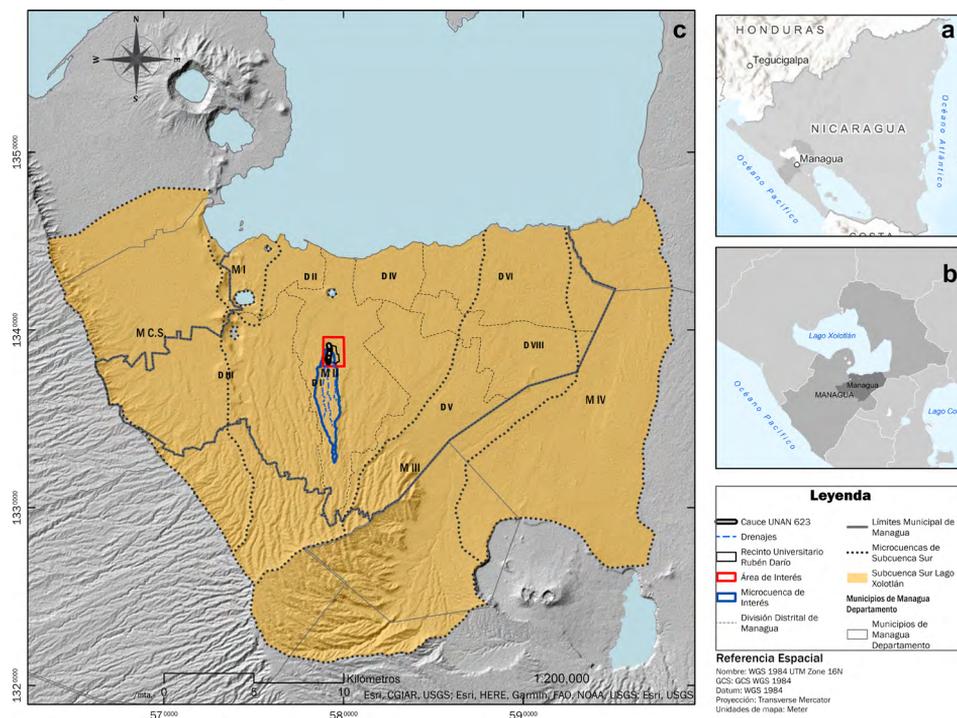
El área de estudio se localiza en el municipio de Managua (Ordenanza Municipal 03-2009, 2009), en el Distrito I de la ciudad capital, con una extensión de 46 km², con elevaciones de 38 a 790 msnm. Es parte de la microcuenca II de la Subcuenca sur del Lago Xolotlán de Managua (INETER *et al.*, 2014) y en ella se encuentran los principales cauces que atraviesan la ciudad capital y forman la red de drenaje pluvial primaria de Managua. En esta se ubica el Recinto Universitario Rubén Darío (RURD) de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua) (véase figura 1).

Metodología

La evaluación de la amenaza de inundación puede realizarse desde dos enfoques; deterministas o probabilistas, Di Baldassarre *et al.* (2010) que se citó en Sy *et al.* (2019). Los resultados se expresan como una probabilidad (o frecuencia) de inundación con una magnitud o intensidad determinada durante un periodo de tiempo específico (Apel *et al.*, 2008; Dottori *et al.*, 2016; Pappenberger *et al.*, 2012). Por otro lado, la fiabilidad de los resultados depende en gran medida de la disponibilidad y calidad de los datos, la escala del análisis y la plena comprensión de los límites de los enfoques utilizados (Sy *et al.*, 2019, p. 1).

El método para el análisis de la amenaza por inundación que se utilizó para este estudio fue el propuesto por Werren y Lasri (2014) y se adaptó para realizar este análisis. Consta de diferentes etapas en las que se incorporan datos de entrada como las precipitaciones máximas diarias registradas para la zona y un modelo de elevación digital. Para el análisis estadístico de las precipitaciones se incorporó el método utilizado por Úbeda Trujillo (2018) con el cual se determinan las curvas de Intensidad- Duración- Frecuencia a partir de las cuales, a través del método de Isocronos de Clark (1945), se calculan los caudales máximos para los tres periodos de retorno considerados.

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio



Notas: (a) Ubicación de Nicaragua en América Central; (b) Ubicación del departamento de Managua (gris medio) y municipio de Managua (gris oscuro); (c) Mapa de ubicación de la subcuenca Sur del lago Xolotlán o lago de Managua en color amarillo (las microcuencas que componen a la subcuenca Sur del lago Xolotlán definidas por la línea punteada negro incluida, la microcuenca en estudio [polígono azul]), basado en INETER (2011) y división distrital del municipio de Managua, líneas punteadas (gris claro); el recuadro rojo indica la zona de interés para el estudio, el polígono indica la ubicación y extensión del RURD y la línea blanca con borde negro el cauce revestido que atraviesa el recinto y se extiende en dirección norte.

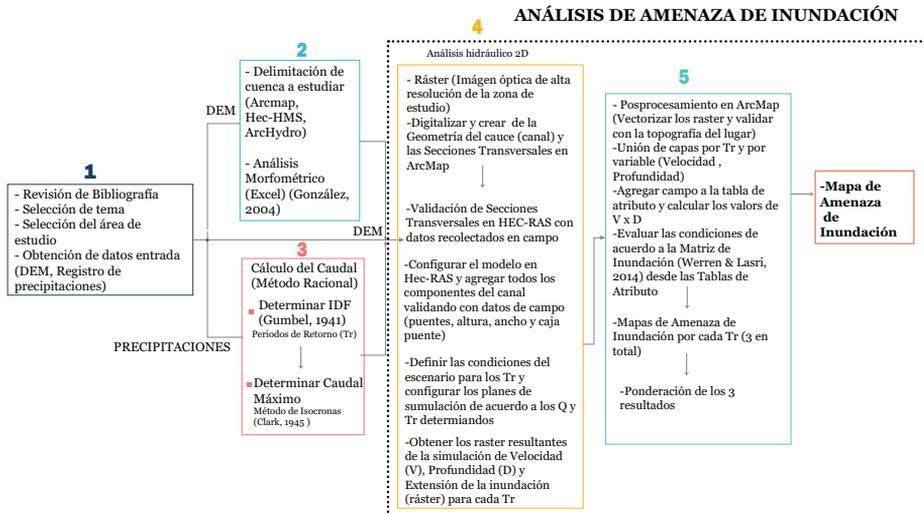
Fuente: Elaboración propia con base en el DEM ALOS PALSAR 12.5 m (NASA, 2020) y la base cartográfica de INETER (1989).

Al mismo tiempo se hace el levantamiento de la geometría del canal, secciones transversales de este y el modelo de elevación digital, los que se introducen en el modelamiento. Durante el proceso se obtienen diferentes productos que a su vez se incorporan como datos de entrada para otros procesamientos los que nos llevan a obtener mapas de intensidad y de probabilidad de las inundaciones pluviales por periodo de retorno. Estos mapas se contrastan para llegar finalmente al Mapa de la Amenaza por Inundación para la zona en estudio.

Este enfoque permite predecir la probabilidad de que se produzcan inundaciones en diferentes momentos. Así mismo se determina la profundidad, velocidad y extensión de la inundación tomando en cuenta los datos hidrológicos y de terreno disponibles (Echogdali *et al.*, 2022). Para este análisis se realizaron simulaciones para tres periodos de retorno de 30, 100 y 300 años.

Este trabajo corresponde a una investigación aplicada bajo un enfoque de investigación cualitativo, no experimental, de tipo transversal con un nivel de investigación predictivo. Para el desarrollo de ésta se siguió la siguiente ruta metodológica que se describe en la figura 2.

Figura 2. Ruta metodológica

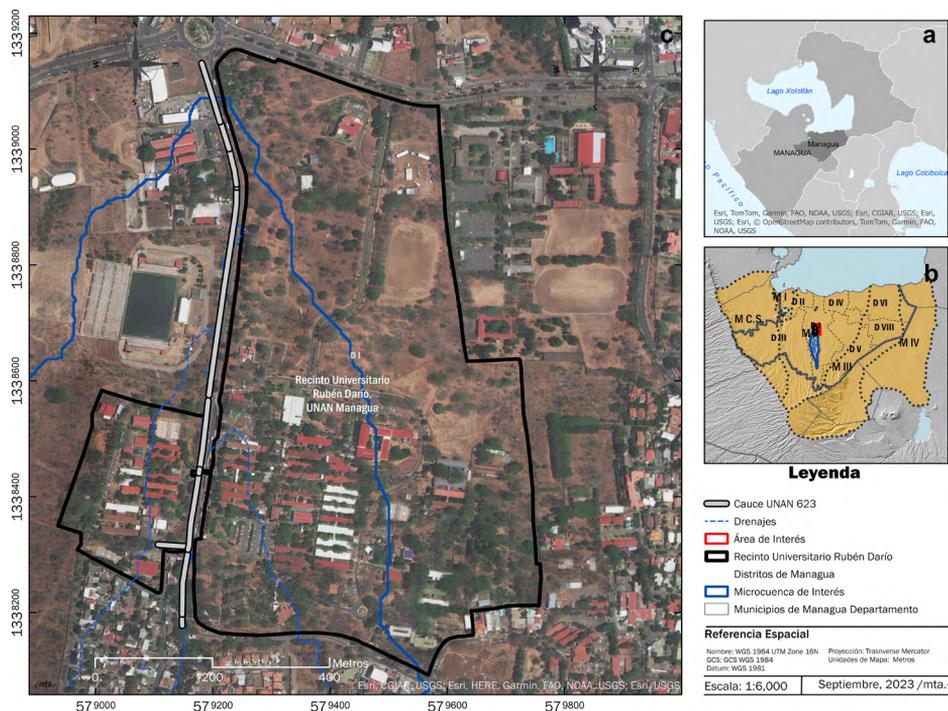


Fuente: Elaboración propia.

Revisión bibliográfica y obtención de los datos de entrada

Para el análisis de la amenaza por inundación existen varios métodos: deterministas o probabilistas, Di Baldassarre *et al.*, (2010) que se citó en Sy *et al.* (2019). Los factores a considerar generalmente siempre son el caudal, la precipitación, la intensidad, tiempo de concentración, topografía, la escala y la precisión de los datos (Robleto Molina, 2011).

Figura 3. Microlocalización del área de estudio



Nota: (a) Ubicación del departamento y ciudad de Managua, elaborado con base en la Base Cartográfica de (INETER, 1989). (b) División de la subcuenca sur del lago Xolotlán (lago de Managua) y la división distrital de la ciudad de Managua. (c) Ubicación y extensión del Recinto o Campus Universitario Rubén Darío y el cauce (canal) que circula al costado oeste del recinto.

Como primera etapa se hizo una revisión bibliográfica sobre los métodos existentes y su aplicación, del tipo, cantidad, escala y precisión de los datos requeridos, con lo que se logró identificar a partir de la información disponible en nuestro país que se requiere de un Modelo de Elevación Digital (DEM) y el registro de precipitaciones de al menos 50 años, ambas fuentes de información se obtuvieron del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), un DEM de resolución espacial de 2 m y el registro de precipitaciones diarias correspondiente a un periodo de 58 años (1958-2015) provenientes de la estación meteorológica ubicada en el Aeropuerto Internacional Augusto C. Sandino a 14 km de la zona de estudio.

Se eligió analizar el comportamiento hidráulico del cauce o canal que atraviesa gran parte del RURD de la UNAN-Managua, debido a que en sus

alrededores se encuentra infraestructura pública y privada de interés para la ciudad como el Estadio Nacional de Fútbol, la Universidad Iberoamericana (UNICIT), gasolinera, rotonda, tienda de automóviles, tienda de alimentos, entre otros. Este desarrollo ha traído la necesidad de modificar el diseño original de este cauce, por lo que se han construido puentes dentro del cauce que se han convertido en puntos de obstrucción al caudal que se conduce por este canal, lo que ha provocado en algunas ocasiones desbordamiento de este (véase figura 3).

Delimitación de la microcuenca en estudio y análisis morfométrico

Se delimitó la microcuenca de interés en la que se utilizó herramientas como Microsoft Excel y herramientas de sistemas de información geográfica (SIG), ArcGIS 10.5. en combinación con la herramienta incorporada como ArcHydro para y la herramienta HEC-GeoHMs. El dato de entrada para este procesamiento es el DEM obtenido previamente, utilizando la Metodología de Pfafstetter (ANA, 2002; Benites Ramos *et al.*, 2015; Rosas, 2009).

Se llevó a cabo el análisis morfométrico (Cruz Romero *et al.*, 2015; González, 2004) de la microcuenca delimitada para el que se utilizaron las ecuaciones descritas en la tabla 1.

Tabla 1. Ecuaciones de parámetros morfométricos de una cuenca

No.	Ecuación	Fuente	Descripción	Parámetros
E1	$Kc = 0.2821 \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right)$	Gravelius (1914) y Luchisheva (1950) (citados en Zavoianu, 1985)	Coefficiente de compacidad	<ul style="list-style-type: none"> • Kc = Coeficiente de compacidad • P = Perímetro de la microcuenca (km) • A = Área de la microcuenca (km²) • Constante = 0.2821
E2	$L_M, L_m = Kc \times \frac{\sqrt{A}}{1.1284} \times \left(1 \pm \sqrt{1 - \left(\frac{1.1284}{Kc} \right)^2} \right)$		Lado Mayor y Lado menor	<ul style="list-style-type: none"> • L_M = Lado Mayor • L_m = Lado menor • Kc = Coeficiente de Compacidad
E3	$F = \left(\frac{A}{L_M} \right)^2$	Horton (1932)	Factor de Forma	<ul style="list-style-type: none"> • F = Es la forma

E4	Schumm (1977)	Pendiente del cauce	<ul style="list-style-type: none"> • P = Pendiente del cauce • C_M = Cota Mayor • C_m = Cota menor • L = Longitud del drenaje principal
$P = \frac{C_M - C_m}{L}$			
E5	Horton (1932)	Densidad de las corrientes	<ul style="list-style-type: none"> • D_s = Densidad de las corrientes o cauces (km/km²) • N_s = La suma de los cauces tributarios (km)
$D_s = \frac{N_s}{A}$			

Fuente: Elaborada con base en las ecuaciones propuestas por los autores de la columna.

Cálculo del caudal máximo

A continuación, se procede a calcular el caudal máximo para distintos periodos de retorno (T). Este proceso se realiza bajo el método racional a través de la ecuación E6. Se divide en dos etapas, la primera es obtener los valores de Intensidad-Duración y Frecuencia para cada periodo de retorno planteado, el dato de entrada inicial para este proceso es el registro de precipitaciones máximas diarias y el método utilizado es el Modelo de Distribución de Gumbel o también llamado Extrema Tipo I (Gumbel, 1941). Se obtiene el valor de los caudales máximos para cada uno de los periodos de retorno, tomando como dato de entrada los valores de precipitación máxima diaria, la intensidad y el tiempo de concentración determinado para esta cuenca. Este proceso se logra utilizando el Método de Isocronos (Clark, 1945). El tiempo de concentración representa el tiempo que demora una partícula de agua para trasladarse del punto más remoto de la cuenca hasta el punto de desagüe. Cuando haya transcurrido este tiempo toda la cuenca estará contribuyendo a formar el caudal de la escorrentía que tendrá en consecuencia un valor máximo (Chequere, 1989). Donde Q = Caudal; C = Coeficiente de escorrentía; i = Intensidad de lluvia (mm/h), y A = Área de la cuenca (ha).

$$Q = \frac{(C \times i \times A)}{360}$$

Para determinar los valores de Intensidad-Duración-Frecuencia, hubo que hacer un procesamiento bastante extenso guiado por el Modelo de Distribución de Gumbel o también llamado Extrema Tipo I (Chow *et al.*, 1994) y (Aparicio Mijares, 1992) y está definida por la ecuación E7 de la tabla 2.

Tabla 2. Ecuaciones de variables probabilísticas

No.	Ecuación	Descripción	Parámetros
E7	$F(x) = \exp \left[-\exp \left(-\frac{x-u}{\alpha} \right) \right] - \infty \leq x \leq \infty$	Función de distribución de probabilidad	
E8	$\alpha = \frac{\sqrt{s}}{\pi} s$	Variable probabilística	• S = Desviación estándar
E9	$u = \bar{x} - 0.5772\alpha$	Variable probabilística	• \bar{x} = Media
E10	$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$	Media	• i = Cada registro de precipitaciones máximas anuales • n = Número total de los registros
E11	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$	Desviación estándar	
E12	$y_T = -\ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]$	Variable reducida	Chow <i>et al.</i> (1994)
E13	$x_T = u + \alpha y_T$	Precipitación	(Chow <i>et al.</i> (1994)

Fuente: En esta tabla se presentan las ecuaciones para determinar las variables probabilísticas propuestas por Gumbel (1941) y Chow *et al.* (1994).

Este método es muy usado en análisis hidrológicos para conocer el comportamiento de las precipitaciones máximas o mínimas, es decir, crecidas o sequías. Como datos de entrada se utiliza la serie de registros históricos de precipitación máxima diaria en cada año. Entre los cálculos iniciales se obtienen las variables probabilísticas como la media, desviación estándar y los parámetros de distribución los cuales se estiman a partir de las ecuaciones E8 y E9 de la tabla 2. Donde \bar{x} y S son la media y la desviación estándar de la muestra, para ello se utilizan las ecuaciones E10 y E11 de la tabla 2.

Para obtener los valores de las precipitaciones máximas probables para distintas frecuencias, se parte del registro de las precipitaciones máximas

diarias y de las variables probabilísticas del acápite anterior. La variable reducida se obtiene con la ecuación E12 (Chow *et al.*, 1994). Se calcula la precipitación máxima con la ecuación E13. A esta última se le aplica un ajuste, conocido como Factor de corrección por intervalo fijo. Este factor fue propuesto por (Weiss, 1964), el que a partir del análisis estadístico de miles de datos de precipitaciones observadas en un intervalo fijo de 24 horas, determinó que al incrementar los datos de precipitación en un 13%, los valores resultantes se aproximan a los valores de precipitaciones máximas reales. Por esta razón, a los valores obtenidos de la ecuación E13 se multiplican por este factor y se obtiene los valores de Precipitación máxima corregida, para los periodos de retorno considerados, que corresponden a 2, 5, 10, 30, 100 y 300 años.

Cuando los datos de precipitación por hora son muy escasos, se pueden determinar al relacionar datos de precipitación máxima en un día a través de un coeficiente para 24 h con igual periodo de retorno propuesto por Campos Aranda (1998), como se puede observar en la tabla 3.

Tabla 3. Coeficientes para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas

Duración en horas	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
Coeficiente	0.3	0.39	0.46	0.52	0.57	0.61	0.68	0.8	0.91	1

Fuente: En esta tabla se presentan los coeficientes para obtener el valor de lluvias por hora propuesto por Campos (1998).

Curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF)

Para determinar las intensidades de lluvia se utilizan las precipitaciones diarias calculadas, se dividen entre el tiempo de duración en horas, introduciéndola en la ecuación E15, con lo que se obtiene:

$$I = \frac{P [mm]}{t_{duración [hr]}} \quad E14$$

Para obtener las curvas de IDF, se aplican la ecuación E15 para cada periodo de retorno:

$$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n} \quad \text{E15}$$

Donde T = periodo de retorno, m = coeficiente de regresión, t = tiempo de duración de la precipitación expresada en minutos; K , m y n son parámetros de ajuste, estos parámetros se calcularon mediante la aplicación de logaritmos naturales a cada variable para obtener una expresión matemática que represente la variación de la intensidad de precipitación en función de la duración de la misma (Campos Aranda, 1998; Bermúdez, 2012).

Para obtener el coeficiente de regresión y los parámetros de ajuste (K , m y n), se calculó la Regresión Intensidad-Duración-Período de Retorno (IDT) a través de la ecuación E16 y E17, que toma como dato de entrada los tiempos de duración en minutos y la Intensidad de la lluvia (mm/h) por cada periodo de retorno y el número de intervalos de duración en horas propuesto por (Campos Aranda, 1998) y que en este trabajo se representa por N .

$$\ln(d) = \frac{[\sum_{i=1}^N (\ln(x) \times \ln(y))] - [\sum_{i=1}^N (\ln(x))^2 \times \sum_{i=1}^N \ln(y)]}{[\sum_{i=1}^N \ln(x)]^2 - [\sum_{i=1}^N ((\ln x)^2) \times N]} \quad \text{E16}$$

Se aplica antilogaritmo a $\ln(d)$ para obtener los valores para d . Además, a partir de obtenido el valor de, se obtiene el valor de n con utilizando la ecuación E17:

$$n = \frac{[\sum_{i=1}^N \ln(y) - (N \times \sum_{i=1}^N \ln(d))]}{\sum_{i=1}^N \ln(x)} \quad \text{E17}$$

Donde x corresponde al tiempo de duración expresado en minutos de acuerdo a los intervalos propuestos por (Campos Aranda, 1998) para el cálculo del coeficiente para lluvias de duración de 24 horas. N , representa el número de estos intervalos (24, 18, 12, 8, 6, 5, 4, 3, 2 y 1 hora), es decir 10 y d que corresponde al término constante de regresión, que se utilizada para calcular Coeficiente de regresión n para cada periodo de retorno. A partir de estos cálculos se construye una table resumen con los valores

obtenidos para d y n en cada periodo de retorno que luego se promedia para ser introducido en la ecuación E15 antes mencionada.

Posterior a estos cálculos, se utiliza la ecuación E18, con el fin de obtener el valor de los parámetros k y m , a través de regresión de potencia entre las columnas del periodo de retorno T y el término constante de regresión d obtenido anteriormente utilizado (Úbeda Trujillo, 2018).

$$d = K \times T^m \quad \text{E18}$$

Para ello, se utiliza la ecuación E18 con base en los logaritmos naturales de x que para este cálculo está representado por los diferentes periodos de retornos y la variable y , que toma los valores del Término constante de regresión d , del cálculo anterior. Para calcular los parámetros k y m , se utiliza la ecuación E19, que básicamente es la misma ecuación E16 con la diferencia que en esta ocasión se calcula el $\ln(k)$.

$$\ln(k) = \frac{[\sum_{i=1}^N (\ln(x) \times \ln(y))] - [\sum_{i=1}^N (\ln(x))^2 \times \sum_{i=1}^N \ln(y)]}{[\sum_{i=1}^N \ln(x)]^2 - [\sum_{i=1}^N ((\ln x)^2) \times N]} \quad \text{E19}$$

De nuevo se aplica antilogaritmo a $\ln(k)$ para obtener el valor absoluto del parámetro k . De forma similar el valor del parámetro m se obtiene utilizando la ecuación E17, pero con los valores correspondientes a $\ln(k)$. A partir de estos cálculos de regresión se obtienen todos los parámetros necesarios para proceder a calcular las curvas IDF para cada periodo de retorno.

Cálculo del hietograma de precipitación

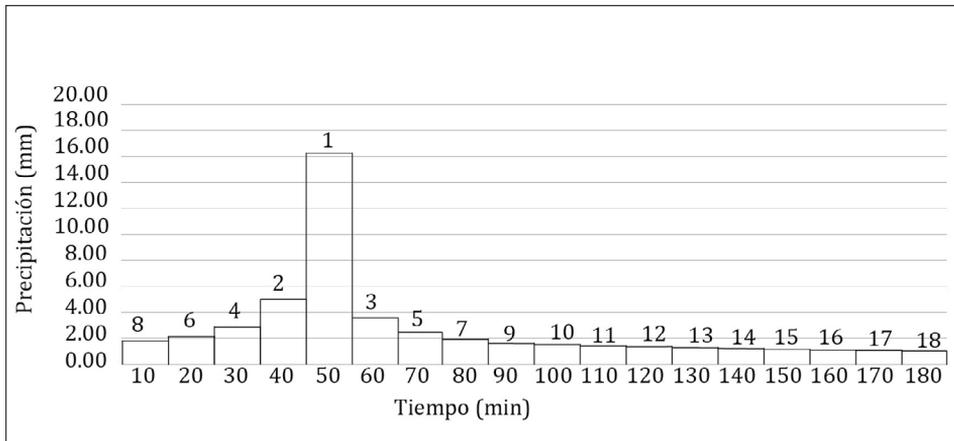
Según Chow *et al.* (1994), en los modelos de diseño antiguos, entre ellos el método racional, solo se ocupaba el caudal pico, es decir, no se tomaba en consideración el tiempo de distribución del caudal, lo que conocemos como hidrograma del caudal ni tampoco la distribución temporal de la precipitación, hietograma de precipitación. Según este autor, los métodos más recientes toman en cuenta el análisis de flujo no permanente, para los cuales requieren el hietograma de diseño, esta muestra la distribución de las

precipitaciones a lo largo de las horas más lluviosas en un periodo de retorno y área determinada. La construcción del hietograma de precipitación de esta microcuenca para diferentes periodos de retornos como 2, 5, 10, 30, 100 y 300 años, se utilizó el método Bloques Alternos propuesto por Chow *et al.* (1994).

$$Tc = 0.066 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77} \tag{E20}$$

Se construye a partir de las curvas IDF y se puede generar para cada periodo de retorno. La forma de construirlo es que se coloca en el centro del diagrama la precipitación registrada que corresponde al tiempo de concentración de la cuenca, a su derecha se coloca el segundo intervalo lluvioso, a la izquierda se coloca el tercer intervalo más lluvioso y luego a la derecha se coloca el siguiente, se siguen colocando las precipitaciones alternándose a cada lado, como se muestra en la figura 4. Se toman en consideración los siguientes datos cada periodo de retorno y se diseña un hietograma para una lluvia que dura 3 horas con incrementos de tiempo de 10

Figura 4. Modelo de hietograma de precipitación



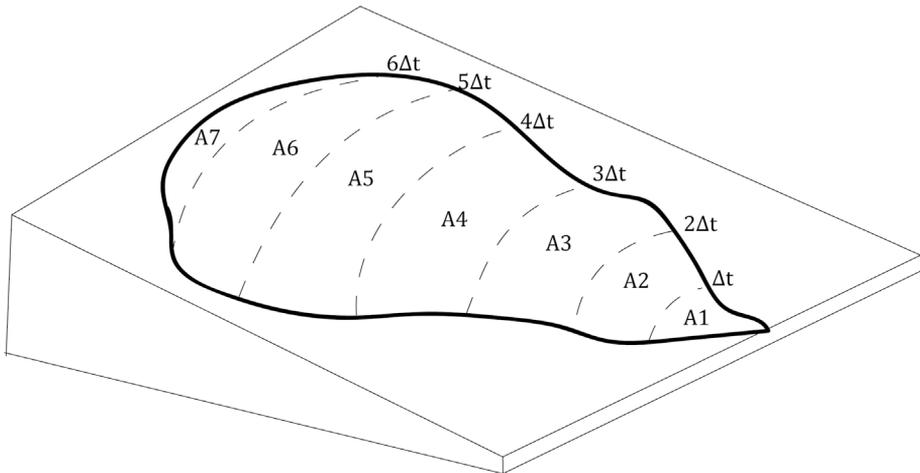
Fuente: elaborado con base en los registros de precipitaciones de la zona registrados por la Estación Meteorológica del Aeropuerto Internacional Augusto C. Sandino de Managua y del cálculo del tiempo de concentración.

minutos, lo que da 180 minutos divididos en 18 intervalos de 10 minutos. El tiempo de concentración, se obtiene con la ecuación E20, donde L , corresponde a la longitud del drenaje más largo y S al valor de la pendiente del canal.

Cálculo del caudal máximo por el método de isocronos

El método se basa en la distribución de la superficie de la cuenca entre líneas isócronas, es decir con un intervalo de tiempo igual, para calcular el volumen de agua caído sobre cada una de esas superficies y considerar el retardo producido por el tránsito del agua a lo largo de la cuenca (Clark, 1945). El caudal del primer intervalo de tiempo corresponde al volumen precipitado en la primera franja que representa a la primera área calculada (véase *figura 5*).

Figura 5. Esquema conceptual del método de isócronos



Fuente: Sánchez San Román (2011).

Su ecuación corresponde a la del método racional (E6), expresada de la siguiente manera:

$$Q_{T1} = k \cdot C_{R1} \cdot i_{T1} \cdot A_1 \quad \text{E21}$$

Donde

- Q_{T1} = Caudal (m^3/s)
- C_{R1} = Coeficiente de escorrentía
- i_{T1} = Intensidad de precipitación (mm/h)
- A_1 = Superficie o área (ha)
- $k = \frac{1}{360} = 0.00278$

De manera que el caudal total corresponde a la sumatoria de los caudales calculados para cada superficie o área.

$$Q_{T1} = k \cdot C_{R1} \cdot i_{T1} \cdot A_1$$

$$Q_{T2} = C_{R2} \cdot i_{T1} \cdot A_2 + C_{R1} \cdot i_{T2} \cdot A_1$$

$$Q_{T3} = C_{R3} \cdot i_{T1} \cdot A_3 + C_{R2} \cdot i_{T2} \cdot A_2 + C_{R1} \cdot i_{T3} \cdot A_1$$

Se seleccionó este método para calcular los caudales máximos ya que se acopla bastante bien al tipo de análisis que se viene haciendo desde el inicio del estudio considerando la cantidad y el tipo de datos de entrada.

Análisis de amenaza por inundación

Existen varios factores que favorecen a las inundaciones, por ejemplo, el incremento del coeficiente de escorrentía en las zonas urbanas en comparación con las rurales debido a una mayor proporción de áreas impermeables en dichas zonas. Otro factor es la disminución del tiempo de concentración en las áreas urbanas, debido a que los flujos son más rápidos, aumentando a su vez los caudales picos de dos a cinco veces y con ello el potencial de inundación (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

Análisis hidráulico en 2D

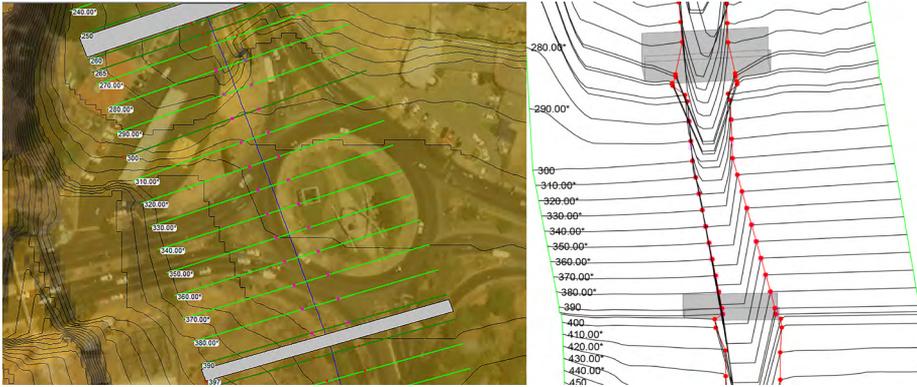
El proceso del análisis hidráulico inicia tomando como base un modelo de elevación digital de 2 m y un mapa base obtenido de la galería de imágenes ópticas de Google Maps de alta resolución. Otro dato importante para iniciar este proceso también lo es los caudales obtenidos a través del método de isócronos.

Se digitalizó la longitud del canal principal revestido con concreto de la microcuenca delimitada para el estudio, las bancas y se generó secciones transversales automáticas de 100 metros de longitud con una distancia entre cada una de 100 metros, utilizando la herramienta HEC-GeoRAS incorporada en ArcGIS Desktop 10.5. La geometría resultante se importó a HEC-RAS 5.0.7. para hacer el análisis hidráulico. Se verificaron y corrigieron las secciones transversales generadas automáticamente por la herramienta, y se definieron las bancas y los leeves tomando en cuenta la topografía y los posibles puntos de desbordamiento. Para validar las secciones transversales, se comparó con el levantamiento de las secciones transversales en campo y reforzamiento con el registro fotográfico. Posteriormente se incorporó la geometría de los puentes existentes. Para ello fue necesario agregar secciones transversales interpoladas y hacer ajustes de distancias y de altitudes para conservar la geometría lo más apegado a la realidad.

Entre las secciones 400 a 260 existe una rotonda que hace la función de un puente de aproximadamente 150 metros de longitud. Para el procesamiento en HEC-RAS, se ha ingresado al modelo como un puente al inicio para crear el efecto de compresión a la entrada del canal cubierto y se han puesto leeves para indicar al modelo que el agua no debe sobre pasar esa altura (véase figura 6).

Se asignaron los coeficientes de rugosidad para el canal y para el resto de la sección transversal que no está revestida, se asume que dentro del canal el coeficiente de rugosidad es 0.015, correspondiente a hecho de cemento con mortero. Para el área fuera del canal, se considera planicie de inundación, con cubierta de tipo pasto corto, con un coeficiente de 0.035. Después que se corrigen las secciones transversales, se procede a configurar el tipo de flujo considerando las Condiciones Límites alcanzables (Reach Boundary Conditions) con profundidad normal (Normal Depth) y se asigna una pendiente de 5% aguas arriba y aguas abajo.

Figura 6. Incorporación de rotonda en el modelo hidráulico



Fuente: Extraído del modelo hidráulico de HEC-RAS de este estudio.

Con este parámetro HECRAS 5.0.7 parte de la hipótesis de que en la sección aguas arriba hay un flujo normal (Steady) calculado con la ecuación de Manning (E22), tomando en cuenta una pendiente de 5%, y se aplica esta misma hipótesis en la última sección. Además, como dato principal se introdujo el caudal calculado para los periodos de retorno, para la preparación de los Mapas de Amenaza por Inundación, se aplicó esta configuración para los tres periodos de retornos.

$$Q = \frac{1.49}{n} S_f^{0.5} A R^{\frac{2}{3}} \quad \text{E22}$$

Se configuró el comportamiento de un flujo normal a través de la configuración de planes con lo que se genera las simulaciones de Inundación para los periodos de retornos mencionados. Para ello se seleccionó el régimen tipo mezclado (Mixed), también se incorporó la geometría ajustada, se configuraron las opciones del Método de computación de la profundidad crítica que para este caso se ha seleccionado el Método Parabólico o Método Fácil calculando siempre la profundidad crítica. Como resultado de la simulación se obtuvo el perfil longitudinal y perfil 3D de toda la geometría. Todo este procesamiento intermedio da como resultado la simulación de la Velocidad (Velocity), Profundidad (Depth) y la extensión de la inundación

de manera implícita expresadas en formato ráster para cada Periodo de Retorno (T).

El resultado anterior, se exporta de HECRAS en formato .tiff y se importa nuevamente a ArcMap y se reclasifican y se transforma de formato ráster a vector y se procede a validar sobre la capa de información de la extensión comparándola con la topografía de lugar y datos levantados en campo. A partir de estas capas de información corregidas se aplica un geoprocesamiento de Unión, que consiste en unir las dos capas en una, de manera que sus tablas de atributos se integran en una sola, se crea un nuevo campo llamado $V \times D$ y usando la herramienta calculadora de campo se realiza la operación de multiplicar los campos o columnas de Velocidad (Velocity o V) y Profundidad (Depth o D), con la cual se construye un nuevo mapa que ilustra este resultado.

Posteriormente, se agregó un nuevo campo a esta tabla de atributos llamado Condicional 1; esta columna aloja la condición que —de acuerdo con el método propuesto por Werren y Lasri (2014) para crear mapas de intensidad de inundación— se debe cumplir para definir niveles de Intensidad (véase tabla 4).

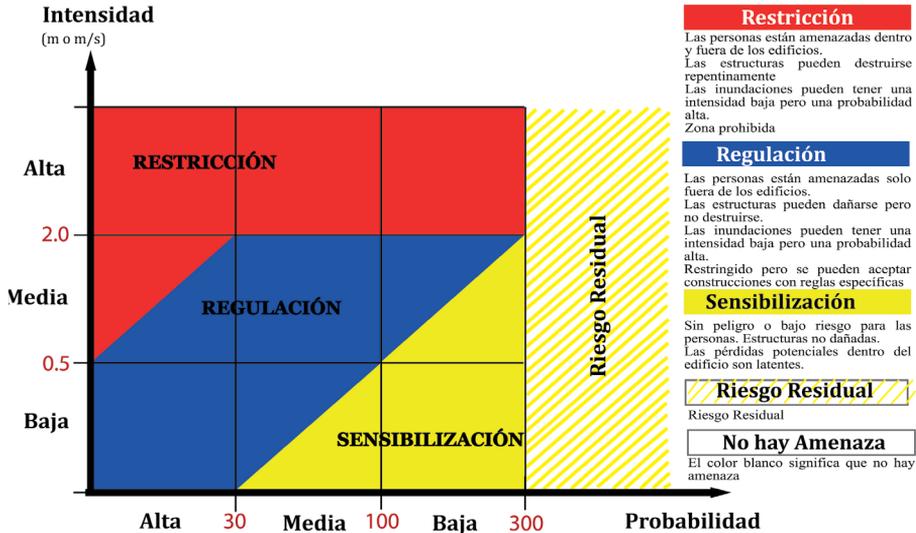
Tabla 4

<i>Condicional</i>	<i>Intensidad</i>
Velocity < 1 AND Depth__m_ ≤ 0.5	Baja
Velocity < 1 AND Depth__m_ ≥ 2	Alta
Velocity < 1 AND Depth__m_ < 2 AND Depth__m_ > 0.5	Media
Velocity > 1 AND $V_ \times_ D$ < 2 AND $V_ \times_ D$ > 0.5	Media
Velocity > 1 AND $V_ \times_ D$ > 2	Alta
Velocity > 1 AND $V_ \times_ D$ < 0.5	Baja

Nuevamente, se agrega un campo más a la tabla de atributos que aloje las condiciones que se deben cumplir para definir los niveles de Amenaza por Inundación basados también en método utilizado en Suiza por Werren y Lasri (2014) (véase figura 7). Las condiciones por cumplir para definir Amenaza por Inundación son las siguientes:

- i) $V_ \times_ D > 2$
- ii) $V_ \times_ D > 0.5$ AND $V_ \times_ D \leq 2$
- iii) $V_ \times_ D \leq 0.5$

Figura 7. Matriz de Amenaza por Inundación



Fuente: Tomada y traducida de Werren y Lasri (2014).

Resultados

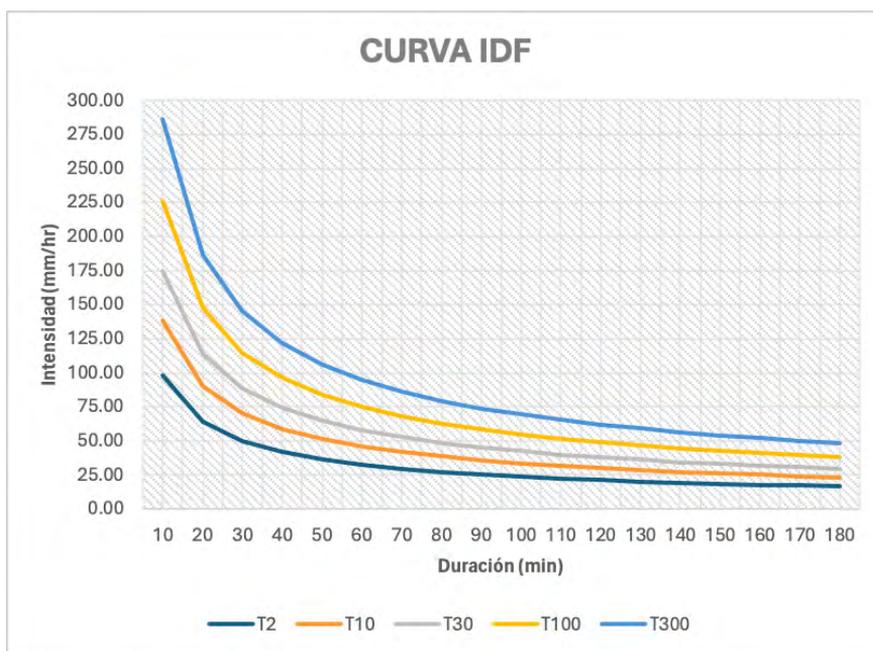
Como resultado de la delimitación y caracterización de la microcuenca determinó que la cuenca en estudio se categoriza como una microcuenca con un área total de 4.96 km². El Coeficiente de Compacidad correspondiente a 2.32, es de forma oblongada, inclusive por encima del rango máximo para este tipo de forma de microcuenca. En la tabla 5 se presentan los valores de los parámetros morfométricos de la cuenca.

Se calculó la Intensidad para una precipitación con duración de 3 horas, de acuerdo con el Hietograma de Precipitación que se construyó a partir del tiempo de concentración calculado para la cuenca que correspondió a 50 minutos. Los parámetros requeridos para construir las Curvas IDF, son: $K = 151.79$; $m = 0.792266679$, y $n = 0.615$, que corresponde al promedio de los valores de coeficiente de regresión para cada periodo de retorno, dando los resultados que muestran en la figura 8.

Tabla 5. *Parámetros morfométricos de la cuenca en estudio*

<i>Información requerida</i>	<i>Morfometría</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Valor</i>
Cuenca	Área	km ²	4.97
	Perímetro	km	18.33
	Coefficiente de compacidad	-	2.32
	Factor de forma	-	0.07
	Longitud del lado mayor	km	8.59
	Longitud del lado menor	km	0.58
Cauce	Longitud del cauce principal	km	7.56
	Cota mayor	msnm	530.00
	Cota menor	msnm	164.00
	Pendiente del cauce	m/m	0.05
DEM cuenca	Pendiente de la cuenca	m/m	0.09
	Cota media de la cuenca	msnm	275
Cuenca y cauce	Densidad del drenaje	km/km ²	2.59
Cauces	Número de orden de los cauces	-	3

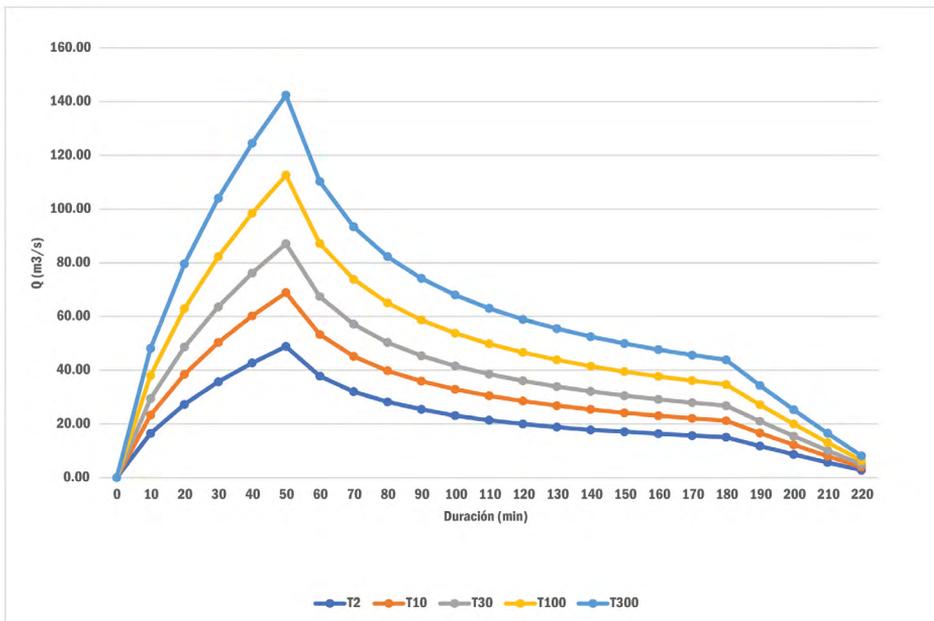
Fuente: Elaborada con los resultados de los parámetros morfométricos calculados con las ecuaciones presentadas en la tabla 1.

Figura 8. *Curva IDF para cada periodo de retorno (T)*

Fuente: Elaborada con base en el procesamiento estadístico que se realizó al registro de precipitaciones de la Estación Meteorológica proporcionados por INETER.

Del procesamiento para determinar cuánto es el caudal en que la cuenca se satura, utilizando el Hietograma de Precipitación de lluvia proyecto, se obtuvo el resultado de $30.65 \text{ m}^3/\text{s}$ en 50 minutos con un Coeficiente de escorrentía de 0.61, tomado de Chow *et al.* (1994), por ser una cuenca mayormente rural y con pendientes de 5%. Se calcularon las intensidades y los caudales para cada 10 minutos y el resultado del Método Isócronas, para los periodos de retorno T (véase figura 9).

Figura 9. Caudales para los periodos de retorno

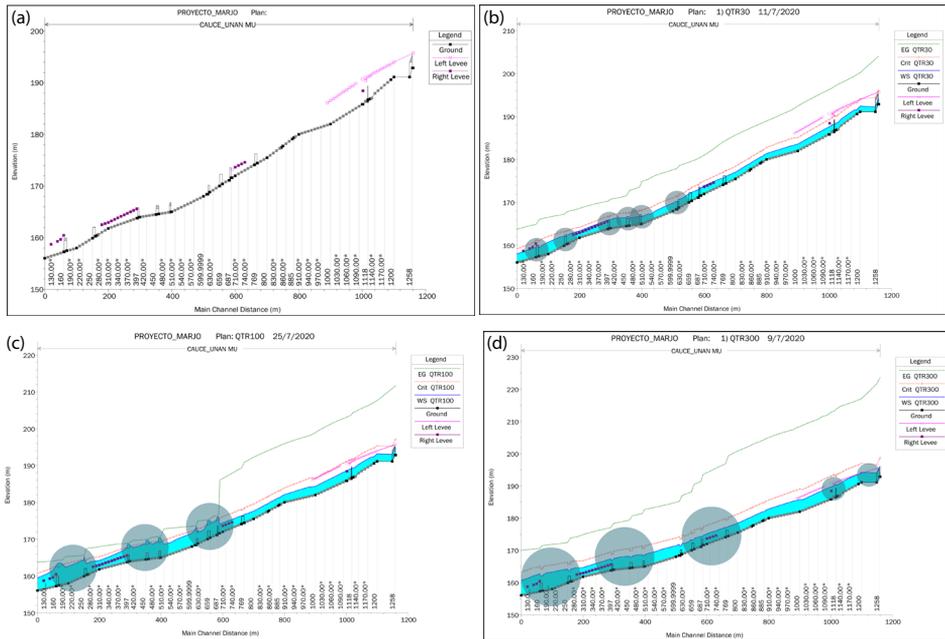


Fuente: Elaborada con los resultados del cálculo de los caudales máximos utilizando la ecuación E21 utilizando los datos de entrada del registro de precipitaciones proporcionado por INETER.

Modelar el comportamiento del flujo y de la geometría del canal revestido que forma parte del drenaje principal de la microcuenca de interés a partir de los caudales máximos calculados en la sección anterior que corresponde a $87.08 \text{ m}^3/\text{s}$ para un T de 30 años; $112.62 \text{ m}^3/\text{s}$ para un T de 100 años, y $142.41 \text{ m}^3/\text{s}$ para T de 300 años, dio como resultado perfiles longitudinales y perfiles 3D (no se presentan en este documento), para cada uno de los periodos de retornos analizados, también se presentan un perfil

longitudinal considerando condiciones sin lluvia para su posterior discusión (véase figura 10).

Figura 10. Perfiles longitudinales del cauce modelado



Notas: Perfiles longitudinales extraídos de HEC-RAS que muestran las alturas del flujo que se han alcanzado con cada uno de los caudales introducidos en este modelo. (a) muestra el comportamiento del cauce sin flujo; (b) muestra el comportamiento del flujo en el cauce con un caudal de $87.08 \text{ m}^3/\text{s}$ para un T de 30 años; (c) muestra el comportamiento del flujo en el cauce con un caudal $112.62 \text{ m}^3/\text{s}$ para un T de 100 años, y (d) muestra el comportamiento del flujo en el cauce con un caudal $142.41 \text{ m}^3/\text{s}$ para T de 300 años.

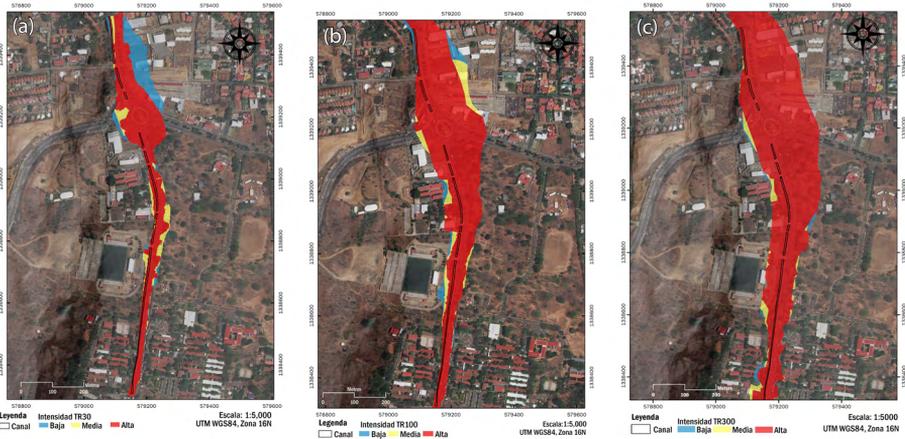
Otro de los resultados de este análisis son los mapas generados en RAS-Mapper que imágenes ráster de la simulación del flujo para los diferentes periodos de retorno, en cuanto a profundidad, velocidad y extensión de la inundación. En cuanto a la extensión de la inundación, se hace un ajuste o corrección espacial considerando la topografía de la zona debido a que está enmarcada por la extensión de las secciones transversales, mostrando que el área que abarcado por la inundación por cada periodo de retorno corresponde a $T_{30} = 0.081 \text{ km}^2$; $T_{100} = 0.134 \text{ km}^2$, y para T_{300} fue de 0.178 km^2 .

Los ráster de profundidad se clasifican en tres clases; valores menores a 0.5 m de profundidad, valores entre 0.5 m y 2 m y la tercera clase compren-

de los valores de 2 m en adelante. Luego se convirtieron a formato vectorial y se hicieron los ajustes mencionados anteriormente relacionados con la extensión de la posible extensión de la inundación. Los ráster de Velocidad se clasificaron en 7 clases: las que comprenden los valores menores o iguales a 0.99; de 1 a 1.99; de 2 a 2.99; de 3 a 4.99; de 5 a 9.99; de 10 a 14.99, y la final 15 a más.

El resultado de unir estas dos variables Profundidad y Velocidad, se obtuvo una nueva capa de información $V \times D$, la que sirvió junto a las dos primeras para definir niveles de Intensidad para cada periodo de retorno.). Luego se evalúan las condiciones propuesta por Werren y Lasri (2014) y se producen los Mapas de Amenaza por Inundación para cada periodo de retorno (véase figura 11).

Figura 11. Mapas de Intensidad para cada periodo de retorno a escala 1:5,000

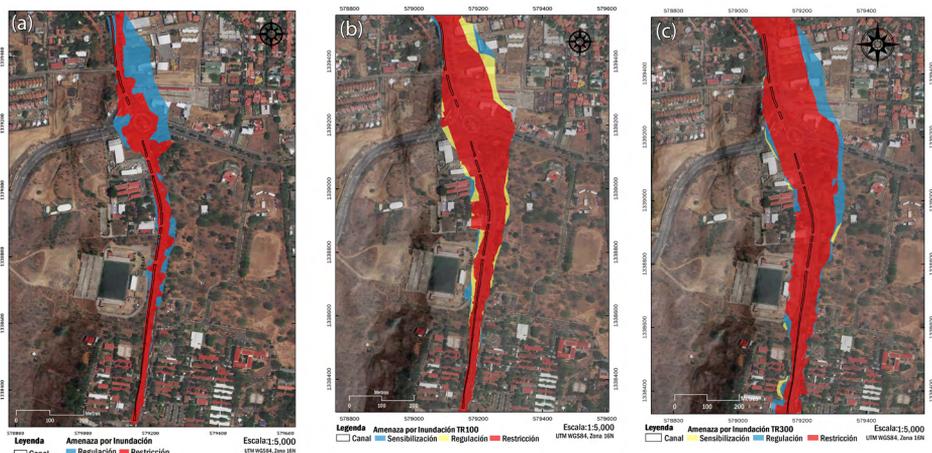


Nota: (a) Intensidad para T_{30} , (b) Intensidad para T_{100} y (c) Intensidad para T_{300} .
 Fuente: elaboradas con base en los resultados obtenidos del procesamiento hecho en HEC-RAS y ArcMap.

Posteriormente se aplica la condicional a la Intensidad presentada con cada periodo de retorno y se contrastan con la Matriz de Amenaza por Inundación para crear los Mapas de Amenaza para periodo de retorno, como se muestra en la figura 12.

- i) $V \times D > 2$
- ii) $V \times D > 0.5$ AND $V \times D \leq 2$
- iii) $V \times D \leq 0.5$

Figura 12. Mapas de amenazas por inundación para cada periodo de retorno



Nota: (a) Mapa de amenaza de inundación para T_{30} , (b) Mapa de amenaza de inundación para T_{100} y c) Mapa de amenaza para T_{300} .

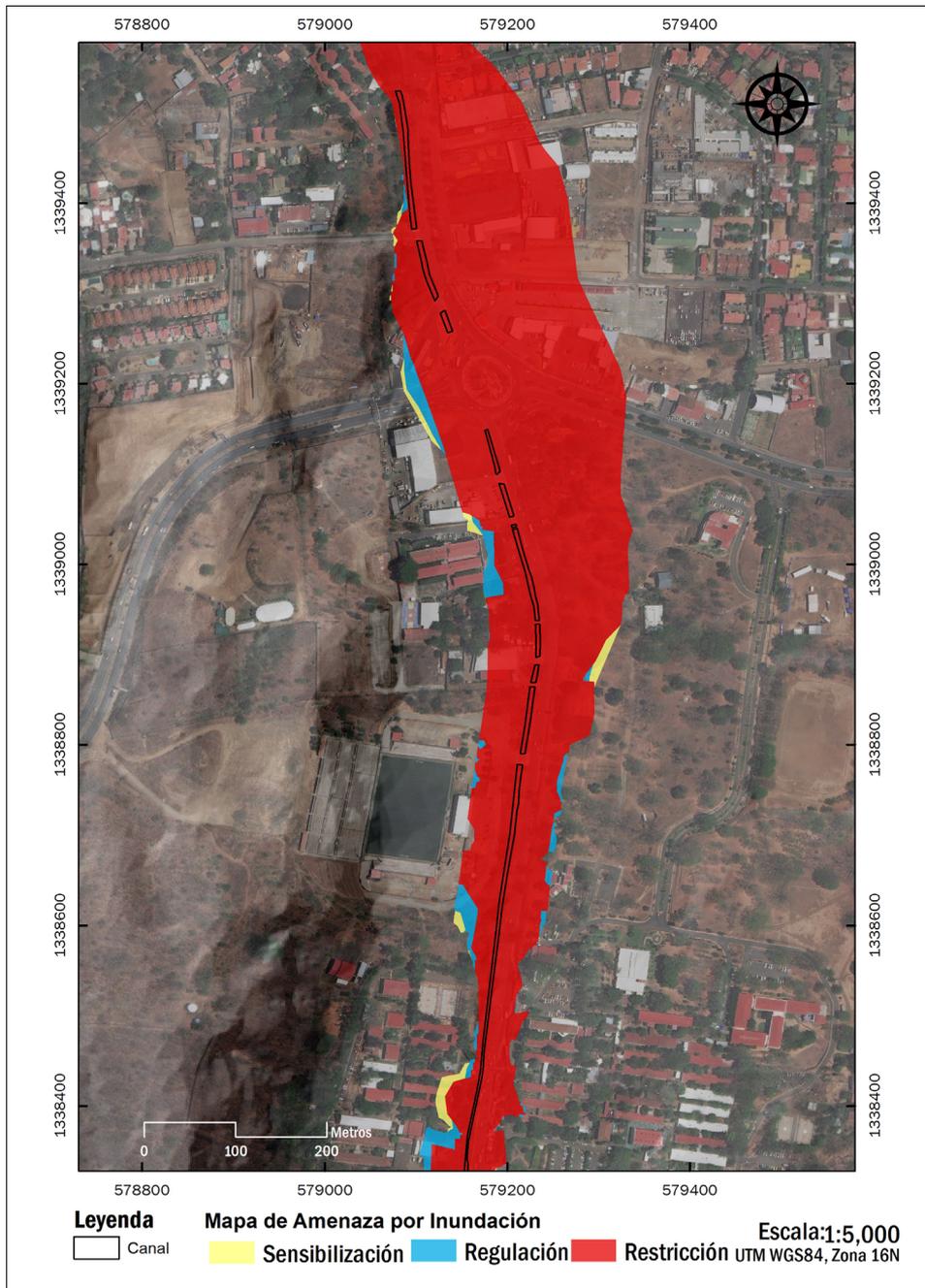
Fuente: Elaboradas con base en los resultados obtenidos del procesamiento hecho en HEC-RAS y fueron diseñadas en ArcMap.

Como resultado final de este proceso se consideran los 3 mapas resultantes, considerando el valor más crítico y se construye el Mapa de Amenaza por Inundación para zona de estudio (véase figura 13).

Las características morfométricas de la cuenca delimitada para acotar este estudio muestran que se trata de una microcuenca de forma oblongada, inclusive por encima del rango máximo para este tipo de forma de cuenca. Por el tamaño de con un área total de 4.96 km² se categoriza como una microcuenca. La pendiente del cauce corresponde a un 5% y la pendiente de la cuenca a un 9%. La altura media se encuentra en los 275 msnm. Considerando el tipo de sistema de drenajes, se puede decir que es de tipo endorréica, debido a que drena a un drenaje mayor, por ser parte de la microcuenca 2 de la subcuenca sur del lago de Managua, pero no llega al mar, más bien drena a otro drenaje y este a su vez al lago.

En cuanto al análisis de las pendientes, las de 8-15%, ligeramente inclinada a moderadamente empinada, cubren la mayor área de la microcuenca en estudio, ocupando el 34.03% del área total, correspondiendo al 1.69 km². Otro rango de pendientes dominantes es de 4-8%, ligeramente inclinada, el que cubre el 28.27% correspondiendo a 1.40 km². En tercer lugar, se puede

Figura 13. Mapa de amenaza por inundación para los alrededores del recinto universitario Rubén Darío



Fuente: Esta figura es resultado del procesamiento llevado a cabo por el autor a través del software de sistema de información geográfica con base en los datos obtenidos del análisis en HEC-RAS.

observar otro rango de pendientes que corresponde a las pendientes entre 0-4%, que cubre el 21.14% de área total que afecta a 1.05 km². El resto de los rangos de pendientes se puede encontrar con valores menos significativos.

Además, se determinó que la cota media se encuentra a 275 msnm, este dato se obtuvo del análisis de la curva hipsométrica. Lo que indica que a partir de esta cota hacia abajo la microcuenca se aplana rápidamente con ligeros rasgos de concavidad. Sin embargo, de la cota media hacia arriba, hay un incremento de las alturas por encima de esta, muestra rasgos de convexidad y además ocupa la mayoría del área total.

De los caudales máximos obtenidos para cada periodo de Retorno 2, 10, 30, 100, 300, se tomó la decisión de que solamente modelar las inundaciones para los últimos 3 periodos de retorno, ya que los cambios que pudieron notarse entre T_2 y T_{10} , no sería significativos. Del modelo hidráulico 2D se resalta los perfiles longitudinales de la figura 10. En la que se puede apreciar la comparación de cuando el canal no tiene flujo y los 3 escenarios correspondiente a cada periodo de retorno. En la figura 10b, muestra el comportamiento del flujo en el cauce con un caudal de 87.08 m³/s para un T de 30 años y se aprecia el efecto de desborde de los puentes agregados al diseño original del canal.

En la figura 10c se muestra el comportamiento del flujo en el cauce con un caudal 112.62 m³/s para un T de 100 años, nuevamente los puntos de desbordamiento del cauce ocurren en el lugar donde fueron instalados puentes; de igual manera, se presenta en la figura 10d, la cual muestra el comportamiento del flujo en el cauce con un caudal 142.41 m³/s para T de 300 años. Se puede interpretar el efecto de compresión que los puentes ejercen en el flujo que circula por el canal. Es notable en el análisis para 300 años que existe un desbordamiento en todos los puentes y en zonas de debilidad asociado a topografía del lugar. También se puede interpretar que incluso para caudales menores a los calculados, se pueden producir desbordamientos asociados al efecto que generan los puentes. Es necesario mencionar que la mayoría de estos puentes han sido construidos posterior a la del canal y que varios de ellos han reducido su altura y efectividad genera un desbordamiento de gran volumen, considerando las condiciones normales para las que fue diseñado originalmente.

La simulación reveló que las zonas más susceptibles de sufrir inundaciones son las situadas a lo largo y a los alrededores del canal. Es importante mencionar que este método no está enfocado en determinar propiamente si la Amenaza es alta, media o baja, sino más bien está enfocado en procurar una planificación territorial adecuada con el objetivo de reducir los Riesgos de Desastres teniendo en cuenta las recomendaciones que es análisis ofrece, sobre todo para entornos urbanos. Por tal razón, los valores que se asignan dependiendo de las condiciones son: Sensibilización, Regulación y Restricción para construir en zonas amenazadas por una inundación de acuerdo a la matriz sugerida por Werren y Lasri (2014). Las zonas más cercanas al propio canal representan las zonas en las que el flujo alcanza mayor velocidades y mayor profundidad lo que podía ser perjudicial para las personas que circulan en la zona, dado que hay dos universidades a su alrededor, un centro de aplicación preescolar y muchas empresas. También eventualmente es zona de gran concentración de personas por el Estadio Nacional de Fútbol.

Por otro lado, esta zona en los últimos años ha venido teniendo un incremento de empresas de tecnología, concesionarias de vehículos, de entretenimiento y bienestar (gimnasios, peluquerías, alimentos y estaciones de servicio, entre otros) además que la vía que atraviesa la rotonda de Este a Oeste es una de las principales vías alternas de la ciudad. Toda esta infraestructura también puede verse dañada por el flujo que podría circular si se alcanzará estos caudales.

Un método similar aplicaron Echogdali *et al.* (2022) utilizando la combinación de HEC-RAS y SIG para modelar la cuenca de Seyad, en comparación con el predijeron la probabilidad de que se produzcan inundaciones en diferentes momentos y determina la intensidad de la inundación y contrastaron los resultados con otro método, el Índice de Riesgo de Inundación (FHI) que consiste en análisis multicriterio para evaluar las zonas propensas al riesgo de inundación, utilizando seis parámetros físicos: permeabilidad, pendiente, distancia a los ríos, uso del suelo, densidad de drenaje y acumulación de caudal. Se calcula un peso a partir del método del proceso de jerarquía analítica y se aplica a cada parámetro, lo que permite establecer niveles de peligro de inundación sin mostrar la profundidad del agua. En ambos enfoques, se realizaron seis simulaciones con periodos de retorno de 10, 20,

50, 100, 200 y 500 años. La simulación reveló que las zonas más susceptibles de sufrir inundaciones son las situadas a lo largo del Wadi Seyad.

De igual manera el estudio realizado por Werren *et al.* (2016) fue llevado a cabo en un contexto de inundaciones fluviales, dando como resultados la zonificación en los cuales las inundaciones pudieran tener mayor o menor impacto. Al diferir del contexto pluvial brinda a este estudio mayor pertinencia por posicionarlo como uno de los pocos estudios realizados con esta metodología para este contexto a esta escala a detalle.

Conclusiones

Queda en evidencia que el desarrollo comercial trae consigo acciones que aumentan los Riesgos de Desastres si no se planifican correctamente. La actividad humana muchas veces en pro del desarrollo común de la comunidad convierte a elementos que antes no lo estaban en elementos expuestos y aumentan las probabilidades de un fenómeno se convierta en desastres. Como ha sido la construcción de puentes para habilitar las entradas y salidas dentro del diseño original de cauce. Las cajas puentes de la mayoría de los puentes nuevos instalados fueron construidas dentro del cauce, disminuyendo así la capacidad original con la que fue diseñado un construido originalmente, creando puntos de desbordamiento como se puede observar en la figura 10.

Por tanto, con base en los resultados obtenidos, es de importancia tomar en cuenta este estudio para gestionar el ordenamiento territorial, la cobertura y usos de la tierra en esta zona con el fin de disminuir las probabilidades de que ocurra un desastre, ya que la cartografía con base en la simulación indican que la mayor parte de los elementos expuestos a la amenaza de Inundación se ubican en zona de restricción, especialmente la infraestructura emplazada al Este del canal y al Noreste del mismo.

En Nicaragua, se ha establecido una guía para la Elaboración de Mapas de Inundaciones Fluviales que contempla umbrales similares al propuesto por Werren y Lasri (2014), sin embargo este método está diseñado para flujos constantes. Este estudio constituye una propuesta de metodología para abordar el análisis de las inundaciones pluviales en zonas urbanas y a

una escala a detalle. De manera es de utilidad para estudiar problemáticas en localidades pequeñas considerando sus propios contextos, características y limitaciones. Sin duda alguna esto trae aportes para la gestión de riesgos de desastres en la ciudad.

Es importante mencionar al finalizar este trabajo que como parte del proceso se enfrenta a retos que superar, para este estudio los desafíos encontrados fue la calidad de los datos. Se hizo uso del régimen de precipitaciones disponible de la Estación Meteorológica del Aeropuerto Internacional “Augusto C. Sandino”, pero su ubica a 14 km del área de estudio, ya que no se pudo obtener los datos de estaciones más cercanas que pudieran brindar mayor precisión a los resultados.

Otro de los desafíos, fue contar un Modelo de Elevación Digital (DEM) de al menos 50 cm de resolución, solamente se tuvo acceso a uno de 2 m. Por ahora en Nicaragua el uso libre de Drones está regulado por lo que no es factible considerar ese método para obtener información para el modelamiento del terreno.

Sin embargo, la experiencia del análisis deja mucho aprendizaje en cuanto a metodologías para el análisis de la Amenaza de Inundación en zonas urbanas que también forman parte de cuencas rurales, en la que se debe tener en cuenta, las condiciones en la partes medias y altas de la cuenca a la que pertenece la zona de estudio. Por otro lado, plantea una perspectiva distinta de como evaluar las inundaciones en este país, desde el enfoque de la concientización, regulación y restricción para emplazarse en las zonas propensas a enfrentar este fenómeno.

Reflexiones

Los resultados de este trabajo nos traen a reflexionar sobre qué tan efectiva está siendo la gestión de riesgos de desastres de inundación en general. En Nicaragua existe una fortaleza como bien se mencionó en cuanto a organización y normativa. Esto ha llevado al país a ser un referente en la región en cuanto a la gestión de riesgos de desastres producidos por diferentes tipos de fenómenos naturales.

Sin embargo, aún queda un camino por recorrer relacionado la concientización de las personas y la transferencia de los riesgos. El desarrollo urbano trae consigo muchos beneficios para la población, sin embargo, desde el punto de vista de los riesgos en ocasiones incrementa al menos uno de los factores del riesgo. Si consideramos que el riesgo de desastres es el producto de la amenaza por la vulnerabilidad por los elementos expuestos.

De acuerdo con entrevistas realizadas en complemento a este estudio, uno de los entrevistados mencionó que hace unos muchos años atrás en esta zona de la ciudad, había un microclima, sobre todo por estar cercano a la reserva de Mokorón al suroeste de la zona de estudio. La construcción de nuevas edificaciones ha provocado la disminución de la mancha boscosa incrementando la temperatura local.

Sumado a esto, en la parte media y alta de la cuenca con pendientes de moderadas a altas, han ocurrido cambios en los uso y cobertura de la tierra, cambiando de zona boscosa a zona agrícola. Todo esto genera que la tasa de infiltración disminuya y aumente la escorrentía en velocidad y volumen, sobre todo para partes media y baja de la cuenca, donde se encuentra nuestra área de estudio.

En el contexto de este análisis, el desarrollo de esta zona que se evidencia con nuevas edificaciones sobre todo en el costado oeste del cauce, por lo que requiere construir puentes para su ingreso. Esto ha traído modificaciones a la geometría inicial del cauce que circula por la zona debido a la construcción de caja puente sin tener en cuenta que efecto pueda generar esto en el flujo pluvial en la época de lluvia. Esto ha resultado en el desbordamiento del cauce en esos puntos de compresión del flujo.

Esto lleva a la reflexión sobre la efectividad de los reglamentos establecidos. La aplicación y efectividad no depende solamente de los reglamentos per se. Si no más bien, de la concientización de los actores involucrados en estos procesos. El conocimiento de los riesgos como parte del antes en el proceso de la gestión de riesgos es de gran importancia. Lo que lleva a pensar en que si los estudios de amenaza o estudios de riesgos de desastres están al alcance de todos los pobladores. ¿La transferencia de conocimiento está siendo efectiva y está teniendo impacto en todos los sectores de la sociedad?

Reconocimientos

Este estudio se basa en un proyecto realizado en el marco del Certificado de Especialización para la Evaluación y Gestión de Riesgos Geológicos y Climáticos de la Universidad de Ginebra (CERG-C) (<https://www.unige.ch/sciences/terre/CERG-C/>), con el asesoramiento del Prof. David Consuegra.

Quisiera destacar un reconocimiento a la UNAN-Managua, a la Dra. Maribel Avendaño, Vicerrectora de Investigación en el momento en que se llevó a cabo esta investigación, a la Dra. Heyddy Calderón y al MSc. Horacio Ulloa, directora y subdirector del Instituto de Geología y Geofísica por apoyar este trabajo de investigación.

También quisiera agradecer el apoyo brindado por Norwing Acosta y Walid Essiarab, que ha sido muy significativo para este trabajo. A mis compañeros y amigos, quienes han aportado en diferentes formas al desarrollo de este proyecto. Elliot Pérez, Erick Obando, Wilmor Arce, Weslin González, Karolina D'Trinidad, Osmany Calero, Karina Quiroz, Darling Castro y Keila Ballesterro.

Bibliografía

- ANA. (2002). *Codificación de cuencas hidrográficas por el método de Otto Pfafstetter*.
- Aparicio Mijares, F. J. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Limusa. http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoren/HIDRO/Fundamentos_de_hidrologia_de_superficie_-_Aparicio.pdf
- Apel, H., Merz, B., y Thielen, A. H. (2008). Quantification of uncertainties in flood risk assessments. *International Journal of River Basin Management*, 6(2), 149-162. <https://doi.org/10.1080/15715124.2008.9635344>
- Benites Ramos, J. M., Sevilla Gildemeister, J. C., Echevarría Suárez, W. J. y Campos Delgado, A. (2015). *Actualización de unidades hidrográficas y codificación de fuentes de agua superficial en ámbitos de administraciones locales de agua*. Ministerio de Agricultura y Riego del Gobierno de Perú. http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/memoria_descriptiva_a_uh_cas_ala_barranca.pdf
- Bermúdez, R. G. (2012). *Variación de las curvas de intensidad-duración-frecuencia de las lluvias en la ciudad de Salta y alrededores en dos momentos distintos del tiempo*. https://www.academia.edu/35522448/Variación_de_las_Curvas_de_Intensidad_

- Duración_Frecuencia_de_las_lluvias_en_la_ciudad_de_Salta_y_alrededores_en_dos_momentos_distintos_del_tiempo_Salta_República_Argentina_junio_2015_Campos Aranda, D. (1998). Estimación estadística de la precipitación máxima probable en San Luis Potosí. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 13(3), 45-66.
- Campos, D. (1998). *Procesos del ciclo hidrogeológico*. Universitaria Potosina. <https://ninive.uaslp.mx/xmlui/handle/i/3331>
- CEPREDENAC. (2017). *Política centroamericana de gestión integral de riesgo de desastres*. <http://cepredenac.org/wp-content/uploads/2021/02/PCGIR-informe.pdf>
- Chequere, W. (1989). *Hidrología para estudiantes de Ingeniería Civil*. <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/28689/hidrologia.pdf>
- Chow, V., Maidment, D. y Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada (Trad. M. Suárez)*. McGraw-Hill.
- Clark, C. O. (1945). Storage and the unit hydrograph. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 110(1), 1419-1446. <https://doi.org/10.1061/TACEAT.0005800>
- Coordinación Nacional de Protección Civil de México. (2016). *LGPC y su reglamento en relación con el PIPC*. <https://escuelanacionaldeceramica.com>
- Cruz Romero, B., Gaspari, F., Rodríguez Vagaría, A., Carrillo González, F., y Téllez-López, J. (2015). Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México. *Investigación y Ciencia (Universidad Autónoma de Aguascalientes)*, 64, 26-34.
- Di Baldassarre, G., Schumann, G., Bates, P. D., Freer, J. E., y Beven, K. J. (2010). Flood-plain mapping: a critical discussion of deterministic and probabilistic approaches. *Hydrological Sciences Journal*, 55(3), 364-376. <https://doi.org/10.1080/02626661003683389>
- Dottori, F., Salamon, P., Bianchi, A., Alfieri, L., Hirpa, F. A., y Feyen, L. (2016). Development and evaluation of a framework for global flood hazard mapping. *Advances in Water Resources*, 94, 87-102. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2016.05.002>
- Dourojeanni, A. y Jouravlev, A. (1999). *Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos*. Cepal.
- Echogdali, F. Z., Boutaleb, S., Kpan, R. B., Ouchchen, M., Id-Belqas, M., Dadi, B., Ikirri, M., y Abioui, M. (2022). Flood hazard and susceptibility assessment in a semi-arid environment: A case study of Seyad basin, south of Morocco. *Journal of African Earth Sciences*, 196, 104709. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2022.104709>
- González, A. (2004). Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. *Boletín de la AGEN*, 38, 311-329.
- Gravelius, H. (1914). *Flusskunde: Göschen Verlagshan dlug Berlin* (Ed. I. Zavoianu) Elsevier.
- GRUN-Nicaragua. (2021). *Plan Nacional de Lucha contra la Pobreza (pp. 0-189)*. [https://www.pndh.gob.ni/documentos/pnlc-dh/PNCL-DH_2022-2026\(19Jul21\).pdf](https://www.pndh.gob.ni/documentos/pnlc-dh/PNCL-DH_2022-2026(19Jul21).pdf)
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2023). *Climate change 2023: AR6 synthesis report* (pp. 35-115) [Contribución de los equipos de trabajo I, II y III de la Sixth Assessment Report del IPCC [Núcleo del equipo de redacción, H. Lee and J. Romero (Eds.)]. IPCC. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>

- Gumbel, E. J. (1941). The return period of flood flows. *The Annals of Mathematical Statistics*, 12(2), 163-190. <http://www.jstor.org/stable/2235766>
- Horton, R. E. (1932). Drainage-basin characteristics. *Eos: Transactions American Geophysical Union*, 13(1), 350-361. <https://doi.org/10.1029/TR013i001p00350>
- INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). (1989). *Base cartográfica*.
- INETER. (2004). *Huracanes Nicaragua: 1892-2002*. <https://webserver2.ineter.gob.ni/desliza/met/huracanes-list.html>
- INETER. (2010). *Amenaza de inundaciones del área de Managua y sus alrededores*. 81-93.
- INETER. (2011). *Mapa de drenaje de la subcuenca sur del lago Xolotlán*.
- INETER y COSUDE (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación). (2005). *Inundaciones fluviales: Mapas de amenazas: Recomendaciones técnicas*. INETER/COSUDE. https://www.shareweb.ch/site/DRR/Documents/About%20Us/Publication_Nicaragua_InundacionesFluviales_MET-ALARN_2005.pdf
- Jha, A. K., Bloch, R., y Lamond, J. (2012). Ciudades e Inundaciones: Guía para la gestión integrada del riesgo de inundaciones en ciudades en el siglo 21. Banco Mundial/GFDRR. https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Situation_Report_156.pdf
- Ley No. 337. (2000, 7 de abril). Ley Creadora del Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres. *La Gaceta: Diario Oficial [de Nicaragua]*, (70). [http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/\(\\$All\)/297E6E70F4940832062572020059E4CD?OpenDocument](http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/($All)/297E6E70F4940832062572020059E4CD?OpenDocument)
- Luchisheva, A. A. (1950). *Practical hydrology*. Gidrometeoizdat [Rusia].
- Moncada, R., y Tórriz, C. (2017, 28 de septiembre). Una hora de lluvia bastó para colapsar a Managua. *La Prensa [Nicaragua]*. <https://www.laprensani.com/2017/09/28/nacionales/2304672-lluvias-provocan-inundaciones-varias-partes-managua>
- NASA. (2020). *Earth data search*. <https://search.earthdata.nasa.gov/search/>
- Ordenanza Municipal 03-2009. (2009, 28 de octubre). Reorganización de los distritos de Managua y su correspondiente delimitación. *La Gaceta*, 1-13. [http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/%28\\$All%29/CB601E7A823CA0F2062576C600548A12?OpenDocument](http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/%28$All%29/CB601E7A823CA0F2062576C600548A12?OpenDocument)
- Pappenberger, F., Dutra, E., Wetterhall, F. y Cloke, H. L. (2012). Deriving global flood hazard maps of fluvial floods through a physical model cascade. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(11), 4143-4156. <https://doi.org/10.5194/hess-16-4143-2012>
- Rentschler, J. y Salhab, M. (2020). *People in harm's way: Flood exposure and poverty in 189 countries* (Policy Research Working Paper, 9447). Banco Mundial. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/34655>
- Robledo Molina, J. A. (2011). Metodología para la elaboración de mapas de amenaza por inundación. *Revista Científica ERIS*, 1(1), 1-9.
- Rosas, L. (2009). *Manual de procedimientos de delimitación y codificación de unidades hidrográficas*. UICN Sur.
- Sánchez San Román, F. J. (2011). *Hidrograma unitario de Clark*. Universidad Salamanca. <http://hidrologia.usal.es>
- Schumm, S. A. (1977). *The fluvial system*.

- Sy, B., Frischknecht, C., Dao, H., Consuegra, D., y Giuliani, G. (2019). Flood hazard assessment and the role of citizen science. *Journal of Flood Risk Management*, 12, 1-14. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12519>
- Úbeda Trujillo, I. E. (2018). *Dinámica de coberturas de la tierra y su relación con los patrones de escorrentía superficial en la subcuenca III de la cuenca Sur del lago de Managua, Nicaragua*. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
- UNDRR (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 (Resolución aprobada por la Asamblea General el 3 de junio de 2015)*. <https://www.undrr.org/es/framework-marco-de-sendai-para-la-reduccion-del-riesgo-de-desastres-2015-2030>
- UNDRR y CRED (Centro de Investigaciones sobre la Epidemiología de los Desastres). (2020). *El costo humano de los desastres: Una mirada a los últimos 20 años (2000-2019)*. UNDRR/CRED. <https://www.undrr.org/sites/default/files/inline-files/El%20Costo%20Humano%20de%20los%20Desastres%202000-2019.pdf?startDownload=true>
- Weiss, L. (1964). Ratio of true to fixed-interval maximum rainfall. *Journal of the Hydraulics Division*, 90(1), 77-82. <https://cedb.asce.org/CEDBsearch/record.jsp?dockkey=0013210>
- Werren, G., y Lasri, M. (2014). *Cartographie du danger d'inondation: Guide pratique pour l'application de la méthode suisse au Maroc*. Universidad de Lausana. https://www.shareweb.ch/site/Water/Documents/Cartographie%20du%20danger%20d%27inondation_FR.pdf
- Werren, G., Reynard, E., Lane, S. N., y Balin, D. (2016). Flood hazard assessment and mapping in semi-arid Piedmont areas: A case study in Beni Mellal, Morocco. *Natural Hazards*, 81(1), 481-511. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-2092-0>
- World Economic Forum. (2019). *Informe de riesgos mundiales*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Zavoianu, I. (1985). Morphometry of drainage basins. Morphometry of Drainage Basins. <https://www.researchgate.net/publication/38982899>

IV. Inclusión de la dimensión del riesgo en la planificación territorial: Dos casos de éxito en Colombia

FREDY BOLÍVAR GÓMEZ*

TOBÍAS LEYVA PINTO**

HÉCTOR MAURICIO RAMÍREZ DAZA***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.218.04>

Resumen

Este artículo aborda la importancia de considerar la dimensión del riesgo en la planificación territorial mediante el uso de geotecnologías de observación de la tierra. Se centra en dos casos exitosos en Colombia: El primero ocurrió después de una avenida torrencial en la ciudad de Mocoa, en el departamento de Putumayo; y el segundo caso sucedió en el río Cauca, en el municipio de San Jacinto del Cauca, donde la ruptura de un dique natural generó una inundación que afectó a unas 50 000 personas durante más de dos años.

En ambos casos, se utilizaron datos de sensores remotos (radar, LiDAR, sensores ópticos) y se complementaron con trabajo de campo para validar la información obtenida. A partir de estas observaciones, se pudieron establecer acciones de planificación territorial para la reconstrucción de Mocoa y para el direccionamiento de obras en el caso de Caregato.

* Maestro en Teledetección. CEO de Cuatro Conceptos S.A.S., Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2603-0219>

** Doctorando en Geografía. Coordinador de Ordenamiento y Gestión Territorial de Cuatro Conceptos S.A.S., Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4503-0230> ; Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=58125715400>

*** Maestro en Geografía. Director de Proyectos de Cuatro Conceptos S.A.S., Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1672-4076> ; Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57195258259>

Adicionalmente, los trabajos incluyeron fases de análisis de campo que permitieron determinar cuáles eran los mejores sensores remotos a emplear para cada uno de los diferentes tipos de actividades, como el levantamiento de información predial, geológica, de cobertura vegetal, edafológica e hidrológica, entre otras.

Los resultados obtenidos permiten evidenciar que el trabajo combinado en la obtención de datos de tecnologías geoespaciales y su procesamiento técnico, junto con el conocimiento empírico de las comunidades mediante procesos pedagógicos, es base fundamental para la generación de información útil para la toma de decisiones inteligentes en la planeación territorial de cara a un nuevo modelo de ocupación, que tenga en cuenta las amenazas naturales presentes y armonice las necesidades de la comunidad, para el desarrollo sostenible de los espacios naturales que necesariamente deben tener un manejo que privilegie la conservación.

Toda esta información permitió a los tomadores de decisiones llevar a cabo acciones sobre su territorio de manera informada, eficiente y oportuna, lo que resultó en un abordaje adecuado en torno a la gestión del riesgo de desastre.

Palabras clave: *Gestión del riesgo de desastres, radar, índice de turbidez, geotecnologías, LiDAR, Sentinel, Mocoa, Caregato, Colombia.*

Introducción

Dentro de la gestión del riesgo de desastres, las inundaciones y las sequías son los eventos hidrometeorológicos de mayor magnitud e impacto a nivel global por su impacto económico y por las pérdidas que ocasiona (Dominguez-Calle *et al.*, 2014), por lo cual a lo largo de los años se han realizado importantes avances para el monitoreo de estos eventos implementando desarrollos tecnológicos de mayor envergadura en cada ocasión.

Ejemplo de esto, son algunos ejercicios para medir el nivel máximo de áreas inundables intermitentes con sensores del tipo LiDAR (*light detection and ranging*) mediante la creación de modelos digitales del terreno (MDT) de alta calidad (Hall *et al.*, 2019), o que combinan múltiples herramientas

como sensores ópticos y el mencionado sensor laser Huang *et al.*, 2014; LaRocque *et al.*, 2020), existen adicionalmente otros trabajos que incorporen además de las herramientas ya mencionadas, tecnologías de imágenes de radar para la medición de las inundaciones (Geudtner *et al.*, 1996; LaRocque *et al.*, 2020; Matgen *et al.*, 2011; Mleczko y Mróz, 2018; Refice *et al.*, 2013).

En general, la predicción, atención y respuesta ante los eventos amenazantes ha evolucionado tecnológicamente con el paso del tiempo, impulsado por las múltiples herramientas disponibles en cada una de las fases de la respuesta ante cualquiera de los principales eventos amenazantes (Calvello *et al.*, 2014; Frigerio *et al.*, 2014; Ponziani *et al.*, 2023; Ramesh, 2014; Roy *et al.*, 2022), este texto abordará algunos ejemplos que se benefician de la mejora en los aspectos tecnológicos disponibles actualmente.

La gestión del riesgo de desastres también ha venido evolucionando fuertemente en Colombia, motivada, desafortunadamente, por la sucesión de eventos catastróficos que se dan en el territorio nacional y cuyos orígenes son muy variados, pero que siempre generan un gran impacto sobre las poblaciones afectadas por tales eventos.

Solo por citar algunos ejemplos, pueden señalarse la erupción del Volcán Nevado del Ruiz en 1985 (Flórez, 2009) que provocó más de 20 000 muertos; el terremoto de la ciudad de Cúcuta con más 5 000 víctimas letales; el terremoto del Eje Cafetero con alrededor de 1 250 fallecidos; los fenómenos de remoción en masa provocados por un evento sísmico en el municipio de Páez, Cauca, en 1994 con un número superior de 1 100 fallecidos; el deslizamiento de la población de Villatina para 1994 que superó los 600 muertos (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2007).

Por supuesto, cada uno de estos eventos tuvo implicaciones económicas considerables al punto de afectar gravemente el PIB colombiano, en el caso del eje cafetero se estimó un impacto del 2.2% (PNUD NU y Cepal 1999) y los esfuerzos de reconstrucción para la población de Mocoa se han cifrado en 1'181,433 millones de pesos según el documento CONPES 3904 para la reconstrucción de ese municipio (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2017).

Precisamente, en el marco de esta última emergencia en la población de Mocoa en el departamento del Putumayo, una de las falencias detectadas

posterior a la avalancha, fue la no aplicación de herramientas metodológicas adecuadas para el manejo de cuencas hidrológicas, esto propició la expedición de la resolución 957 de 2018 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible denominada: Guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia, y cuya implementación implica un mayor conocimiento de las condiciones de riesgo predominante en las zona de trabajo, y por ende, una mayor preparación ante los eventos de desastre.

Con estas consideraciones en mente, las autoridades locales de la población de Mocoa (Putumayo), solicitaron el desarrollo de una investigación que partió desde el conocimiento del territorio a través de la toma de datos detallados como imágenes de sensores remotos aerotransportados y LiDAR, lo que permitió entender las dinámicas físicas del paisaje lo cual, junto a la participación de las comunidades locales, permitió un entendimiento del territorio a tal grado que tanto autoridades como residentes del sector asumieron su papel en las dinámicas de la cuenca y las acciones a tomar ante futuros escenarios amenazantes.

Esta iniciativa dio como resultado, no solo un profundo conocimiento físico de las características de la cuenca que genero el evento de desastre en el año 2017 para esta población y que son señalados en la resolución 957/2018 como requisito indispensable como resultado de esta guía, sino que también generó un proceso de apropiación social del conocimiento por parte de la comunidad que habita la cuenca y cuyo resultado más tangible fue un producto de difusión de conocimiento, materializado mediante una cartilla de circulación masiva, que resumía las condiciones principales de la cuenca así como el modo de actuar frente a una emergencia y que fue socializada y distribuida en una serie de talleres con los habitantes de la cuenca.

Enmarcados en esta experiencia sobre Mocoa y en la búsqueda de nuevas oportunidades para aplicar los conocimientos adquiridos, se enfrentó un proceso de monitoreo del sector de Caregato en San Jacinto del Cauca en el departamento de Bolívar, en este lugar por la dinámica del río Cauca se produjo una ruptura del dique natural en un proceso de avulsión que inundó gran parte de las tierras bajas entre este punto y la ciénaga de Ayapel, afectando una cifra superior a las 125 000 personas, además de limitar la productividad de la zona (UNGRD, 2021).

A lo largo de dos años se realizaron diferentes acciones para llevar a cabo el cierre de este punto, siendo insuficientes hasta la fecha, pero desde febrero del 2023 se desarrolló un plan de trabajo que involucraba un monitoreo a partir de sensores remotos como complemento al seguimiento en terreno y el cual, permitió orientar las acciones tomadas por parte de la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) y del personal en campo.

Toda la información generada mediante estas herramientas le permitió a la UNGRD adaptarse a un entorno altamente dinámico como lo es el río Cauca y ofrecer respuestas oportunas que requería la comunidad y cuyo apoyo era fundamental para un adecuado desarrollo del proyecto.

En ambas iniciativas, tanto en Mocoa como en Caregato, se utilizaron herramientas tecnológicas de última generación para el monitoreo de un evento de desastre asociado a fenómeno hidrológico extremo y a través de un proceso metodológico muy detallado, se originó un documento orientado hacia la planificación del territorio que permitió integrar en diferentes fases a la comunidad, brindándoles herramientas que les permitieron dimensionar lo que estaba ocurriendo en su territorio así como el modo adecuado de enfrentarlo.

Si bien en ambos casos el apoyo mediante tecnologías geoespaciales ocurrió en momentos diferentes, en Mocoa una vez el evento ya había sucedido y en Caregato cuando el evento estaba en proceso, estas herramientas demostraron su valor y dejaron abierta la posibilidad para continuar desarrollando proyectos donde se pueda recurrir a este tipo de tecnologías de una manera cada vez más presente.

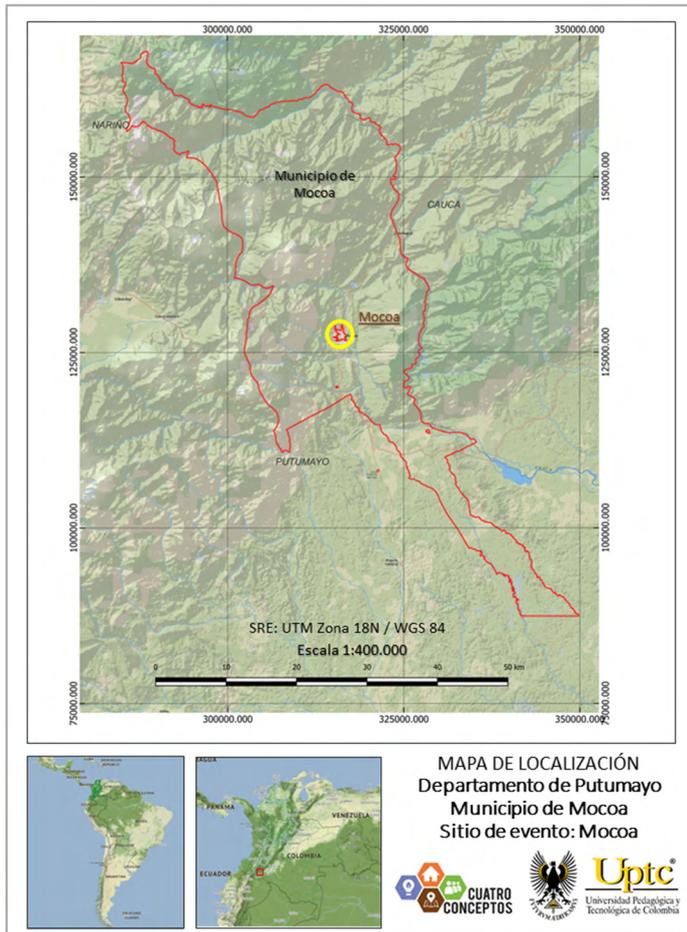
Desarrollo de una herramienta metodológica para mejorar la resiliencia ante desastres fluvio-torrenciales de la población de Mocoa

En la noche del 31 de marzo y 1 de abril de 2017, las lluvias provocaron una avenida torrencial en el municipio de Mocoa en Colombia, que es una entidad administrativa local con un tamaño de 1,263 km². A lo largo de las semanas previas, las lluvias habían ocurrido con relativa frecuencia, pero en la noche mencionada, el pico de precipitación fue tan elevado que produjo una serie de deslizamientos a lo largo de los ríos de la parte alta de la cabecera

municipal, lo que a sus vez desencadenó una serie de represamientos que finalmente generaron una avenida torrencial en la cuenca de los ríos Mulato y Sangoyaco y las quebradas Taruca, Taruquita, Conejo y Almorzadero.

Como resultado, se afectó la cabecera de este municipio y provocó la muerte de 330 personas según datos oficiales, así como 71 desaparecidos y pérdidas económicas que ascendieron a 315 millones de dólares.¹

Figura 1. Localización del área de trabajo, municipio de Mocoa



Fuente: Elaboración propia.

¹ <https://www.larepublica.co/globoeconomia/el-cambio-climatico-le-costo-us-314-5-millones-a-colombia-en-2017-2803808> Consulta realizada el 18 de Julio 2023.

En la evaluación posterior de la tragedia, se encontró que la población no sólo no estaba preparada para un evento de estas dimensiones, sino que tampoco comprendía la dinámica natural de su entorno. Estas condiciones crearon un contexto con baja capacidad de reacción ante fenómenos amenazante, algo que prospectivamente debía corregirse en aras de evitar repetir los errores presentados en el manejo de esta emergencia.

Figura 2. Vista aérea de los efectos de la avenida torrencial de Mocoa



Fotografía: Jhimmy Calvache (2017).

Enmarcado en estas circunstancias y amparado en el Decreto 2245 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), que reglamenta el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011 referido al acotamiento de las rondas hídricas se expidió la Resolución 957 de 2018, también del mismo ministerio y denominada “Guía técnica de criterios de acotamiento de las rondas hídricas en Colombia y se dictan otras disposiciones”.

Esta guía considera una visión integral de lo que se denomina rondas hídricas considerando aspectos geomorfológicos, hidrológicos, ecológicos

además de reiterar el involucramiento de los actores sociales para la protección y conservación de las cuencas. Este novedoso enfoque requiere un esfuerzo mucho mayor de tiempo y recursos, pero el resultado debe ofrecer alternativas no solo para evitar tragedias como las de Mocoa, sino también para el aprovechamiento de los recursos disponibles en el área de trabajo.

Con estas consideraciones, se abordó el desafío de realizar el “Estudio para el acotamiento de la ronda hídrica de los ríos Sangoyaco, Rumiyaco, Pepino y las quebradas Taruca, Taruquita y Almorzadero”. Siendo este el primer estudio que se apropiaba de las herramientas brindadas por la resolución 957 de 2018 y que generaba a partir de ellas un modelado sobre un área específica en el país.

Metodología caso 1 (Mocoa)

Inicialmente y como punto de partida, se recreó una línea base sobre el área de estudio que cubría espacialmente el casco urbano municipal y los cauces de las corrientes hídricas involucradas, para ello y para contar con información de muy alta resolución se diseñó y estableció de una red geodésica de orden tres la cual fue nivelada geométricamente, según especificaciones dadas por la resolución 068 del 2005 emitida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y actualizada posteriormente mediante resolución 715 de 2018 también del IGAC; adicionalmente, se llevó a cabo el proceso de cartografiar cuerpos de agua mediante técnicas convencionales de vadeo y captura de topografía de alta resolución, mediante el uso de sensores LiDAR de 500 kHz.

Adicional a lo anterior, se realizó un levantamiento fotogramétrico y cartográfico, además, siguiendo la metodología propuesta desde el MADS mediante la resolución 957 de 2018, se levantó información geológica, geomorfológica y de coberturas vegetales gracias a aerofotografías de resolución espacial de 8 cm y trabajo de campo que permitió obtener la información fisiográfica faltante.

La obtención de estos datos es crucial al momento de modelar el territorio ya que ellos permiten obtener una mirada del espacio de trabajo muy ajustada a la realidad, pudiendo predecir cualquier anomalía sobre la cuenca

de interés y determinar el impacto de cualquier pequeño cambio que pueda afectar la vida de las personas.

Vale la pena resaltar aquí que, con el avance de la tecnología de sensores remoto para la captura de datos adicional a la facilidad en el proceso de obtención de información, se tiende a dar mayor importancia al procesamiento, rapidez y cubrimiento que a la calidad misma de los datos, factor último que es realmente el punto crítico, ya que este define el adecuado modelamiento de las variables consideradas en cualquier estudio territorial.

En este aspecto es crucial el involucramiento de la población, por lo cual, a lo largo de todo el proyecto se propició un acompañamiento de las diferentes comunidades que habitaban las cuencas de interés, para que participaran activamente en el proceso de caracterización y formulación prospectiva para la ordenación de sus cuencas.

La resolución 957 de 2018 del MADS, también señala como vital el involucramiento de estos actores para las acciones de conservación, protección y manejo, en cuyo caso es siempre deseable que la comunidad conozca su territorio para fortalecer los procesos de apropiación (Ramírez Velázquez y López Levi, 2015).

Respecto a los datos tomados con sensores LiDAR, su uso permitió delimitar la estructura de la vegetación, que es uno de los requisitos de la guía para la delimitación de cuencas. Con el insumo obtenido se procedió a identificar las áreas boscosas y de cultivos que es uno de los factores condicionantes en la ocurrencia de avenidas torrenciales, así como de fenómenos de remoción en masa (Highland y Bobrowsky 2008; Reid *et al.* 2012; Ventura, Vilaro, y Terranova 2013; Calvello *et al.* 2014; Vargas Cuervo 1999).

La clasificación de la vegetación también tuvo un fuerte componente de campo para corroborar la clasificación florística realizada a partir de aerofotografías Visible + Infrarrojo, para la identificación de corredores biológicos y de conectividad en las áreas próximas a la vegetación riparia de las cuencas hidrográficas analizadas.

Estos dos productos facilitaron que la aproximación desde el componente geomorfológico fuera de muy alto detalle, acorde a las indicaciones del Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2017; Rodríguez Castiblanco *et al.*, 2017), lo que redundo en que el proceso de generación de unidades fuera muy detallado y preciso.

Todos estos insumos fueron la base para el análisis hidrológico e hidráulico en una fase posterior, para determinar el comportamiento de las diferentes cuencas de interés con tasas de retorno de eventos extremos de 5, 10, 15, 25, 50 y 100 años, identificando en ellas tanto el impacto de posibles inundaciones y avenidas torrenciales, así como el área que ocuparía el cauce ante cada uno de las proyecciones de estos eventos de desastre.

Posterior a ello y con la información obtenida, se definieron con exactitud los límites de las unidades de interés, las características intrínsecas a cada una de estas y posterior a los talleres de reconocimiento del territorio, se realizaron eventos de planificación y socialización de los resultados para dar por cerrado el proyecto.

Resultados

El conocimiento del territorio como herramienta para la gestión del riesgo de desastre

Dentro de los productos generados, derivados de este trabajo, el que cobra mayor importancia es un plan de manejo de gestión del riesgo, inmerso dentro del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio y la subsecuente creación de un sistema de alerta temprana ante eventos torrenciales, como el acaecido el 1° de abril en el casco urbano del Mocoa, por lo tanto, los requerimientos a nivel de calidad de la información para este proyecto fueron de la mayor exactitud y calidad posible.

El proyecto debe garantizar que todo el conocimiento generado redunde en la mejora de la calidad de vida de los habitantes del territorio, y en este caso debe verse reflejado en planes y acciones que limiten al máximo la posibilidad de pérdida de vidas humanas o de la infraestructura considerada crítica para el mantenimiento de estas, buscando siempre una interacción con la comunidad que le permita apropiarse de tales instrumentos.

En este sentido las nuevas herramientas tecnológicas, empleadas a lo largo de este proyecto permitieron la captura de información con un altísimo grado de detalle, con una mejora significativa de la precisión de la información disponible para realizar ejercicios de planificación territorial, lo

que aunado a la capacidad de procesamiento y los nuevos desarrollos en software y algoritmos, facilitan los procesos de modelación del territorio en periodos menores y un mayor grado de detalle, que de otro modo serían muy desafiantes de abordar, por lo menos al mismo grado de complejidad.

Estos insumos de alto detalle, como por ejemplo el modelo digital de elevación del terreno (MDT) de muy alta resolución (10 cm), al igual que una red geodésica calibrada localmente en el territorio para asegurar la calidad y precisión de cualquier medición llevada a cabo sobre el área de trabajo, permitieron que las aerofotografías aéreas de 8 cm de resolución, fueran empleadas para generar cartografía a escala 1:1,000 para entornos urbanos y 1:5,000 para los rurales que corresponde a los límites definidos por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) para la cartografía de detalle.

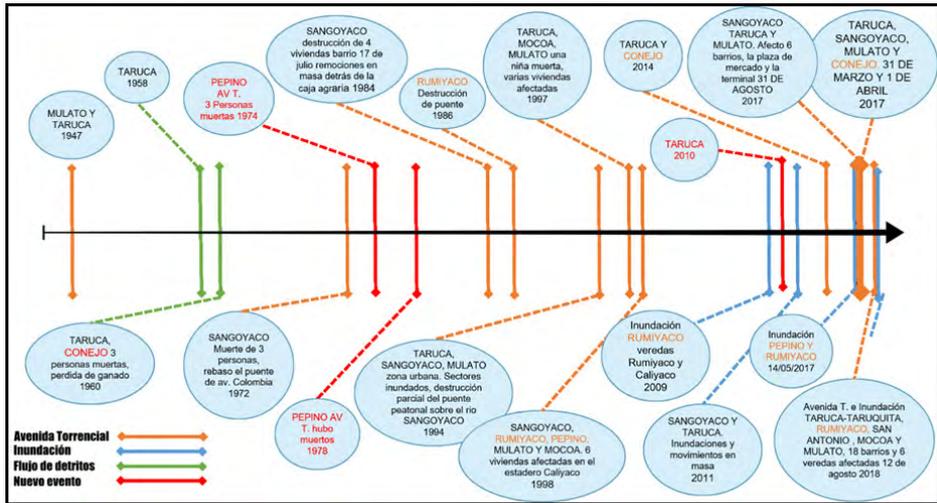
Estos datos también fueron suministrados al componente hidrológico e hidráulico, lo que permitió generar análisis para periodos de retorno de 5, 10, 15, 25, 50 y 100 años en donde se definieron las áreas críticas ante cada escenario de inundación y los impactos derivados de tales eventos, esta información fue puesta a disposición de los diferentes actores territoriales locales.

El facilitarle estas herramientas a la comunidad de una manera estructurada y asequible, permitió que la población misma generará dinámicas diferentes sobre el modelo de ocupación y ordenación del territorio, lo que a su vez facilitó las labores de intervención por parte de los actores administrativos locales, redundando, por supuesto, en un mejor proceso de toma de decisiones acorde a las necesidades de la población, aspecto evidenciado mediante los 38 espacios de participación llevados a cabo en las diferentes cuencas de trabajo, con 1 212 participantes, de los cuales, buena parte de ellos pertenecían a las 41 comunidades indígenas identificadas localmente.

A lo largo de todo este proyecto, la participación de la comunidad se constituyó en un elemento crucial, ya que permitió un acercamiento de primer nivel a la población y en donde se conocieron sus expectativas hacia este desarrollo metodológico, además de establecer otra línea base enfocada en el entorno socio económico e histórico, fruto de esto se obtuvo por ejemplo, la identificación de eventos pasados similares ocurridos en el área de investigación y el impacto que estos fenómenos tuvieron en la comunidad (figura 3), este trabajo fue complementado y corroborado mediante una revisión

bibliográfica de diferentes fuentes, que recopilaban la ocurrencia de eventos de desastre en Mocoa y que permitió abordar la problemática desde un enfoque mucho más social.

Figura 3. Línea de eventos históricos de inundaciones y avenidas torrenciales en el municipio de Mocoa obtenido a partir de revisión bibliográfica y talleres con la comunidad



Fuente: Elaboración propia.

Este proceso con la comunidad a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto se realizó de manera focalizada acorde al lugar de residencia, de los participantes, lo que permitió que grupos sociales con las mismas necesidades e intereses respecto a la cuenca en la que habitaban, pudieran compartir su conocimiento y ofrecer ópticas complementarias a los datos adquiridos por sensores remotos.

Finalmente, estos insumos tecnológicos, aunados al conocimiento del territorio, permitieron individualizar cada cuenca con su aparatado geológico, geomorfológico, hidráulico, ecológico y social, facilitando el desarrollo de planes de manejo individuales para cada cuenca, donde se consideraron todos los actores de la misma, además que, el ejercicio prospectivo llevado a cabo, permitió asimilar la gestión del riesgo de desastre como una dimensión necesaria, para cohabitar en espacios tan dinámicos como en estas cuencas intramontanas.

Con esta información se logró definir el límite físico de las diferentes cuencas de interés, elemento que fue socializado con las comunidades en los talleres realizados, en donde además se les dieron a conocer las razones que motivaron tal definición. Basados en esta información se continuó con un componente de carácter eminentemente social en el cual se llegaron a conocer los diferentes modelos de apropiación del territorio, al igual que los diferentes procesos organizativos y participativos que ocurren en cada cuenca.

Este proceso de reconocimiento territorial a cargo de los diferentes actores, vino acompañado de una evaluación de servicios ecosistémicos disponibles y de la identificación de posibles conflictos ambientales, con el fin de determinar el plan de acción e intervención sobre la cuenca, para a su vez, suministrar insumos identificados con este trabajo como los determinantes ambientales a otros instrumentos normativos como los planes de ordenamiento territorial (POT) o los Planes de Ordenamiento y Manejo de las Cuenas Ambientales (POMCA).

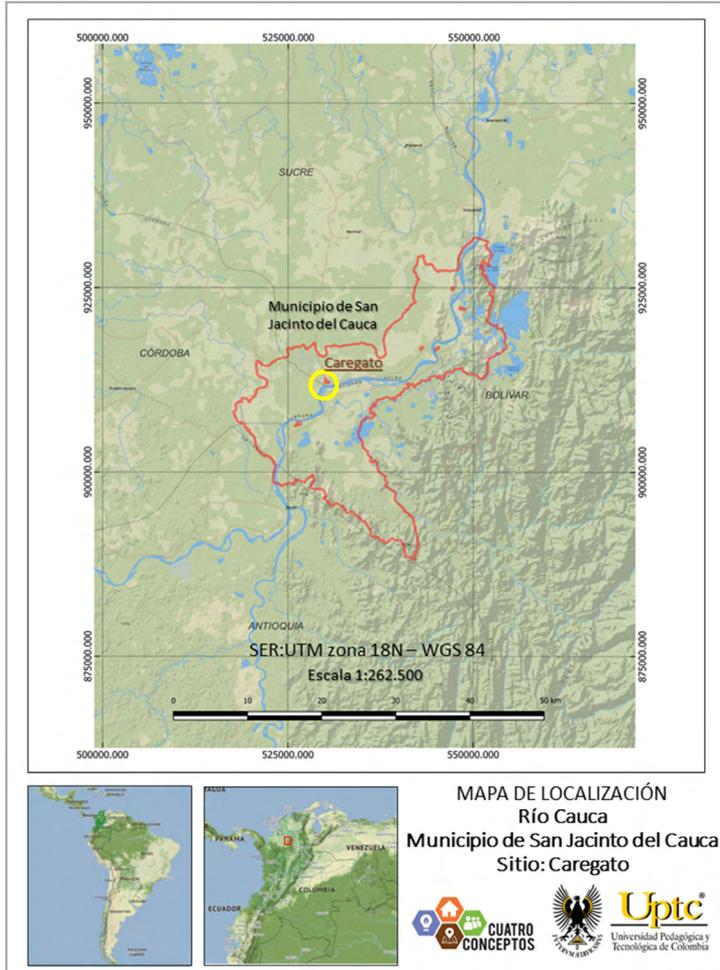
Fortalecimiento de la resiliencia de comunidades fluviales ante los eventos de desastre

El caso de Caregato ilustra un buen ejemplo de la vinculación de datos geospaciales de libre acceso junto a datos de sensores aerotransportados e información de campo y lo que pueden llegar a ofrecer para enfrentar una emergencia; esto en la medida que las imágenes de satélite que se emplean usualmente para establecer la línea base de un proyecto provienen de fuentes abiertas, posteriormente, todos estos análisis son mejorados en escala mediante el uso de sensores de mayor resolución espacial; en este caso en particular, estos datos permitieron tomar acciones encaminadas al cierre del punto de ruptura de Caregato y a la mejora en la capacidad hidráulica del río Cauca mediante la apertura del denominado “Canal de La Esperanza”.

El día 28 de agosto de 2021, después de varios días de intensas precipitaciones el río Cauca rompió el dique natural del sector denominado “Caregato” (figura 4), la grieta, de unas decenas de metros en el momento de

su ruptura, creció de manera continua hasta alcanzar más de 1 600 metros de longitud en unas pocas semanas dificultando su cierre.

Figura 4. Localización del área de trabajo, municipio de San Jacinto del Cauca (sector de Caregato)



Fuente: Elaboración propia.

Este fenómeno generó una inundación, hacia el norte del punto de ruptura, de tierras que se empleaban para cultivos así como suelos de pastoreo; del mismo modo, múltiples viviendas se vieron afectadas por este evento sin contar las implicaciones sanitarias que para la población tuvo el anega-

miento de áreas contiguas a sus lugares de residencia, ni la limitación en los desplazamientos debido a la destrucción de caminos al interior de región de La Mojana y con ello los subsecuentes problemas comerciales o educativos para los habitantes del sector.

En este escenario, la Unidad Nacional para la Gestión de Riesgo de Desastre (UNGRD) pone de manifiesto la necesidad no solo de cerrar el punto de ruptura, sino de evaluar el impacto de las acciones adelantadas en campo para llevar a cabo esta tarea, por lo cual monitorear las condiciones del río de manera semanal y su evolución se hace crucial.

Enmarcado en esos requisitos se desarrolla el presente trabajo, el cual, gracias al uso de diversas herramientas geoespaciales junto a métodos tradicionales, permitió el monitoreo y evaluación de las obras adelantadas en campo, así como el seguimiento continuo del comportamiento del río Cauca, lo cual facilitó a la UNGRD la toma de decisiones informadas soportadas en los datos analizados a lo largo de este trabajo.

A continuación, se presentan los principales aspectos a resaltar fruto del trabajo desarrollado para el control y seguimiento de las obras llevadas a cabo en el sector de Caregato y el impacto que los sensores remotos y su respectiva evaluación, ofrecieron a la UNGRD para la oportuna toma de decisiones.

Metodología caso 2 (Caregato)

El proyecto fue dividido en tres componentes complementarios entre sí, el primero corresponde al de análisis de campo en el cual un profesional se encontraba en las máquinas de dragado dispuestas para tal operación por la UNGRD y era el encargado de brindar día a día informes sobre la situación presente del río, permitiendo obrar en consecuencia o responder a eventos puntuales en territorio.

El segundo equipo fue el encargado del análisis de datos de sensores remotos, esto incluía sensores activos satelitales del tipo radar Sentinel 1 y Cosmo SkyMed que permitían realizar el seguimiento bajo cualquier condición climática, en este grupo de sensores se encuentran también los datos Lidar aerotransportados, que permitieron obtener valores de altura para la posterior generación de un modelo digital de elevación del terreno.

En el grupo de sensores pasivos se trabajó con datos de los satélites Landsat 8 y 9 así como de Sentinel 2 y con esta información se determinó la concentración de sedimentos superficiales. Para complementar estos análisis en el apartado de resolución espacial se usaron datos de los satélites Ónix con 0.5 metros de resolución y se realizó un vuelo para adquirir datos aerofotográficos con hasta 0.08 metros de resolución espacial en longitudes espectrales de visible e infrarrojo.

El tercer grupo de trabajo fue el encargado de realizar los levantamientos batimétricos, así como el modelamiento hidráulico del tramo de estudio. En este caso se programaron dos campañas para realizar un levantamiento completo de las secciones de trabajo y seis monitoreos en diferentes momentos que evidenciaran el avance de la intervención llevada a cabo por las dragas y determinar si estas acciones se ajustaban a lo planeado mediante modelamiento.

Estos tres grupos de trabajo realizaban de esta manera un monitoreo continuo y complementario sobre el territorio de forma diaria, semanal y mensual, cada uno de ellos aportando información diferente para entender la dinámica propia de la zona y ejecutar acciones en concordancia con lo observado para la ampliación del canal de la Esperanza, así como del mantenimiento de la capacidad hidráulica del río Cauca.

Monitoreo de campo

Las labores de monitoreo de campo fueron llevadas por un profesional que a diario acompañaba las dragas hasta su destino sobre el tramo del río Cauca a intervenir mediante acciones de dragado. Estas acciones eran planificadas gracias a los datos obtenidos de sensores remotos en coordinación con la UNGRD y semanalmente se definía en que tramo se intervendría con los respectivos equipos, de esta manera la función primaria de este acompañamiento fue el que se revisara las actividades en la zona que se había planificado.

Además de lo anterior, este profesional estaba encargado de informar cualquier incidencia que afectara el normal desarrollo de las actividades, y tenía la autonomía para situar la draga en donde él identificara que tendría

mayor impacto siempre y cuando fuera dentro de la zona señalada como prioritaria al inicio de la semana.

Una de las labores cruciales de este equipo era escuchar a las comunidades locales, las cuales, debido a la disminución del caudal del canal principal, que fue hasta en un 70% de su flujo original, presentaban problemas con sus desplazamientos sobre algunas zonas y en algunos momentos transmitían sus requerimientos a la UNGRD a través de este personal, con esto se podía atender eventos puntuales y evitar futuras emergencias.

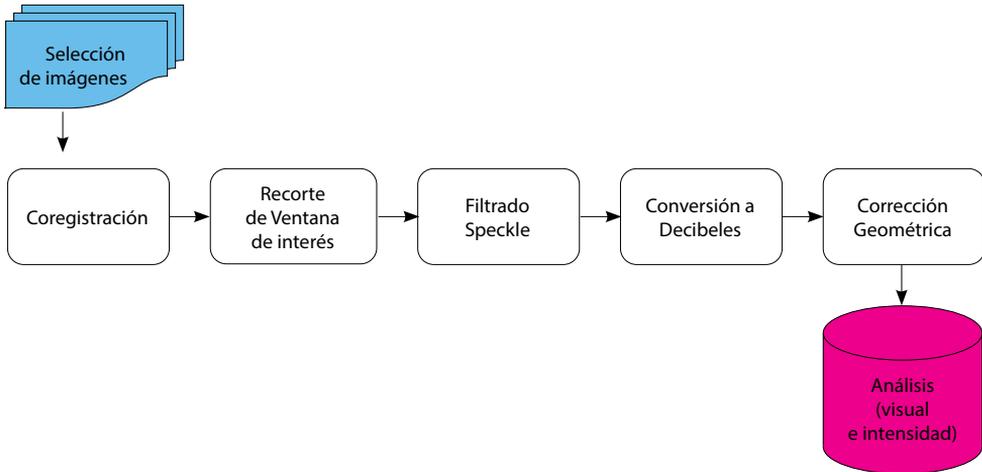
Monitoreo mediante imágenes de sensores remotos

Complementario al monitoreo en campo, se realizó un seguimiento mediante sensores satelitales activos y pasivos del área de trabajo, en este caso se dio prelación a los primeros, en especial al sistema Sentinel 1B de banda espectral C que, por ser un tipo de radar, no se veía afectado por condiciones climáticas adversas y garantizaba un monitoreo de entre 5 o 7 días, acorde al modo de toma de los datos (ascendente o descendente). Adicionalmente, se contó con información de los satélites Cosmo SkyMed de 1 metro de resolución en banda espectral X (Jo *et al.* 2015), para corroborar algunas mediciones respecto al tramo de estudio.

Las imágenes de radar fueron procesadas siguiendo el proceso metodológico sugerido por la Agencia Espacial Europea (ESA) (figura 3) (Sarmap 2007; Ferretti *et al.*, 2007) y el único paso que se omitió es la remoción del ruido termal (*Thermal noise removal*) porque no se encontró una mejora sustancial de las imágenes adicionando este paso, incluso en los cursos de ARSET² no es considerado un paso fundamental para el procesamiento de este tipo de datos.

² Applied Remote Sensing Training Program. <https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/spanish/arset-introduccion-al-radar-de-apertura-sintetica> Consulta realizada el 18 de Julio de 2023.

Figura 5. Esquema de procesamiento de datos SAR empleada para los datos Sentinel 1B



Fuente: Elaboración propia.

Las imágenes de radar fueron empleadas para la delimitación de orillas, la identificación de zonas con presencia o ausencia de agua y finalmente para la identificación de carga de sedimentos superficiales en el río Cauca gracias a la retrodispersión del radar. Como ya se señaló anteriormente el sensor Sentinel 1 ofrece una revisita de un punto en ciclos de 5 y 7 días, lo cual es ideal para un control semanal permitiendo ver el impacto de las obras llevadas a cabo, así como proyectar las futuras acciones a realizar para cumplir las metas propuestas por la UNGRD.

La separación entre el terreno anegado y el seco se dio gracias a la constante dieléctrica (Nathanson *et al.*, 1991; Bamler y Hartl 1998; NATO/OTAN, 2004) producto del comportamiento entre las ondas electromagnéticas provenientes del radar y la presencia de agua en este caso. Esta característica permite separar con relativa facilidad los cuerpos de agua de su entorno, lo que resulta crucial a la hora de definir las orillas o los límites del área inundada.

De otro lado, el monitoreo con sensores satelitales pasivos incluyó datos de Landsat 8 y 9, Sentinel 2 e imágenes de Planet Scope, además de aerofotografías en visible + infrarrojo. La resolución de estos datos variaba entre 30 y 0.1 metros. Su importancia radica en que gracias a los mismos fue posible generar el Índice Normalizado Diferencial de Turbidez (NDTI)

(Lacaux *et al.* 2007), el cual permitió monitorear el flujo de sedimentos superficiales en las aguas del río Cauca. El NDTI emplea dos bandas espectrales: verde y rojo, ambas disponibles en los sensores seleccionados.

Monitoreo mediante análisis hidráulico

Este componente del proyecto se realizó en momentos puntuales mediante batimetría de ecosonda y permitió la generación de un modelo digital del fondo del río en el tramo de interés, así como la obtención de secciones batimétricas sobre el río Cauca, sobre otros sectores de interés identificados para la posterior generación de un modelo hidráulico, lo que permitió evaluar el comportamiento de este cuerpo de agua y en función de ello se trazaron las acciones a seguir por parte de la UNGRD.

Las batimetrías fueron realizadas con sondas monohaz en secciones trazadas cada 100 metros, además de lo cual, se tomaron puntos de fotocontrol en áreas próximas al río para la calibración tanto de estos datos, como de las fotografías aéreas tomadas en el componente de sensores remotos. El objetivo de estas batimetrías fue brindar un panorama del lecho del río al inicio del proceso de monitoreo y control y en diferentes momentos a lo largo de la intervención, que permitieran constatar el avance de las acciones realizadas en campo y obrar en consecuencia con las mismas.

Estos datos junto al modelo digital de elevación de terreno (MDT), sirvieron como insumo para que se modelara el comportamiento del río y se proyectara el tipo de intervención a realizar para el cierre del río Cauca en el punto de ruptura.

Resultados

Acciones para la toma informada de decisiones

Administrativamente, el proyecto inicia con la oficialización del proceso de dragado y adecuación hidráulica del río Cauca, con lo cual, la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) se encargó de efectuar

un contrato para la vigilancia de esta obra que no se limitara únicamente al control de la misma, sino que, a través de múltiples herramientas geoespaciales, pudiera realizar, además del procedimiento típico, que es este seguimiento, también determinar el impacto de las acciones llevadas a cabo en campo de manera periódica y en plazos no mayores de una semana, para reorientar sus trabajos cuando así se determinara.

Este nuevo tipo de interacción entre la UNGRD, el contratista y el encargado de supervisar las obras, permitió además una interacción con la comunidad mucho más cercana; con este nuevo enfoque, el plan de trabajo fue socializado con los interesados locales, así como el impacto de las acciones a realizar y de estas interacciones se recogieron las inquietudes de las personas respecto a la intervención puntual de algunas zonas, para facilitar sus desplazamientos en algunos tramo del río Cauca o solventar problemas en zonas específicas, producto de la pérdida de capacidad hidráulica del río.

Con esto, se cumplió el primer componente planteado en el cronograma de trabajo que era el reconocimiento local de la zona y de los interesados en el proyecto. Posterior a ello, se desplazó a campo la comisión de batimetría e hidráulica para obtener información de las condiciones hidrodinámicas del río y poder modelar el comportamiento de este como se indica en la metodología

Paralelo a esto, se obtuvieron las imágenes de satélite previas al evento para establecer una línea base en la que se pudiera verificar como era el comportamiento del río antes del proceso de avulsión y de igual manera se hizo para determinar comportamiento posterior al mismo, además de calcular el índice de turbidez, la información proveniente del sensor satelital de radar Sentinel 1 fue actualizada a partir de esto cada vez que el satélite tomaba una escena de la zona, siendo el plazo máximo cada 7 días, y este proceso se materializó como el componente central del proceso de monitoreo.

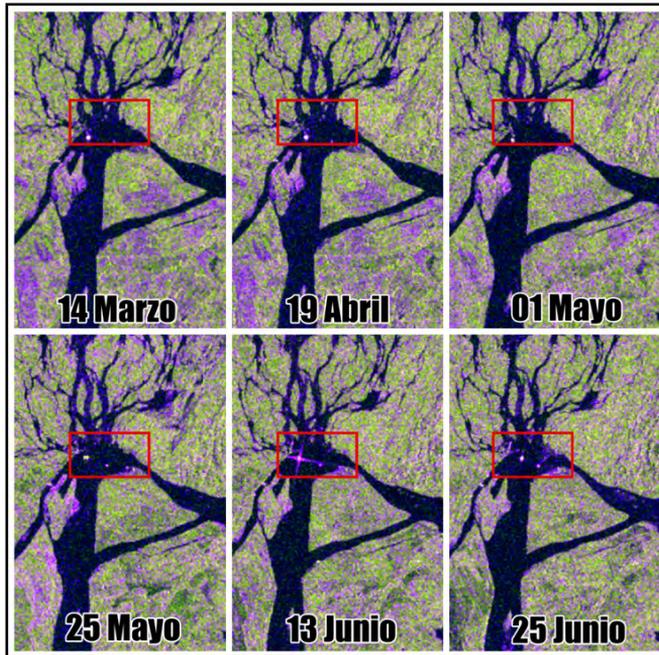
Estos datos fueron suministrados a la UNGRD mediante informes periódicos, y presentaciones en los cuales se les informaba:

- La posición predominante de los sedimentos superficiales mediante el Índice Normalizado Diferencial de Turbidez (NDTI).
- La posición predominante de los sedimentos superficiales mediante interpretación de radar.

- El comportamiento de las barras aluviales en el área de trabajo.
- El comportamiento de las orillas.
- El tamaño del punto de ruptura.
- La localización de las dragas y otros objetos antrópicos capaces de ser identificados mediante sensores remotos.
- Las áreas anegadas de interés en el perímetro de Caregato.
- El comportamiento de las aguas en el punto de avulsión.
- Las necesidades y requerimientos de la comunidad.

Una vez establecida la línea base, se emplearon los datos del satélite Sentinel-1 para hacer el monitoreo del espejo de agua activo, aprovechando la retrodispersión del satélite para identificar de manera superficial, la localización y disposición de los sedimentos en suspensión, así como el cuerpo de agua (figura 6), algo que fue corroborado posteriormente mediante los sensores ópticos y el índice de turbidez (Lacaux *et al.*, 2007).

Figura 6. Comparación de elementos identificados sobre imágenes Sentinel 1B

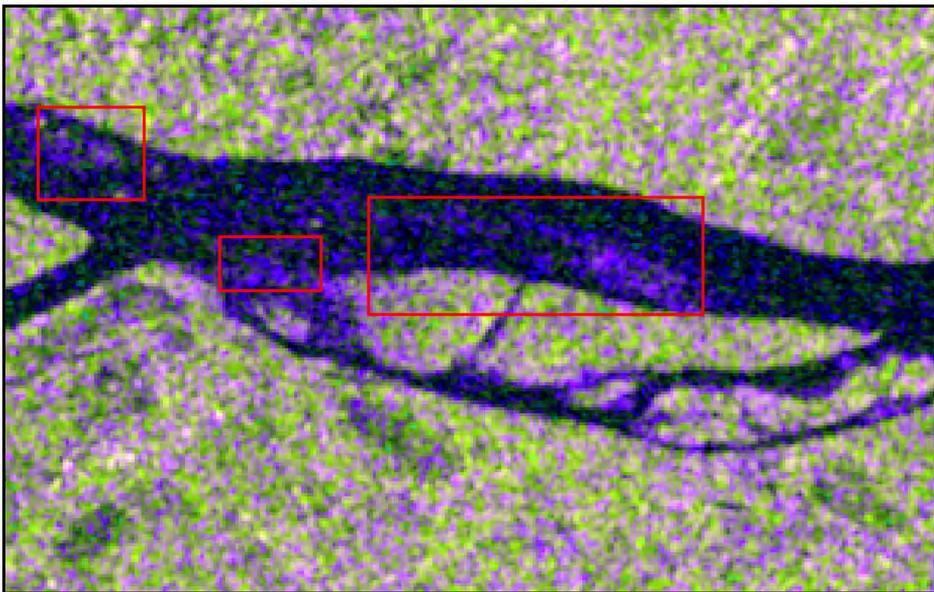


Fuente: Elaboración propia.

Debe primero indicarse que la señal de radar se comporta de manera especular ante los cuerpos de agua (Sarmap 2007), esto significa que la señal que es emitida oblicuamente por el sensor sobre el río, al entrar en contacto con la superficie de agua se refleja en dirección opuesta al punto de emisión, con esto la información que se recibe de vuelta es muy poca y visualmente estas zonas tienden a ser muy oscuras Alsdorf *et al.*, 2000).

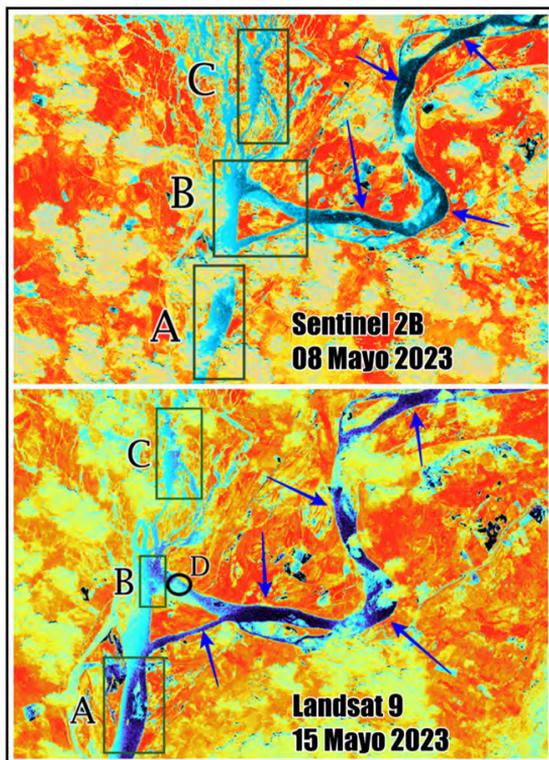
Estos tonos oscuros en los cuerpos de agua tienen a variar bajo dos condiciones: La rugosidad, producto del oleaje del agua (Goldstein y Zebker, 1988) y la cantidad de sedimentos en el agua, la cual altera la retrodispersión de la señal (Brown y Lucieer, 2015; Shao *et al.*, 2021). Con esta información y realizando una ecualización local del histograma, se identificaron los principales puntos donde se aglutinaban los sedimentos (figura 7), lo que fue posteriormente corroborado mediante un índice de turbidez (figura 8) (La-caux *et al.*, 2007), y observaciones en campo.

Figura 7. Caracterización de flujo de sedimentos sobre imágenes Sentinel 1



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8. Índice de turbidez realizado sobre imágenes Sentinel 2



Fuente: Elaboración propia.

Como se indicó anteriormente, para verificar elementos puntuales y constatar datos adicionales, se utilizaron imágenes Cosmo SkyMed de 1 metro de resolución espacial con polarización HH. Del mismo modo, en la fase inicial del proyecto se contó con un modelo digital de elevación del terreno con una resolución de 10 metros por pixel y que fue procesado a partir de interferometría del satélite de radar argentino SAOCOM de banda L.

La imagen satelital óptica Planet Scope fue necesaria por un evento puntual, ya que se evidenció la presencia de un alto flujo de sedimentos atípicos en el área de trabajo, caracterizado gracias a las imágenes Sentinel 2 (figura 8) sin que se pudiera, desde laboratorio, encontrar una causa natural que permitiese correlacionar su ocurrencia, tras la verificación en campo,

se encontraron más de 30 dragas artesanales, algunas de las cuales fueron identificadas en esa imagen de alta resolución.

Complementario a lo anterior se planeó la toma de imágenes digitales aerotransportadas, las cuales fueron tomadas junto a los datos LIDAR, la adquisición de esta información se programó para la última fase del proyecto, para evidenciar la situación de las obras al cierre de del proyecto y determinar el estado del avance después de 3 meses de trabajo con un alto grado de detalle. Estas imágenes poseían una resolución espacial de 10 centímetros y contaban con cuatro bandas espectrales: visible + infrarrojo.

Este flujo de información suministrado de manera continua a lo largo del proyecto permitió determinar qué puntos intervenir mediante el dragado acorde a la dinámica del río. La única excepción a esto ocurría cuando la comunidad en momentos puntuales solicitó la ayuda para dragar orillas o caños de interés debido a la afectación que la sedimentación del río podría producirles.

Una vez procesada la batimetría y con toda la información base ya colectada, se efectuó al planteamiento de diferentes alternativas hidráulicas que facilitarían el cierre del punto de ruptura, considerando que la mejor de ellas era la ampliación del denominado canal de La Esperanza, localizado al sur del sector de avulsión sobre paleo meandros dejados por el mismo Cauca, con lo que se garantizaba continuar con la dinámica propia del río, que en algún momento se encontraba sobre este punto.

El monitoreo y reporte continuo permitió además responder requerimientos específicos de los entes de control, los cuales requerían verificar el avance de las obras y la adecuada destinación de los recursos públicos, lo cual es de vital importancia para las entidades estatales y la veeduría ciudadana.

Conclusiones

Las experiencias presentadas en este trabajo ejemplarizan dos tipos de emergencias diferentes, y que fueron enfrentadas en dos momentos dispares, en el caso de Mocoa fue posterior a la emergencia y en el caso de Caregato, fue durante la ocurrencia del evento. Ambas fueron soportadas gracias a los avances en geotecnologías actuales como herramienta para el análisis geo-

gráfico, resaltando en los dos casos la importancia de estas técnicas para la construcción social del territorio, así como para una adecuada planificación del uso y apropiación del mismo.

Metodológicamente, en cada caso se combinaron los procesos técnicos y normativos sobre el pilar del conocimiento de los habitantes de los sectores afectados y la armonización pedagógica para el cambio, en el modelo de ocupación que tradicionalmente se ve enfrentado entre la oferta ambiental de estos territorios y las necesidades básicas de la población que allí reside.

Ambos análisis denotan que en Colombia la preparación ante las emergencias es reducida, si bien existen instrumentos normativos, esto son poco conocidos o tienen un rango de acción limitada, por lo cual no siempre son tomados en cuenta en los procesos de planificación del territorio.

También y sobre el mismo punto puede señalarse que los recursos para la preparación y mitigación ante el riesgo de desastre son limitados, por lo cual muchas entidades territoriales los destinan al fortalecimiento de cuerpos de bomberos, construcción de obras como taludes u obras que la comunidad requiere de manera inmediata, y no a la preparación ante eventos catastróficos de los cuales se desconoce su recurrencia o impacto.

El proceso de atención de emergencias recae sobre el gobierno central, por lo cual las entidades locales prefieren esperar a que el gobierno nacional sea quien destine recursos para estas afectaciones. Localmente puede verse en el caso de Caregato, en el cual el municipio no cuenta con recursos y es la nación quien entra a apoyar el proceso de cierre del punto de ruptura. En este caso se evidenció en campo que es la comunidad afectada, quien entra a apoyar de manera artesanal las actividades para la atención de la emergencia y quien se apersona del proceso de veeduría para garantizar la ejecución de la obra.

En Mocoa, la participación de la comunidad fue más reactiva y surgió como respuesta a la emergencia a la que se vieron avocados, posterior a ella en el proceso de evaluación del evento y construcción para la resiliencia de la población, las diferentes comunidades si tuvieron un papel más activo y se involucraron en todas las actividades desarrolladas.

Buena parte de las acciones adelantadas por la comunidad, dependieron de la información suministrada de manera activa por parte de las personas encargadas de evaluar la emergencia. Sobre este punto también cabe resaltar

las fortalezas de los datos de libre acceso en plataformas de la NASA, la ESA o la JAXA que, aunque de media resolución permiten hacer el monitoreo del territorio en periodos cortos y usualmente deben ser complementados con trabajos de campo.

De otro lado, se encuentran los datos de alta resolución espacial, estos usualmente deben ser adquiridos a compañías privadas, pero ofrecen una mirada muy detallada al territorio lo que facilita los procesos de modelamiento y prospección del territorio como es el caso de Caregato. Debido precisamente a su costo, se debe definir desde el principio en qué momento se van a tomar y cuál va a ser su papel en el proyecto, así como la manera en que deben ser trabajados con los datos de libre acceso empleados para el monitoreo.

En el caso de Mocoa, pese a que se demostró que gran parte de la comunidad tenía memoria de estos eventos de desastre en el área de estudio, no se encontraron implementadas medidas que permitieran hacer frente a estas amenazas o por lo menos a procesos de mitigación, incluso se encontró que los habitantes en áreas con una elevada vulnerabilidad ante avenidas torrenciales no tenían conocimiento de la condición de la zona en la que habitaban.

Precisamente por la temporalidad en la ocurrencia de estos eventos, el impacto de estos no fue dimensionado en los planes de ordenamiento territorial del municipio o en planes de contingencia que permitieran a los habitantes responder a este tipo de eventualidades y las herramientas metodológicas existentes, en especial los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Ambientales (POMCA), no habían sido implementadas en las cuencas de interés.

Para ambos casos es pertinente señalar, que si bien las nuevas tecnologías son cruciales para responder adecuadamente a las diferentes emergencias, la participación de la comunidad es el elemento vital para garantizar el éxito del proceso de gestión de riesgo de desastre en todas sus etapas, son ellos quienes ante una emergencia conocen su territorio y tienen la capacidad de responder más adecuadamente, son ellos quienes tienen la memoria histórica de su territorio y pueden dar validez a las soluciones planteadas.

Por señalar solo un ejemplo, la implementación de sistemas de alerta temprana en el territorio solo tiene garantizado su éxito, si la comunidad

comprende su impacto, tiene claro cómo funciona y reconoce los diferentes tipos de alertas emitidos por el sistema. Los actores sociales son el núcleo de la gestión del riesgo de desastre y su participación activa, así como el involucramiento de las autoridades locales es la única manera de garantizar comunidades fuertes y resilientes ante un evento de desastre.

Reflexiones

En la modernización del Estado colombiano se han construido una serie de herramientas metodológicas para el desarrollo del territorio, que han ido evolucionando en la medida que se detectan las falencias de los instrumentos previos o las necesidades de los habitantes, pese a lo anterior muchas de esas herramientas no son consideradas en las tareas de planificación territorial o puede ocurrir que se lleve a cabo un análisis general del paisaje pero los resultados no sean implementados y apropiados por las comunidades locales.

Las autoridades nacionales y municipales en los dos casos recurrieron a conformar un equipo técnico que vinculo el concepto de “cuádruple hélice” (Eisenhardt, 2007), a saber: Estado, academia, sector privado y sociedad en general, para realizar los estudios prospectivos necesarios de conocimiento de riesgo y establecer los lineamientos para la respectiva reducción de riesgo a este tipo de desastres y limitar al mínimo la expectativa de futuras ocurrencias, esto resulta de la mayor importancia, ya que permite abordar de una manera dinámica las problemáticas locales, mejorando considerablemente los tiempos de respuesta y aprovechando las fortalezas de cada uno de estos actores.

La “cuádruple hélice” (Eisenhardt, 2007) que el gobierno colombiano viene sugiriendo para sus procesos investigativos, busca garantizar la participación de la academia para propiciar la innovación, la sociedad civil es el garante de la ejecución de las acciones en territorio, además de ser quien usualmente se ve afectada por la ejecución de estas actividades, la empresa privada garantiza la adaptabilidad a las diferentes necesidades del territorio así como la versatilidad para la ejecución de obras y actividades y el gobierno otorga el marco regulatorio y apoya con los recursos que hagan falta.

El uso de cualquiera de las diferentes herramientas metodológicas existentes a la fecha, probablemente hubiera disminuido en algún grado el impacto del evento de desastre, pero es solo hasta la formulación de la resolución 957 de 2018 que se involucra de manera activa tantos elementos funcionales de la cuenca, lo que aunado al componente social, económico y político y por ende es solo hasta este momento que se le dan insumos a la comunidad para construir resiliencia y adaptación ante este tipo de incidentes.

También, es importante resaltar como el conocimiento científico impulsa la mejora en la regulación, control y ordenamiento del territorio, algo que se ve reflejado en la normatividad emitida para la planificación. Estos avances han permitido que en periodos muy cortos se hayan mejorado y transformado las leyes, lo cual no debe impedir que en un par de años se deban repetir y mejorar los estudios gracias a los nuevos avances tecnológicos que ayuden a mejorar el conocimiento detallado de las comunidades y sus necesidades.

Los resultados obtenidos permiten evidenciar que el trabajo combinado en la obtención de datos de tecnologías geoespaciales y su procesamiento técnico, junto con el conocimiento empírico de las comunidades mediante procesos pedagógicos, es base fundamental para la generación de información útil para la toma de decisiones inteligentes en la planeación territorial de cara a un nuevo modelo de ocupación, que tenga en cuenta las amenazas naturales presentes y armonice las necesidades de la comunidad, para el desarrollo sostenible de los espacios naturales que necesariamente deben tener un manejo que privilegie la conservación.

También es importante observar como las nuevas herramientas geoespaciales ayudan a disminuir tiempos para la obtención de variables fundamentales como geología, geomorfología o cobertura vegetal además de optimizar los recorridos en campo, o mejoran la calidad del modelamiento gracias a su precisión y al nivel de detalle que proveen nuevos instrumentos.

De este modo debe reconocerse la importancia de los nuevos avances tecnológicos para la obtención de diferentes variables que permiten un mejor conocimiento del territorio, acorde a los nuevos requerimientos y disposiciones que se hacen desde las autoridades técnicas como el IGAC, lo que a su vez responde a las nuevas dinámicas en la captura de información en la que el sector geoespacial ha estado trabajando, es decir, mayor oferta de

datos privados y libres, mayor detalle y un mayor tiempo de respuesta a la hora de acceder a información cuando ocurre una emergencia.

De igual forma, es crucial vincular siempre a los grupos sociales que habitan el territorio, esto permitirá que cualquier plan o acción de mejora tenga un proceso de apropiación que facilitará que cualquier iniciativa a llevar a cabo tenga éxito.

Cuando todas estas condiciones estén dadas, se podrá garantizar una adecuada gestión del riesgo de desastre sobre el territorio y, por ende, acciones coherentes para el manejo de situaciones amenazantes que afecten la integridad de las personas o de la infraestructura que sustenta su vida.

Finalmente, es importante notar el papel crucial de una normatividad actualizada y con suficientes herramientas metodológicas, que permitan abordar las realidades del territorio de una manera idónea. Para que las mencionadas herramientas tengan éxitos deben ser flexibles y responder a las necesidades de la comunidad, así como generar espacios de participación locales y una adecuada interlocución con el sector técnico científico de la nación.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la firma de consultoría Cuatro Conceptos S.A.S.³ por suministrar toda la información y facilitar el acceso a los datos y registros para la construcción de este documento.

Bibliografía

- Als Dorf, D., Melack, J., Dunne, T., Mertes, L., Hess, L., y Smith, L. (2000). Interferometric radar measurements of water level changes on the Amazon flood plain. *Nature*, 404(6774), 174-177. <https://doi.org/10.1038/35004560>
- Bamler, R., y Hartl, P. (1998). Synthetic aperture radar interferometry. *Inverse problems*, 14(4), R1-R54. <https://doi.org/10.1088/0266-5611/14/4/001>
- Brown, C. J., y Lucieer, V. (2015). *Backscatter measurements by seafloor-mapping sonars-*

³ <https://cuatroconceptos.com/>

- Guidelines and Recommendations*. <https://www.researchgate.net/publication/275890570>
- Calvello, M., D'Orsi, R. N., Piciullo, L., Paes, N., Magalhaes, M., y Lacerda, W. A. (2014). The Rio de Janeiro early warning system for rainfall-induced landslides: Analysis of performance for the years 2010-2013. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 12, 3-15. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2014.10.005>
- CONPES 3904, 1 (2017).
- Departamento nacional de planeación (DNP). (2007). *Cartilla ambiental. Colombia visión 2019*.
- Domínguez-Calle, E., Lozano-Báez, S., Efraín, D.-C., Sergio, L.-B., Domínguez-Calle, E., Lozano-Báez, S., Efraín, D.-C., y Sergio, L.-B. (2014). Estado del arte de los sistemas de alerta temprana en Colombia / State of the art of the early warning system in Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, VO - 38, 148, 321. <http://ezproxy.unal.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edssci&AN=edssci.S0370.3908201400030007&lang=es&site=eds-live>
- Eisenhardt, K. M., y Graebner, M. E. (2007). Theory building from cases: Opportunities and challenges. *Academy of Management Journal*, 50(1), 25-32. <https://doi.org/10.5465/AMJ.2007.24160888>
- Ferretti, A., Monti-guarnieri, A., Prati, C., y Rocca, F. (2007, febrero). InSAR principles: Guidelines for SAR interferometry processing and interpretation (TM-19; parte B). *Esa*.
- Flórez, A. (2009). Lecturas de geografía. En J. W. M. G (Ed.), *Lecturas en teoría de la geografía* (p. 371). Centro Editorial, Facultad Ciencias Humanas.
- Frigerio, S., Schenato, L., Bossi, G., Cavalli, M., Mantovani, M., Marcato, G., y Pasuto, A. (2014). A web-based platform for automatic and continuous landslide monitoring: The Rotolon (Eastern Italian Alps) case study. *Computers and Geosciences*, 63, 96-105. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2013.10.015>
- Geudtner, D., Winter, R., y Vachon, P. W. (1996). Flood monitoring using ERS-1 SAR interferometry coherence maps. *IGARSS '96. 1996 International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2, 966-968. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.1996.516536>
- Goldstein, R. M., y Zebker, H. A. (1988). Interferometric radar measurement of ocean surface currents. *Nature*.
- Hall, A., Thomas, R. F., y Wassens, S. (2019, agosto). Mapping the maximum inundation extent of lowland intermittent riverine wetland depressions using LiDAR. *Remote Sensing of Environment*, 233, 111376. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111376>
- Highland, L. M., y Bobrowsky, P. (2008). The landslide Handbook: A guide to understanding landslides. *US Geological Survey Circular*, 1325, 1-147. <https://doi.org/10.3133/cir1325>
- Huang, C., Peng, Y., Lang, M., Yeo, I. Y., y McCarty, G. (2014). Wetland inundation mapping and change monitoring using Landsat and airborne LiDAR data. *Remote Sensing of Environment*, 141, 231-242. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.10.020>
- Jo, M.-J., Jung, H.-S., Won, J.-S., y Lundgren, P. (2015). Measurement of three-dimensio-

- nal surface deformation by Cosmo-SkyMed X-band radar interferometry: Application to the March 2011 Kamoamoao fissure eruption, Kilauea Volcano, Hawai'i. *Remote Sensing of Environment*, 169, 176-191. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.08.003>
- Lacaux, J. P., Tourre, Y. M., Vignolles, C., Ndione, J. A., y Lafaye, M. (2007). Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing: Application to Rift Valley Fever epidemics in Senegal. *Remote Sensing of Environment*, 106(1), 66-74. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.07.012>
- LaRocque, A., Phiri, C., Leblon, B., Pirotti, F., Connor, K., y Hanson, A. (2020). Wetland mapping with landsat 8 OLI, Sentinel-1, ALOS-1 PALSAR, and LiDAR data in Southern New Brunswick, Canada. *Remote Sensing*, 12(13), 1-30. <https://doi.org/10.3390/rs12132095>
- Matgen, P., Hostache, R., Schumann, G., Pfister, L., Hoffmann, L., y Savenije, H. H. G. (2011). Towards an automated SAR-based flood monitoring system: Lessons learned from two case studies. *Physics and Chemistry of the Earth*, 36(7-8), 241-252. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.12.009>
- Mleczko, M., y Mróz, M. (2018). Wetland mapping using SAR data from the Sentinel-1A and TanDEM-X missions: A comparative study in the Biebrza floodplain (Poland). *Remote Sensing*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/rs10010078>
- Nathanson, F. E., Reilly, J. P., y Cohen, M. N. (1991). *Radar Design Principles Signal Processing and the Environment* (2a ed.). SciTech Publishing, Inc.
- NATO/OTAN. (2004). Radar Polarimetry and Interferometry. *Radar Polarimetry and Interferometry*, 326.
- PNUD y Cepal. (1999). *El terremoto de enero de 1999 en Colombia: impacto socioeconómico del desastre en la zona del eje cafetero*. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/25388>
- Ponziani, F., Ciuffi, P., Bayer, B., Berni, N., Franceschini, S., y Simoni, A. (2023). Regional-scale InSAR investigation and landslide early warning thresholds in Umbria, Italy. *Engineering Geology*, 327, 107352. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2023.107352>
- Ramesh, M. V. (2014). Design, development, and deployment of a wireless sensor network for detection of landslides. *Ad Hoc Networks*, 13(part A), 2-18. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2012.09.002>
- Ramírez Velázquez, B. R., y López Levi, B. (2015). *Espacio, paisaje, región, territorio y lugar: la diversidad en el pensamiento contemporáneo* (Geografía para el Siglo XXI, 17). UNAM, Instituto de Geografía.
- Refice, A., Capolongo, D., Lepera, A., Pasquariello, G., Pietranera, L., Volpec, F., D'Addabbo, A., y Bovenga, F. (2013). SAR and InSAR for flood monitoring: Examples with COSMO/SkyMed data. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 7(7), 703-706. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2013.6721254>
- Reid, M. E., LaHusen, R. G., Baum, R. L., Kean, J. W., Schulz, W. H., y Highland, L. M. (2012, febrero). Real-time monitoring of landslides. *U.S. Geological Survey*, 4. <http://landslides.usgs.gov/%0Ahttps://pubs.usgs.gov/fs/2012/3008/contents/FS12-3008.pdf>
- Rodríguez Castiblanco, E. A., Sandoval Ramírez, J. H., Chaparro Cordón, J. L., Trejos González, G. A., Medina Bello, E., Ramírez Hernández, K. C., Castro Marín, E., Castro

- Guerra, J. A. y Ruiz Peña, G. L. (2017). *Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25.000*. Servicio Geológico Colombiano.
- Roy, P., Martha, T. R., Khanna, K., Jain, N., y Kumar, K. V. (2022). Time and path prediction of landslides using InSAR and flow model. *Remote Sensing of Environment*, 271, 112899. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.112899>
- Sarmap. (2007). *The SAR guidebook: Examples based on SARscape®*. SAR.
- SGC. (2017). *Las amenazas por movimientos en masa de Colombia: Una visión a escala 1:100,000*. Servicio Geológico Colombiano. https://srvags.sgc.gov.co/Archivos_Geoportal/Manuales/Libro_MNMM.pdf
- Shao, W., Zhao, C., Jiang, X., Sun, Z., Wang, X., Wang, J., y Cai, L. (2021). Characteristics of suspended sediment in Sentinel-1 synthetic aperture radar observations. *Remote Sensing Letters*, 12(11), 1167-1179. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2021.1974119>
- Vargas Cuervo, G. (1999). *Guía técnica para la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza por movimientos en masa*.
- Ventura, G., Vilardo, G., y Terranova, C. (2013). Landslide science and practice. En *Landslide science and practice* (vol. 2, pp. 147-151). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-31445-2>

V. Gestión del riesgo de desastres en Cuba: Experiencias y desafíos

PABLO BAYÓN MARTÍNEZ*

RAFAEL BOSQUE SUÁREZ**

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.218.05>

Resumen

Los estudios para la gestión de riesgos de desastres en Cuba comenzaron a realizarse desde mediados de la penúltima década del pasado siglo, condicionado por la elevada influencia de eventos hidrometeorológicos extremos que generan inundaciones por intensas lluvias y/o penetraciones del mar. El objetivo del trabajo —conforme el ámbito “marco” concebido— es ofrecer un panorama general de las perspectivas de desarrollo de las acciones en torno a la política, la gestión y la educación ambiental en Cuba como parte de la estrategia país, así como acreditar algunas de las experiencias y desafíos a partir del hito que representó la Cumbre de la Tierra (1992). Se incluye una experiencia empírica dirigida a analizar la percepción de riesgo por peligros hidrometeorológicos extremos en la nación, a partir de las particularidades del relieve del territorio donde transcurre la vida cotidiana del sujeto. Se constata que el comportamiento espacial de la percepción general en Cuba según el relieve contribuye a la identificación de vacíos de conocimientos en la población por provincias y municipios respectivamente, con incidencia en la gestión de riesgo de desastre por parte de las autoridades e instituciones gubernamentales y de la defensa civil, bajo la gestión guber-

* Doctor en Ciencias Geográficas por la Universidad de La Habana, Cuba. Profesor-investigador titular de la Facultad de Geografía de la Universidad de La Habana, Cuba. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5934-4137>

** Doctor en Ciencias Pedagógicas. Profesor titular de la Universidad de Ciencias Pedagógicas “Enrique José Varona”, Cuba; director del Centro de Estudios de Educación Ambiental-GEA, Cuba. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1676-270X>

namental en torno al Plan de Estado para el enfrentamiento al cambio climático (Tarea Vida). Este plan, diseña la estrategia cubana que incluye la realización de estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgo (PVR) y el fomento de la educación ambiental de todos los actores (individuales y colectivos) en espacio y tiempo concreto.

Palabras clave: *Desastre, percepción de riesgo; inundaciones por intensas lluvias, educación ambiental.*

Introducción

Los riesgos de desastres —independencia del sesgo con que se analice— forman parte de la historia de la civilización humana. Se relacionan con las “pérdidas esperadas, causadas por uno o varios peligros particulares que inciden simultánea o concatenadamente sobre uno o más elementos vulnerables en un tiempo, lugar y condiciones determinados” (EMNDC, 2017, p. 53). Es común enunciarse como una relación de probabilidad de manifestación de una amenaza concreta y las consecuencias que pueden esperarse.

En la actualidad, se ha comprobado que, los desastres han aumentado en intensidad y se han visto agravados por el cambio climático, lo que perjudica de manera desproporcionada a los pequeños estados insulares, debido a sus vulnerabilidades particulares, y mucho más, a aquellos desprovistos de sistemas educativos que puedan preparar a sus ciudadanos para evitar pérdidas humanas, económicas y en general al medio ambiente.

Lo anterior se evidencia en lo declarado, según el informe de la Cepal,

... la temperatura media global ya ha aumentado 1,1 °C y se observan preocupantes reducciones de la criosfera, una aceleración del alza del nivel del mar y una mayor frecuencia de desastres como incendios forestales o fenómenos hidrometeorológicos extremos. Los desastres tienen efectos de corto plazo sobre el bienestar de la población: destruyen activos de capital, aumentan los problemas de nutrición, reducen la asistencia y el desempeño escolar, disminuyen el ingreso disponible para gastos distintos a los de alimentos, incrementan el trabajo infantil y aumentan la morbilidad (Cepal, 2021, p. 81).

Como es reconocido por las Naciones Unidas (ONU, 2015, pp. 2-3) “La reducción del riesgo de desastres es una inversión rentable en la prevención de pérdidas futuras. Una gestión eficaz del riesgo de desastres contribuye al desarrollo sostenible”; ello revela la trascendencia de las políticas públicas en torno a la gestión y la educación ambiental.

En reciente informe de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Desastres (UNDRR, 2023), se revela que —desde 2000 a 2022— Cuba, junto con México y Haití, son los países más afectados por las tormentas tropicales en la región de América Central y el Caribe, con alta exposición física a estos eventos y un acumulado de más de 20 millones de personas afectadas (UNDRR, 2023, p. 19).

Los estudios para la gestión de riesgos de desastres en Cuba comenzaron a realizarse desde mediados de la penúltima década del pasado siglo, teniendo en cuenta la posición geográfica y morfología del archipiélago entre las penínsulas de Yucatán y de la Florida, su carácter insular alargado y estrecho, así como, su posición geográfica tropical, que condicionan su exposición a huracanes, frentes fríos y sures, todo lo cual perturban significativamente el comportamiento de los parámetros hidrometeorológicos, generan inundaciones por intensas lluvias y/o penetraciones del mar, eventos extremos que se constituyen en la principal amenaza a los subsistemas naturales y sociales (Bayón, 2020).

Tales estudios¹, se conciben desde la Constitución de la República de Cuba (ANPP, 2019), donde se precisa, en su artículo 75:

El Estado protege el medio ambiente y los recursos naturales del país. Reconoce su estrecha vinculación con el desarrollo sostenible de la economía y la sociedad para hacer más racional la vida humana y asegurar la supervivencia, el bienestar y la seguridad de las generaciones actuales y futuras (p. 6).

¹ En la Biblioteca Digital Cubana de Geociencias (<http://www.redciencia.cu/>), se pueden encontrar numerosas publicaciones y resultados de investigaciones en torno a los peligros hidrometeorológicos extremos, las inundaciones por intensas lluvias y/o penetraciones del mar, que ilustran el esfuerzo de la ciencia cubana en la adaptación al cambio climático y el ascenso del nivel medio del mar previsto para los años 2050-2100.

La Carta Magna concibe —como política de Estado— el mandato constitucional de este, ante la ocurrencia de desastres, cualquiera sea su naturaleza, que afecte a la población o la infraestructura social y económica de las comunidades y territorios, en magnitud tal que supere su capacidad de respuesta y recuperación, se puede decretar la “situación de desastre”, con la asunción de una estructura funcional gubernamental, desde el nivel central de gobierno hasta las comunidades (ANPP, 2019, arts. 222-225, p. 16).

El objetivo del trabajo —conforme el ámbito “marco” concebido— es ofrecer un panorama general de las perspectivas de desarrollo de las acciones en torno a la política, la gestión y la educación ambiental en Cuba como parte de la estrategia país, así como acreditar algunas de las experiencias y desafíos a partir del hito que representó la Cumbre de la Tierra (1992) y las directivas emanadas de la Agenda 21. Además, se incluye una experiencia empírica dirigida a analizar la percepción de riesgo por peligros hidrometeorológicos extremos en la nación, a partir de las particularidades del relieve del territorio donde transcurre la vida cotidiana del sujeto (llanura, altura, montaña), como parte de la educación geográfica (por demás ambiental) del ciudadano. Este análisis coadyuva a la comprensión de la trascendencia de la educación en el manejo subjetivo del actor social (individual y colectivo), para la gestión de riesgos de desastres en espacio y tiempo concreto.

En nuestro contexto, tanto la gestión de riesgo, como la educación ambiental (que incluye la geográfica), son procesos que se complementan en la política ambiental:

... la gestión no puede ser reducida a la idea de una obra o una acción concreta como es, por ejemplo, la construcción de un dique, una presa o una pared de retención para impedir inundaciones y deslizamientos. Más bien se refiere al proceso por medio del cual, un grupo humano o individuo, toman conciencia del riesgo que enfrentan, lo analiza y lo entiende, reflexiona sobre las opciones y prioridades en términos de su reducción, considera los recursos disponibles para afrontarlo, diseña las estrategias e instrumentos necesarios para enfrentarlo, negocia su aplicación y toma la decisión de hacerlo. Finalmente, se implementa la solución más apropiada en términos del contexto concreto en que se produce o se puede producir el riesgo (Castro y Bosque, 2019, p. 5).

Metodología

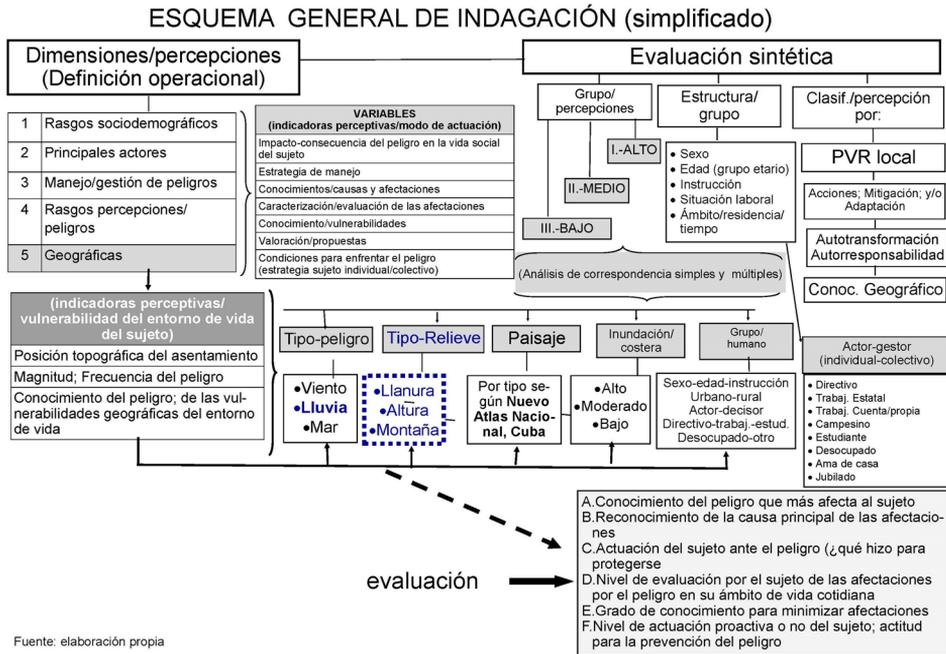
Se articulan procedimientos de indagación cualitativa con elementos cuantitativos; se acredita el tipo documental (investigación descriptiva y teórica), en torno al propósito concebido a escala país, que coadyuva al análisis de la política y la gestión ambiental desarrollada en Cuba, sus características y configuración. Para ello, incorpora la consulta y análisis de varias publicaciones de artículos, resultados de proyectos de investigación reciente en el país y otros documentos internacionales, con el auxilio del buscador especializado Google Académico, el repositorio de la Red de ciencia cubana del Instituto de Geografía Tropical, y de algunas universidades, lo que coadyuvó a sistematizar los referentes relacionados con la gestión de riesgo de desastres y la educación ambiental en Cuba. Con la aplicación del método analítico-sintético, se realizó el análisis de la información para sistematizar los referentes teóricos-metodológicos relacionados con la gestión de riesgo de desastres por inundaciones y la educación ambiental en Cuba; con énfasis, en ofrecer una aproximación general en torno a la gestión de riesgo de desastres como parte de la estrategia y la política ambiental desarrollada por el país.

La experiencia empírica, analiza la incorporación de la dimensión geográfica del espacio donde transcurre la vida cotidiana del sujeto —con relación al tipo de relieve predominante (llanura, altura, montaña) como parte de la geografía local— en la consideración de la vulnerabilidad asociada con la dinámica del sistema natural en su contexto, y la percepción de los riesgos de inundaciones por intensas lluvias².

Se analiza la percepción obtenida por municipios, siguiendo el esquema metodológico que se describe en la figura 1. La distribución espacial de la percepción resultante se distingue en: Grupo I (alta), que refieren información y modos de actuación favorable ante el peligro; Grupo II (media), correspondiente a la percepción cercana a la realidad, pero insuficiente; y, Grupo III (baja), de percepción errónea o ninguna del riesgo y las maneras de enfrentarlo (GER-AMA, 2013; Bayón, 2018).

² La investigación tuvo en cuenta los datos del estudio nacional de percepción 2009-2011 (GER-AMA, 2013), con entrevista aplicada a 16,626 individuos, representativo del 0.14% aproximadamente, de la población residente en el periodo referido (ONEI, 2012: 92).

Figura 1. Esquema general (simplificado) de indagación de la percepción de riesgos por peligros hidrometeorológicos extremos con énfasis en las particularidades geográficas del espacio de vida cotidiana del sujeto



Fuente: Elaboración propia con base en Bayón (2018) (simplificado).

El estudio se complementó con la aplicación de procedimientos estadísticos mediante el programa computarizado IBM SPSS v.22 (Statistic Package Social Sciences), propiciando el cruzamiento en tablas de contingencia y de frecuencia por unidad territorial descrita, según la variable geográfica de interés, y las particularidades sociodemográficas (edad, sexo, nivel de instrucción, tiempo de residencia, entre otros) de los entrevistados. Los mapas se elaboraron, empleando las herramientas del Sistema de Información Geográfica QGIS 2.14.3.

Resultados: Ejercicio empírico

Según datos de la Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI, 2022), desde 1791 hasta 2021, el país ha sido afectado por 119 huracanes de

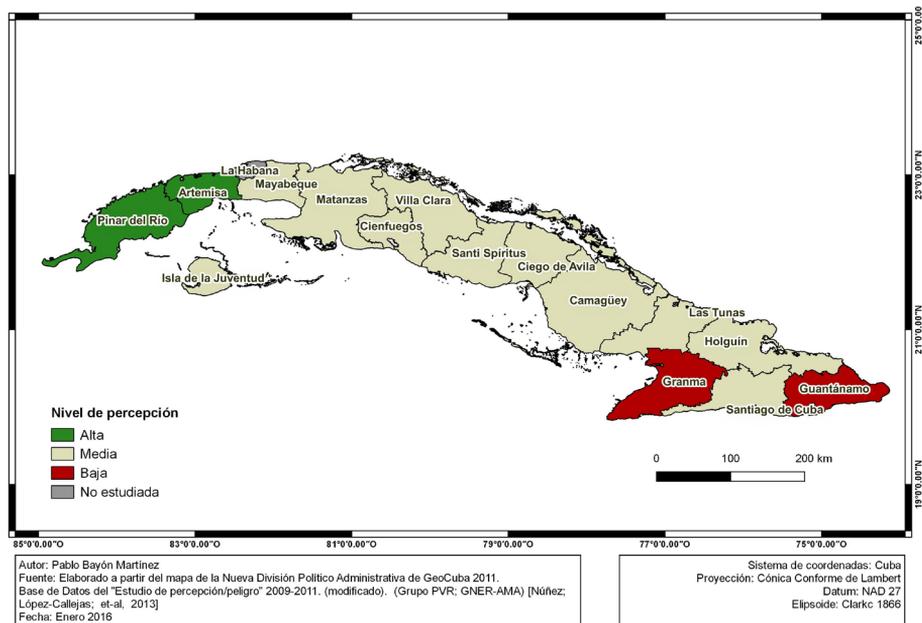
diferentes intensidades, siendo la región occidental la que más veces ha sido azotada, en 80 ocasiones (68.9%). En los últimos tres lustros, recibió el impacto de 14 huracanes, los que han provocado pérdidas económicas por valor de 37,046.9 millones de pesos, con daños notables en la infraestructura de producción y servicios, con más de 1.5 millones de viviendas afectadas (ONEI, 2022). De manera excepcional, entre 2001 y 2016, se tuvo que lamentar el fallecimiento de más de 40 personas.

Las mayores afectaciones se relacionan con los huracanes de trayectorias predominantemente hacia el oeste, pues, dada la configuración alargada y estrecha del archipiélago cubano en sentido latitudinal, esta condiciona su impacto en gran parte del territorio y de sus poblaciones, con inundaciones fluviales y por marejadas costeras, como ocurrió con Ike (2008) e Irma (2017). Las pérdidas de vidas humanas, generalmente, están relacionadas con actitudes negligentes o de limitada percepción de riesgo de las víctimas, por no atender las normas de protección y seguridad durante estos eventos, con casos excepcionales de fallecidos al paso de Sandy (11) e Irma (10).

En la trágica experiencia con el huracán Sandy (2012), las pérdidas humanas sucedieron hacia la región oriental. Llama la atención la coincidencia con los datos aportados por la encuesta nacional de percepción de riesgo a peligros hidrometeorológicos extremos (2009-2011) para dicha región, evaluado de Media a Baja percepción que parece articular con tal acontecimiento (véase figura 2).

A escala nacional, al momento de la aplicación de la encuesta de percepción, el 85.8% de los encuestados reconocen al peligro de inundaciones por lluvias como el que más los afecta, el 85.3% distingue al viento y, por último, solo el 18.6% a las penetraciones del mar (Bayón y Padilla, 2020, p. 164). En la tabla 1 se describen los resultados por regiones y provincias, los que articulan con la distribución espacial que se muestra en la figura 2, de mejores resultados perceptivos hacia el extremo occidental del país. En la figura 3, son notables los territorios (municipios) en el centro y oriente de Cuba con baja percepción ante estos peligros.

Figura 2. Cuba: Evaluación de la percepción general de riesgo por peligros hidrometeorológicos extremos de 2009-2011 por provincias



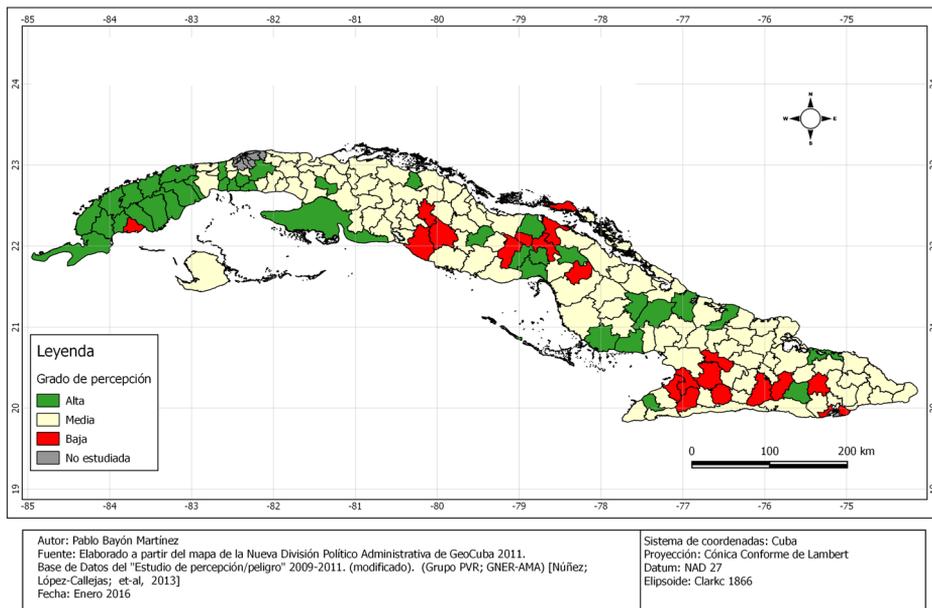
Fuente: Elaboración propia con datos de la encuesta de percepción nacional de riesgo por peligros hidrometeorológicos 2009-2011 (GNER-AMA, 2013), con base en Bayón (2018).

Tabla 1. Cuba: Descripción de la percepción de riesgo por peligros de inundación por intensas lluvias por provincias (%)

Provincias	Nivel de percepción		
	Alta	Medio	Baja
Pinar del Río	79.8	18.7	1.5
Artemisa	67.3	29.9	2.8
Mayabeque	52.5	35.7	11.8
Matanzas	28.6	56.9	14.6
Villa Clara	42.1	38.5	19.4
Cienfuegos	54.8	24.5	20.8
Sancti Spiritus	54.3	29.9	15.9
Ciego de Ávila	64.8	12.9	22.3
Camagüey	55.3	30.5	14.2
Las Tunas	58.7	33.2	8.1
Holguín	44.6	47.0	8.4
Granma	45.7	25.1	29.2
Santiago de Cuba	46.0	38.7	15.3
Guantánamo	47.4	24.9	27.7
Municipio Especial Isla de la Juventud	50.8	48.7	0.5

Fuente: Elaboración propia con datos de la encuesta de percepción nacional de riesgo por peligros hidrometeorológicos 2009-2011 (GNER-AMA, 2013) con base en Bayón (2018).

Figura 3. Cuba: Distribución de la percepción de riesgo por peligro de inundación por intensas lluvias (periodo 2009-2011) por municipios



Fuente: Elaboración propia con datos de la encuesta de percepción nacional de riesgo por peligros hidrometeorológicos 2009-2011 (GNER-AMA, 2013) con base en Bayón (2018).

Con relación al relieve, son las llanuras el tipo predominante (80.6%) de los municipios del país; el 15.0% de los municipios pueden considerarse Altos y solo el 4.4%, constituyen municipios predominantemente de montaña. Los resultados de percepción con relación a inundaciones por intensas lluvias se describen en la tabla 2.

Tabla 2. Percepción de riesgo por peligro de inundaciones por intensas lluvias según el relieve predominante en el municipio

Tipo de relieve	Nivel de percepción (%)		
	Alta	Media	Baja
Llanura (0-200 msnm)	51.3	33.2	15.5
Altura (201-500 msnm)	45.5	35.7	18.8
Montaña (> 500 msnm)	50.6	34.5	14.9

Fuente: Elaboración propia con datos de la encuesta de percepción nacional de riesgo por peligros hidrometeorológicos 2009-2011 (GNER-AMA, 2013) con base en Bayón (2018).

Las poblaciones que viven en municipios con predominio de relieve llano y de montaña ofrecen los mayores resultados porcentuales de percepción para ambos peligros, en más de 50%, mayormente relacionado con las condiciones geográficas del espacio donde transcurre la vida cotidiana del sujeto y con eventos meteorológicos extremos presentes en la memoria histórica local, refrendadas en las entrevistas realizadas (Bayón, 2016a, p. 65), en particular las regiones occidental y central, con mayores acontecimientos ocurridos en los años previos al estudio de percepción nacional.³ Es de significar los valores medios y bajos de percepción, en municipios altos y de montaña, de las provincias de Guantánamo, Santiago de Cuba y Granma, así como hacia el centro del país, las provincias de Sancti Spíritus y Cienfuegos.⁴

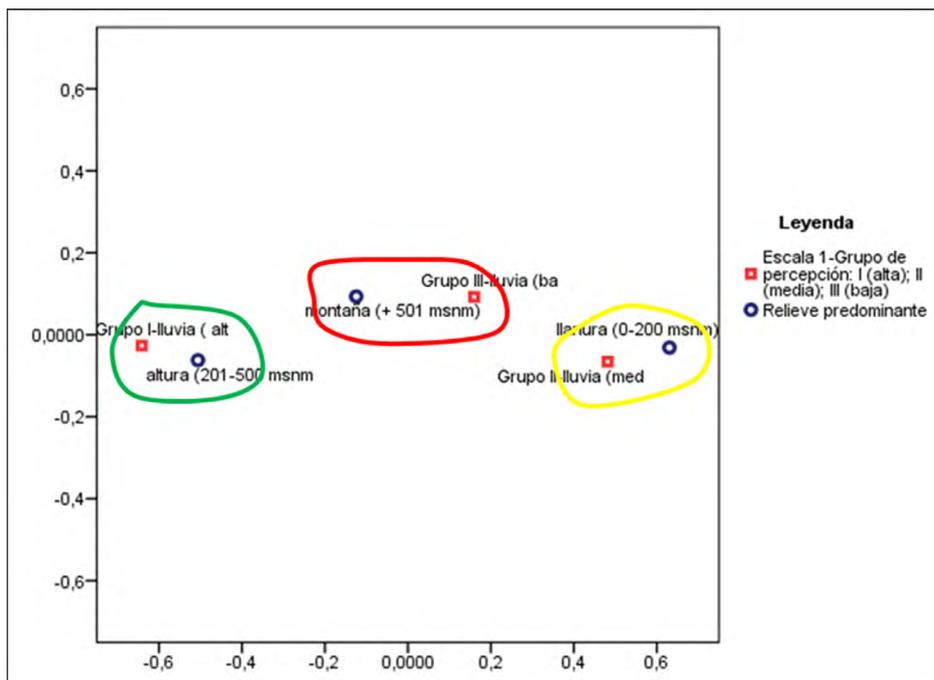
El análisis de correspondencia (figura 4), nos permite evaluar al unísono la relación entre diversas variables, la asociación y su espacialidad. Con respecto al nivel de percepción de peligro de inundaciones por intensas lluvias. En el estudio, el análisis de correspondencia refleja mayor afinidad entre la percepción Alta (grupo I, círculo de color verde) en los municipios predominantemente de relieve de alturas (201-500 msnm), y a continuación se asocian los resultados con los de los municipios llanos (0-200 msnm, círculo de color amarillo), pertenecientes al grupo II de percepción (Media), lo que articula con el mayor grado de relacionamiento del sujeto con las condiciones geográficas de su entorno de vida cotidiana, en relación con la ubicación de las poblaciones en los cursos inferiores o medios de las cuencas fluviales y a posibles eventos históricos de inundaciones en la memoria colectiva de las comunidades.⁵

³ Según datos de la Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI, 2014), la relación porcentual de huracanes que afectaron a las regiones de Cuba entre 2001-2011 (9-10 años aprox. antes de la encuesta de percepción nacional de la Agencia de Medio Ambiente (AMA), tuvo los siguientes resultados: región Occidental (16 huracanes, 64%); región Central (6.24%) y Oriental (3.12%).

⁴ Por ejemplos, en la provincia Guantánamo, los municipios Moa, Yateras, San Antonio del Sur y Manuel Támes; en la provincia Santiago de Cuba, los municipios San Luis, Palma Soriano y Santiago de Cuba; en la provincia Granma, los municipios Guisa, Tercer Frente y Buey Arriba; en la provincia Sancti Spíritus, el municipio Trinidad; en la provincia Cienfuegos, el municipio Cumanayagua.

⁵ En el instrumento de indagación (encuesta) aplicado, se recoge información sobre sucesos históricos de eventos hidrometeorológicos extremos que conoce —directa o indirectamente— el sujeto.

Figura 4. Cuba: Percepción total de peligro de inundación por intensas lluvias (correspondencia con municipios según el relieve predominante: llanura, altura, montaña)



Fuente: Elaboración propia con datos de la encuesta de percepción nacional de riesgo por peligros hidrometeorológicos 2009-2011 (GNER-AMA, 2013) con base en Bayón (2018).

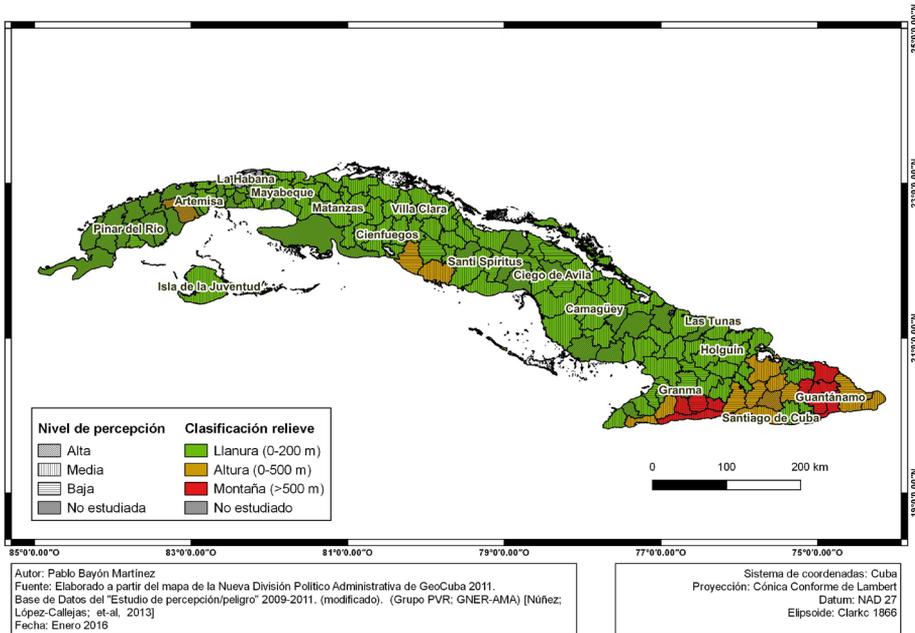
Discusión

El relieve del territorio es un factor clave para evaluar la percepción de riesgo por inundaciones en una población, pues influye en la exposición al riesgo, condiciona a las áreas más propensas a inundaciones y a sufrir daños, especialmente a aquellas zonas bajas y cercanas a cuerpos de agua. Otro elemento a considerar es su influencia en la accesibilidad y posibilidades de evacuación de una población en caso de inundaciones. Las áreas con relieve montañoso, por ejemplo, pueden tener dificultades para evacuar rápidamente, lo que puede aumentar la percepción de riesgo, elemento este que no se cumple cabalmente en la experiencia descrita, que muestra resultado de baja percepción (figura 4, círculo de color rojo), al parecer condicionada

por factores de confianza extrema en las autoridades de la defensa civil, y la subjetividad humana de que “nunca pasará nada”.

Las comunidades que han experimentado inundaciones en el pasado debido al relieve del territorio pueden tener una percepción de riesgo más elevada. La memoria colectiva de eventos pasados puede influir en la percepción de riesgo y en la disposición de la población a tomar medidas de prevención. Tal es el resultado hacia los territorios occidentales y centrales del país, con mayores eventos hidrometeorológicos extremos, en los años previos al estudio de percepción nacional.

Figura 5. Cuba: distribución de la percepción general de riesgo por peligros hidrometeorológicos extremos de 2009-2011, según tipo de relieve predominante por municipios



Fuente: Elaboración propia con datos de la encuesta de percepción nacional de riesgo por peligros hidrometeorológicos 2009-2011 (GNER-AMA, 2013) con base en Bayón (2018).

El comportamiento espacial de la percepción general⁶ en Cuba según el relieve (figura 5), contribuyó a la identificación de vacíos de conocimientos

⁶ Se refiere a la percepción total a los peligros asociados con fuertes vientos e inundaciones por intensas lluvias y/o penetraciones del mar.

en la población por provincias y municipios respectivamente, lo que aportó a la comprensión de las vulnerabilidades asociadas con el espacio donde transcurre la vida cotidiana, con incidencia en la gestión de riesgo de desastre por parte de las autoridades e instituciones gubernamentales y de la defensa civil.

El conocimiento de la distribución espacial de la percepción de riesgo por peligros hidrometeorológicos en Cuba constituye un resultado de significativo valor práctico, en lo que concierne al diseño de planes y gestión de riesgo según las particularidades de cada territorio, así como para la implementación de políticas públicas de formación cultural ambiental a escala país, en general, y por municipio concreto, en particular.

¿Cuáles pautas de partida se asumen en Cuba como parte de la política y la educación ambiental para la gestión de riesgo de desastre en los últimos 60 años?

Del 4 al 8 de octubre de 1963 el huracán Flora, con categoría 2 de la escala Saffir-Simpson, afectó a las provincias orientales de Cuba, con precipitaciones intensas, las que generaron grandes inundaciones que provocaron severos a la infraestructura en general, con más de 11 000 viviendas destruidas y lamentables pérdidas de vidas humanas (1 157 personas), hecho que constituye —según los registros históricos— en el segundo mayor desastre acontecido en la nación⁷.

A partir de entonces, comenzó a diseñarse la estrategia de actuación ante tales eventos, con la concepción de la infraestructura hidráulica necesaria (embalses y canales) para regular las inundaciones y también para el abastecimiento a la población y a la agricultura. Esta “voluntad hidráulica”, que así se denominó se difundió por todo el país. La experiencia del “Flora” propició la fundación del Instituto de Meteorología (1965) y la creación del Sistema de Defensa Civil (1966), constituyéndose en los primeros pasos

⁷ El huracán del 9 de noviembre de 1932, en Santa Cruz del Sur, localidad al sur de la provincia de Camagüey, generó gran marea de tormenta que arrasó con la comunidad. Las pérdidas de vidas humanas se calculan, a la luz de nuevas investigaciones, alrededor de 2 248 personas (fuente: https://www.ecured.cu/EI_cicl%C3%B3n_del_32).

para minimizar el impacto de los peligros y riesgos de desastres. Internacionalmente es reconocida la fortaleza de la Defensa Civil en Cuba, experiencias que se ha compartido con países de la región, en particular, en el Caribe.

En 1991, la Academia de Ciencias de Cuba (ACC) realizó una primera evaluación de los impactos del cambio climático en los sectores de agricultura, ecosistemas naturales terrestres y recursos hídricos, áreas costeras, asentamientos humanos, salud y turismo, cuyos resultados se integran en 1992, en un informe de evaluación preliminar sobre los efectos potenciales del cambio climático en el país. En 1997, el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (Citma) crea el Grupo Nacional de Cambio Climático, bajo la coordinación del Instituto de Meteorología (Insmet), que se estructuró en la dirección de los inventarios de gases de efecto invernadero, las evaluaciones de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático, y los estudios de mitigación del cambio climático.

Desde finales del siglo xx se redefinieron estratégicamente, desde lo político-normativo, con una sólida base científica, las vías y los fundamentos de la producción social socialista en Cuba. Los primeros ciclos estratégicos de la Estrategia Ambiental Nacional⁸ (EAN) 1997-2006 y la del 2007-2010, constituyeron una importante herramienta para la instrumentación de la política ambiental cubana en relación con las metas de desarrollo económico y social sostenible en Cuba.

Su tercer periodo (2011-2015), en el marco del desafío global de preservar el medio ambiente en circunstancias de la crisis económico-social internacional que amenaza la paz mundial, el bloqueo económico y financiero del gobierno de Estados Unidos de América, entre otros problemas globales y locales, colocó la atención del medio ambiente y el desarrollo, desde un enfoque ecosistémico, acompañada de la dinámica de la vida económica y

⁸ Estrategia Ambiental Nacional (EAN). Es el documento rector de la política ambiental cubana formulada para alcanzar las metas de un desarrollo económico y social sostenible. Establece los principios en los que se basa el quehacer ambiental nacional, caracteriza los principales problemas ambientales del país y potencia la gestión local en la preservación del medio ambiente, y reconoce la necesidad de combinar adecuadamente las acciones inmediatas, con una perspectiva de mediano y largo plazo. (Ley 150/2022 "Del Sistema de los Recursos Naturales y el Medio Ambiente", artículo 115) (GOC, 2023a). Ciclos de estrategia: 1997-2006, 2007-2010, 2011-2015, 2016-2020, 2021-2025).

social del país, renovándose en sus objetivos, metas y acciones, en los ciclos subsiguientes (2016-2020, 2021-2025) (Citma, 2021).

Son múltiples las fortalezas de la Estrategia, refrendadas concretamente en cada uno de sus ciclos estratégicos, plasmadas a partir de los principios propuestos.

Los problemas ambientales sobre los que se orienta la política y la gestión ambiental en el actual ciclo de la EAN (2021-2025) son: *a*) degradación de los suelos; *b*) afectaciones a la cobertura forestal; *c*) pérdida de la diversidad biológica y deterioro de los bienes y servicios ecosistémicos; *d*) carencia y dificultades con el manejo, la disponibilidad y calidad del agua; *e*) efectos negativos del cambio climático, y *f*) deterioro de las condiciones higiénica sanitaria en los asentamientos humanos (Citma, 2021).

En el proceso de perfeccionamiento de la estrategia cubana para reducir los desastres, se ha profundizado en el alcance de las acciones para tal fin. En ello ha jugado un importante papel la promulgación y puesta en vigor de la Directiva 1 de 2005 del Consejo de Defensa Nacional; se actualiza en 2010, siendo de mayor robustez en su cuerpo legal y alcance a toda la sociedad. En 2022 se emite la versión vigente, que, desde su título Directiva 1 “Para la gestión de la reducción del riesgo de desastre en la República de Cuba”, sienta las pautas y regula las acciones para todos los actores sociales, institucionales y gubernamentales de la nación (GOC No. 130, 2022).

La reducción constante de las vulnerabilidades forma parte de los planes y presupuestos anuales de los ministerios, entidades y órganos de dirección estatal de acuerdo con sus objetos sociales y misiones.

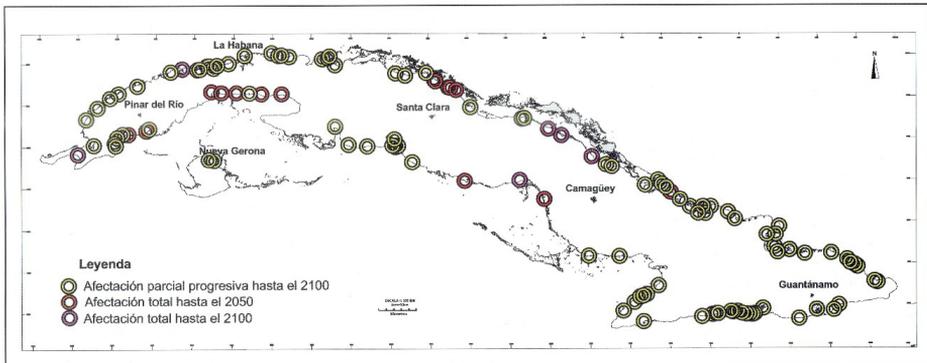
En 2007 se diseña el primer Programa Nacional de Enfrentamiento al Cambio Climático, el cual se centra en las medidas de adaptación, que lo convierte en la principal herramienta por la que el gobierno da seguimiento al tema, se realiza el primer mapa de alerta sobre el peligro y las vulnerabilidades del ascenso del nivel medio del mar para Cuba, el cual derivó en un conjunto de investigaciones, que se integran en lo que se conoce como el macroproyecto⁹ “Peligros y Vulnerabilidad Costera para los años 2050-2100”

⁹ El denominado “macroproyecto” se inició en el año 2008, agrupó a más de 150 profesionales de instituciones nacionales, provinciales y municipales; articulando 13 proyectos orientados a atender la problemática asociada con el cambio climático y la variabilidad del clima, la elevación del nivel del mar y su impacto en la población y los ecosistemas costeros.

(Iturralde y Serrano, 2015), en permanente actualización, con la participación de investigadores y especialistas de variadas instituciones científicas articuladas con el Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil (EMNDC).

En sus resultados, se identifican a 122 asentamientos como muy vulnerables (figura 6); de ellos 20 desaparecerían en todo el periodo de estudio: 14 asentamientos en el 2050, y 6 en el 2100. En general, se estima que el 3.5% del área total del país estaría afectada por un incremento del nivel del mar de 1 m, que incluye 3 200 ha de cultivos y 374 096 ha de pastos y forestales, con predominio de afectación de los manglares (AMA, 2016; Sánchez *et al.*, 2021).

Figura 6. Asentamientos costeros amenazados por inundación permanente debido al ascenso del nivel del mar



Fuente: Iturralde y Serrano (2015).

Con estos antecedentes, el 25 de abril de 2017 el Consejo de Ministros aprueba el “Plan de Estado para el Enfrentamiento al Cambio Climático” (conocido como “Tarea Vida”), de mayor alcance y jerarquía, superior a todas las acciones realizadas hasta el momento, conformado por cinco acciones estratégicas y 11 tareas en los ámbitos de prioridad para la sostenibilidad ambiental (figura 7).¹⁰ Se aprueba la Ley 150 “Del sistema de los

¹⁰ Las Tareas 7 y 10 están muy relacionadas con la introducción de la ciencia, de los estudios de PVR en el ordenamiento territorial en el ciclo de reducción de desastres y con las medidas y acciones para elevar la percepción del riesgo y el grado de participación del sujeto social respectivamente (Se podrá profundizar en el alcance de la Tarea Vida en Citma, s/f) <https://>

Recursos Naturales y el Medio Ambiente (14-5-2022), que en su Título V establece las acciones y medidas a ejecutar para enfrentar el cambio climático que robustece el marco legal de actuación de todos los actores y sectores socioeconómicos del país (GOC, 2023a).

Figura 7. Esquema general de componentes y acciones de la Tarea Vida



Fuente: Citma (s/f).

El 25 de mayo de 2023, el Consejo de ministros de la República de Cuba dicta el Decreto 86 “Del Enfrentamiento al Cambio Climático”, que contempla entre sus disposiciones generales (GOC, 2023b):

... priorizar la atención a las medidas de adaptación al cambio climático y la gestión para la reducción del riesgo de desastres con énfasis en la protección de las personas en las poblaciones vulnerables; en el ordenamiento del territorio

www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fcuba.cu%2Fdocs%2FFOLLETO_CITMA_6.pdf&psig=AOvVaw1ZSX1DWfvV93P5Uq4N19bn&ust=1696282632734000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CA8QjRxqFwoTCLi3x-Xn1YEDFQAAAAA-dAAAAABAD

y las que resulten de la implantación de las políticas sectoriales y de enfrentamiento en la zona costera (p. 2).

En el artículo 25 designa al Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil (EMNDC) para coordinar las acciones relacionadas con el sistema de alerta temprana, los estudios de PVR y la evolución de indicadores asociados a eventos de desastres relacionados con el cambio climático. Por otra parte, designa al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (Citma), la responsabilidad de dirigir y controlar la implementación de la política para enfrentar el cambio climático, en particular, la ejecución del Plan de Estado (Tarea Vida).

Reflexiones en torno a los desafíos y estrategias respecto al cambio climático en Cuba (2050-2100)

El análisis contextual e histórico de los ciclos de la Estrategia Ambiental Nacional (EAN), que regulan la política ambiental cubana desde 1997 hasta el presente, se revelan los principales problemas ambientales a escala país y orientan su conocimiento a escala local, en el que se involucran diferentes actores y entidades (científicas, educativas, de producción y de servicios), en los procesos de asimilación y reproducción de la vida por los caminos de la sostenibilidad ambiental.

La atención a la “cuestión ambiental” desde una perspectiva social y filosófica de la EAN, en investigaciones realizadas (2010-2015) por el grupo de estudio sobre medio ambiente y sociedad (Gemas), del Instituto de Filosofía del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, identificaron elementos del espacio cubano actual que inciden en los modos de actuación del individuo en su entorno, en el manejo de los riesgos de peligro de desastre en sentido general (Bayón *et al.*, 2017; p. 184), entre los que se destacan:

- Disyunción entre la concepción de sostenibilidad concebida en la política ambiental pública y la que expresa la población. Ello demanda

de procesos educativos articulados contextualmente, con los escenarios de vida del sujeto. Popularizar el lenguaje científico.

- Resignificar —para el sujeto— del problema ambiental que le concierne, concientizándolo de que él es parte del mismo (en algunos casos) y de su solución como sujeto social e individual.
- Necesario empoderamiento y práctica de la participación social, en la política y la gestión ambiental, dotando a los actores-gestores comunitarios del conocimiento, las actitudes y las capacidades para actuar conforme la democracia socialista. Dotar al municipio, como unidad administrativa primaria y fundamental de la organización nacional —precisada en el artículo 168 de la Constitución de la República de Cuba (ANPP, 2019).
- Replanteamiento de estrategias educativas —en su concepción y materialización práctica— según escenario de asimilación de espacio (urbano, rural, montaña, zona costera), según grupos sociales actuantes, en consideración a sus vulnerabilidades respectivas. En tal sentido, de acuerdo con Bosque (2023) deben priorizarse —entre otras— las siguientes rutas de actuación:
 - Seguimiento a la incorporación y tratamiento por los docentes, del tema gestión de riesgo de desastres en todos los currículos escolares.
 - Esclarecimiento de la terminología básica sobre el tema gestión de riesgo de desastres, precisando que los desastres son entendidos como los daños significativos a la vida, la propiedad, el medio ambiente y la infraestructura, y por ello no son naturales, como sí lo pueden ser los fenómenos que los producen. Los desastres, en sentido general, constituyen acontecimientos generados por causa natural en áreas con vulnerabilidades construidas socialmente que los condicionan, y por ello son propiamente hechos de naturaleza social.
 - Quienes elaboran los currículos y los docentes, deben apreciar las dimensiones del cambio climático como un desafío educativo y lo conciban desde la ciencia, la tecnología y la innovación, en función de la gestión de riesgo de desastres.

- Continuar con la capacitación a docentes en todos los niveles educativos y de otros públicos meta en los temas de gestión de riesgo de desastres.

Los esfuerzos en relación a la gestión de riesgo de desastres y la adaptación al cambio climático en Cuba, se orienta en las siguientes direcciones: planificación y estrategias ambientales territoriales; fuentes renovables de energía; fomento de la agricultura sostenible y la seguridad alimentaria; la protección y manejo de ecosistemas y la educación y concientización de la población por medio de programas educativos y campañas de concientización sobre los impactos del cambio climático, así como promover modos de actuación ambientalmente sostenibles.

Educación ambiental para la gestión de riesgos de desastres: aprendizajes y retos

En la Ley 150 “Del Sistema de los Recursos Naturales y el Medio Ambiente” (GOC, 2023a), se declaran alcances y objetivos, donde queda precisado en el artículo 3, uno de los objetivos específicos es el declarado en el inciso H, “contribuir desde la base del conocimiento y la innovación científico técnica al fortalecimiento del Sistema de la Defensa Civil para la gestión de la reducción del riesgo de desastres ante peligros de origen natural, tecnológico y sanitario, y de las consecuencias del cambio climático” (GOC, 2023a, p. 5). En su artículo 4 (inciso I), se refiere a la educación ambiental formal y no formal, “que propicia el desarrollo de un pensamiento analítico, crítico y ético, para la formación de una cultura ambiental con una visión sistémica e integral del medio ambiente” (GOC, 2023a p. 6).

Se hace ineludible, por tanto, dejar declarado que la educación ambiental es un instrumento de la gestión ambiental y es definida como

... un proceso continuo y permanente, constituye una dimensión de la educación integral de todos los ciudadanos y comunidades, orientada a la gestión del conocimiento, el desarrollo de hábitos, habilidades, capacidades y actitudes en la formación de valores, y que, a través de la innovación, propi-

cien la adopción de decisiones fundamentadas sobre nuevos estilos de vida y prácticas de consumo, en favor de la integridad del medio ambiente, compatibles con el desarrollo sostenible (GOC, 2023a, pp. 43-44).

Al hacer un análisis de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, el objetivo No. 11, denominado “Ciudades y comunidades sostenibles”, describe lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles, y en la meta No. 5 se declara

De aquí a 2030, reducir significativamente el número de muertes causadas por los desastres, incluidos los relacionados con el agua, y de personas afectadas por ellos, y reducir considerablemente las pérdidas económicas directas provocadas por los desastres en comparación con el producto interno bruto mundial, haciendo especial hincapié en la protección de los pobres y las personas en situaciones de vulnerabilidad (ONU, 2017).

En el contexto cubano, Valdés *et al.* (2013) refieren la necesidad del tema al expresar que

en cuanto a la educación en desastres y la protección de la población, ante desastres, el gobierno, estado y pueblo cubanos, han manifestado voluntad política y concreción en la práctica de la sociedad y resultados relevantes a nivel mundial en la protección contra los desastres. No obstante, se requiere continuar perfeccionando el trabajo en desarrollo para la obtención de resultados cualitativamente superiores (p. 5).

La incorporación de la educación ambiental y en desastres en el currículo se realiza en todos los niveles educativos del sistema nacional de educación: primera infancia, primaria; secundaria básica, preuniversitario, técnica y profesional, adultos y superior. Incluye actividades extradocentes y extraescolares, que son de complementación de las clases que se realizan en estrecha vinculación con su contenido, con un carácter práctico y que contribuye a la profundización de lo recibido en las aulas, por ejemplo, mediante círculos de interés estudiantiles; sociedades o grupos científicos estudiantiles; actividades escolares de Defensa Civil; ejercicios y acciones estudianti-

les de la Cruz Roja; actividades en centros escolares de evacuación, sico-social, emergencias y desastres.

De igual manera, la actualización de los contenidos referidos a los desastres de diferentes tipos, ha constituido una necesidad para poder, desde las diferentes actividades del proceso pedagógico, contribuir al entendimiento de la situación actual y su perspectiva, e incidir en los procesos de mitigación y adaptación como una respuesta, por constituir esta una de las principales preocupaciones para el ser humano moderno, pues afecta a todos por igual, razones que avalan documentos internacionales como la Agenda 2030, con los objetivos de desarrollo sostenible.

Una práctica de más de 25 años en la Universidad de Ciencias Pedagógicas Enrique José Varona es la creación del Centro de Estudios de Educación Ambiental-Gea, del cual forman parte los autores, que tiene la misión de, asegurar la capacidad institucional para la educación ambiental y energética en la Universidad, y mediante la investigación, ha posibilitado la incorporación del tema en áreas clave interrelacionadas como sistema:

- i) Actualización de planes de estudio y programas que, mediante el análisis documental, permite constatar las potencialidades y carencias que sobre el tema existe, y a partir de este, poder sugerir a los docentes, qué, cómo y cuándo, desarrollar estos contenidos.
- ii) Superación y capacitación profesional del personal pedagógico de los distintos niveles de enseñanza, mediante cursos básicos, ciclo de conferencias, posgrado, diplomado, maestrías y en la formación doctoral.
- iii) Desarrollo de proyectos ambientales que contextualizan en la práctica los contenidos recibidos en los diferentes programas de estudios e inciden en los modos de actuación del individuo en su entorno de vida cotidiana.

Conclusiones

1. Tal como se reconoce en la EAN (2021-2025) los desafíos ambientales para el futuro climático de Cuba, que pautan la gestión de riesgo de desastres, se enmarcan en los siguientes escenarios: a) salinización

- de acuíferos terrestres por el avance significativo de la llamada “cuña salina”; *b*) reducción significativa de la disponibilidad de agua; *c*) pérdida de superficie terrestre por elevación del nivel del mar con afectaciones severas a zonas bajas donde se ubican 262 asentamientos humanos; *d*) decrecimiento sostenido en los rendimientos agrícolas fundamentales; *e*) aumento del riesgo de enfermedades respiratorias, digestivas y las transmitidas por vectores, con mayor impacto en grupos vulnerables, y *f*) tendencia creciente de ciclones sobre Cuba desde 1791, con fuerte actividad de huracanes intensos desde el 2001.
2. Las proyecciones del aumento del nivel mar realizadas en la primera década del presente siglo mostraron un ascenso de 27 cm para el 2050 y de 85 cm para el 2100. Tales proyecciones se actualizaron para el periodo 2030-2100, con valores de 29,3 y 95.0 cm para los años 2050 y 2100, respectivamente (Pérez, 2019).
 3. En la actualidad, es prioridad la educación para la gestión de riesgo de desastres. Por ello, la incorporación de este tema en los currículos y programas de estudios en todos los subsistemas educativos en Cuba contribuye a la instrucción, enseñanza y educación, como parte de la formación cultural ambiental y sobre los desastres de los ciudadanos.
 4. El relieve del territorio, como parte de la geografía local, es un factor clave para evaluar la percepción de riesgo por inundaciones en una población, ya que influye en la exposición al riesgo, la experiencia previa, la accesibilidad, la infraestructura de protección y otros aspectos, que pueden influir en cómo las personas perciben y responden a los riesgos de inundaciones.
 5. Un análisis contextual de la percepción de riesgo de inundaciones por intensas lluvias en torno a su espacio de vida del ciudadano confirma que, en el comportamiento espacial de la misma, se identifican pautas cognitivas y geográficas que se han de incorporar al sujeto social individual y colectivo, como parte del conocimiento de su entorno de vida, que coadyuve a la toma de decisiones y regule sus modos de actuación ante el peligro concreto. Ello aconseja la adopción de acciones de educación (formal e informal) y de comunicación para la formación ambiental del sujeto en su entorno de vida cotidiana (Bayón, 2020).

Reflexiones

En conformidad con el objetivo “marco” concebido con este trabajo, en relación con las acciones y resultados en torno a la política y la gestión ambiental desarrollada en Cuba como parte de la estrategia país, es conveniente resaltar algunos aspectos que marcan las pautas de la gestión de riesgo de desastre y la adaptación al cambio climático en su territorio, conforme con la concepción estratégica de desarrollo sostenible a corto, mediano y largo plazo.

Cuba es parte de los principales acuerdos climáticos internacionales, en los cuales participa activamente. Al suscribir estos instrumentos internacionales, adquiere las responsabilidades que derivan de lo dispuesto en ellos, con su propuesta de *Contribución Nacionalmente Determinada*, que refrenda a la *adaptación* como la prioridad principal para la nación, dado por el impacto negativo del cambio climático sobre sus ecosistemas naturales y humanos y por el bajo nivel de emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI) en el país (Planos y Gutiérrez, 2020). Por otra parte, se incluyen compromisos de *mitigación* relacionados con el incremento en el uso de las energías renovables (solar y eólica) con la meta de alcanzar el 24% de la generación de electricidad —en futuro cercano— a partir de dichas fuentes, en comunidades rurales y periurbanas, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y fortaleciendo la resiliencia energética.

Otro aspecto de la estrategia de adaptación al cambio climático concierne a la relevancia que se le concede al conocimiento científico y la creación de capacidades, como herramienta educativa de los diferentes actores que configuran el entramado social individual y colectivo, con el loable propósito por lograr una mayor percepción de las implicaciones del cambio climático para el país.

Son disímiles las acciones estratégicas para la gestión de riesgos por peligros de inundaciones por intensas lluvias y/o penetraciones del mar en las áreas costeras e interiores, las que comienzan desde los estudios de estimación y análisis de los riesgos a escala territorial local, hasta los vinculados con los sistemas de alerta temprana, gestionados por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), todo ello, articulados con el

accionar del Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil (EMNDC), entidad reguladora en la compatibilización de las inversiones, los proyectos e investigaciones¹¹ el país, en atención con la legislación vigente.

El accionar en torno a la gestión de riesgos de desastres y la adaptación al cambio climático se concibe desde las más altas autoridades del gobierno de la nación e integrado por todos los sectores y representantes de los ámbitos nacional, provincial, municipal y comunitario. Ello constituye, fortaleza de gobernabilidad ambiental que propicia la gestión integrada de los componentes de reducción de riesgos de desastres (RRD) y de adaptación al cambio climático (ACC), altamente reconocido por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Resultado de lo anterior, lo constituye el diseño e implementación del *Plan de Estado para el Enfrentamiento (Tarea Vida)*, estrategia cubana para hacer frente al cambio climático, que incluye la realización de estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgo (PVR) en todo el país, relacionados con los peligros hidrometeorológicos extremos, la prevención y preparación del ciudadano, así como la adaptación ante el previsto ascenso del nivel del mar a mediano y largo plazo, con la estimación de significativas afectaciones ambientales y la desaparición —al menos— de 20 asentamientos costeros hasta el 2100 (AMA, 2016).

Al amparo de la Tarea Vida se ejecutan varias acciones de protección de las costas, mediante el proyecto denominado “Mi Costa”, iniciativa de 30 años de duración que busca mejorar la resiliencia al clima de más de un millón de personas y proteger los hábitats (ecosistemas) costeros vulnerables, a lo largo de 1,300 km de costa en 24 municipios. Liderado por la Agencia de Medio Ambiente (CITMA) y con el apoyo del PNUD, estas iniciativas coadyuvan a prevenir, preparar, responder y recuperarse de los efectos del cambio climático, incluyendo las inundaciones por intensas lluvias y las penetraciones del mar.

¹¹ Ejemplos de esta dirección lo conforman la disposición de programas y recursos para reducir vulnerabilidades físicas, ambientales y sociales, considerando los adecuados procesos de planificación urbana y uso del suelo para reducir la exposición a situaciones de peligros; el mantenimiento y limpieza de ríos y canales, así como el control del estado técnico de las obras hidráulicas, entre otras (Planos y Gutiérrez, 2020).

Existen otros proyectos y experiencias que forman parte de los programas de desarrollo de los organismos de la Administración Central del Estado, articulados con el Programa de Medio Ambiente para la gestión de riesgo de desastre con enfoque basado en ecosistema, entre los que sobresalen: el programa de uso racional y ahorro de agua (calidad, atención a los eventos de sequía), el dedicado al mejoramiento y conservación de los suelos (manejo sostenible de tierra), el programa forestal nacional y el manejo integrado de zona costera, entre otros, con decisiones y acciones comprometidas con la adaptación al cambio climático para los escenarios previstos para el 2050 y 2100.

Bibliografía

- Agencia de Medio Ambiente (AMA). (2016). *Atlas de escenarios de peligros y vulnerabilidad de la zona costera cubana asociados al ascenso del nivel del mar para los años 2050 y 2100* (versión 9.0). https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewj_wbSf1bKBAXU3RjABHTZLB-YoQFnoECBMQAQ&url=http%3A%2F%2Fccc.insmet.cu%2Fcambioclimaticoencuba%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Feducacion%2FAtlas%2520zonas%2520vulnerabilidad%2520e%2520impactos%2520costeras.pdf&usg=AOvVaw02cMqvURz2QL5M_I2T0iC&opi=89978449
- Asamblea Nacional del Poder Popular de Cuba (ANPP). (2019). *Constitución de la República de Cuba*. <http://www.granma.cu/reforma-constitucional/2019-01-05/en-pdf-nueva-constitucion-de-la-republica-de-cuba>
- Bayón, P. (2018). *La percepción de riesgo por peligros hidrometeorológicos extremos desde una perspectiva geográfica: Estudio en Municipio Mariel* [Tesis de Doctorado en Ciencias Geográficas]. Universidad de La Habana. <https://opac.uqroo.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=490709>
- . (2020). Educación geográfica y ambiental: Percepción de riesgo por peligros hidrometeorológicos en la comunidad. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 3(1), 15-25. <https://doi.org/10.46380/rias.v3i1.71>
- Bayón, P., Morejón, A., Carballoza, L., y Rodríguez, Y. E. (2017, enero-junio). Desafíos y propuestas en torno a la sostenibilidad ambiental. *Revista Cubana de Ciencias Sociales*, (46), 145-163. https://www.researchgate.net/publication/371635880_Desafios_y_propuestas_en_torno_a_la_sostenibilidad_ambiental/link/648cb3fa8de7ed28ba309593/download
- Bosque, R. et al. (2023). Educación ambiental y empoderamiento climático. En *Educación ambiental y energética hacia la transición a las FRE desde la UCPEJV*. Cubasolar.
- Castro, L., y Bosque, R. (2019, septiembre-diciembre). Algunas reflexiones sobre la edu-

- cación de la prevención del riesgo, la educación ambiental comunitaria y la participación ciudadana en la gestión de reducción del riesgo de desastres. *Alcance: Revista Cubana de Información y Comunicación*, 8(21), 30-52.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal). (2021). *Construir un futuro mejor: Acciones para fortalecer la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* (LC/FDS.4/3/Rev.1). Cepal.
- Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil (EMNDC). (2017). *Glosario de términos del sistema de la defensa civil, Cuba*. Verde Olivo. https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=http://www.redciencia.cu/uploads/protegete/2017_Glosario_Defensa_Civil.pdf&ved=2ahUKewi3upWvo_-GAXvQtoQIHU-BkZyYQFnoECClQAQ&usq=AOvVaw033d33gDglH_0u8_dd2_rQ
- Gaceta Oficial de Cuba (GOC). (2023a). Ley 150/2022 "Del Sistema de los Recursos Naturales y el Medio Ambiente". *Gaceta Oficial de Cuba*, Ordinaria No. 87 (GOC-2023-771-O87). Asamblea Nacional del Poder Popular. <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/gaceta-oficial-no-87-ordinaria-de-2023>
- . (2023b). Decreto 86 "Del Enfrentamiento al Cambio Climático". *Gaceta Oficial de Cuba*, Ordinaria No. 87 (GOC-2023-774-O87). Consejo de Ministros, República de Cuba. <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/gaceta-oficial-no-87-ordinaria-de-2023>
- . (2022, 20 de diciembre). Directiva 1 "Para la gestión de la reducción del riesgo de desastre en la República de Cuba. *Gaceta Oficial de Cuba*, Ordinaria No. 130 (2022). Consejo de Defensa Nacional (CDN). <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/gaceta-oficial-no-130-ordinaria-de-2022>
- Grupo Nacional de Evaluación de Riesgo, Agencia de Medio Ambiente (GNER-AMA). (2013). *Base de datos nacional, de percepción de riesgo por peligros hidrometeorológicos* (Elaborado por C. López-Calleja, Hiort-Lorenzen, L. Núñez Moreno y E. Godefroy Núñez). Grupo de PVR-AMA.
- Iturralde-Vinet, M. y Serrano, H. (2015). *Peligros y vulnerabilidades de la zona marino-costera de Cuba: estado actual y perspectivas ante el cambio climático hasta el 2100*. Academia. https://www.researchgate.net/publication/304254102_Peligros_y_vulnerabilidades_de_la_zona_marinocostera_de_Cuba_estado_actual_y_perspectivas_ante_el_cambio_climatico_hasta_el_2100/link/59b58cb10f7e9b3743551c00/download
- Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). (2021). *Estrategia Ambiental Nacional 2021-2025*. <https://www.citma.gob.cu/estrategia-ambiental-nacional/>
- . (s/f). *Enfrentamiento al Cambio Climático en la República de Cuba: Tarea Vida* [Folleto]. https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fwww.citma.gob.cu%2Fdocs%2F2FFOLLLETO_CITMA_6.pdf&psig=AOvVaw1ZSX1DWfvV93P5Uq4N19bn&ust=1696282632734000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CA8QjRxqFwoTCLi3x-Xn1YEDFQAAAAAdAAAAABAD
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgo de Desastres (UNDRR). (2023). *Panorama de los desastres en América Latina y el Caribe 2000-2023*. <https://www.unocha.org/publications/report/world/panorama-de-los-desastres-en-america-latina-y-el-caribe-2000-2022>

- Oficina Nacional de Estadística e Información de Cuba (ONEI). (2022). *Anuario estadístico de Cuba 2021*. ONEI. <http://www.onei.gob.cu/anuario-estadistico-de-cuba-2022>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2017). *Agenda 2030: Objetivos de Desarrollo Sostenible* (Proyecto de documento final de la Cumbre de las Naciones Unidas). ONU. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- . (2015). *Tercera Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre la Reducción del Riesgo de Desastres. Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030*. ONU. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjQP6w7daBAxUDmWoFHQI_D6EQFnoECBcQA-Q&url=https%3A%2F%2Fwww.unisdr.org%2Ffiles%2F43291_spanishsendaiframe-workfordisasterri.pdf&usg=AOvVaw_2C8v-GdjHkcnlvbUCy-2Rs&opi=89978449
- Pérez Parrado, R. (2019). Ascenso del nivel del mar en Cuba por cambio climático. *Revista Cubana de Meteorología*, 25(1), 76-83. <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/455/0>
- Planos, E., y Gutiérrez, T. (Eds.) (2020). *Tercera comunicación nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). <http://ccc.insmet.cu/cambioclimaticoencuba/es/content/comunicaciones-nacionales>
- Sánchez, S. L., Olivera, J., Pérez, Torroella, A. L., Montero, R., y Borrego, Y. (2021). *Peligros y vulnerabilidad costera (2050-2100)* [Informe ejecutivo con los resultados del macroproyecto "Escenarios de peligro y vulnerabilidad de la zona costera cubana, asociados al ascenso del nivel medio del mar para los años 2050 y 2100", La Habana, febrero, 2021]. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. <https://repositorio.geotech.cu/jspui/handle/1234/2691>
- Valdés, O. et al. (2013). *A prepararnos y protegernos: Educación, capacitación, currículo, integración, evaluación y sostenibilidad*. Ministerio de Educación de Cuba. https://www.researchgate.net/publication/303697905_A_prepararnos_y_protegernos_educacion_capacitacion_curriculo_integracion_evaluacion_y_sostenibilidad_Libro_digital_e_impreso_del_Proyecto_A_prepararnos_y_protegernos_educacion_para_el_fortalecimiento_

VI. La gestión integral de riesgo de desastres comunitaria ante los riesgos volcánicos, caso volcán San Vicente, El Salvador, América Central

EDGAR ANTONIO MARINERO ORANTES*

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.218.06>

Resumen

En este capítulo se plantea la importancia de la gestión de riesgo de desastres en las comunidades, priorizando los riesgos volcánicos, que combinados con los hidrometeorológicos, han tenido un gran impacto en El Salvador durante los últimos años. Para desarrollar la investigación, la metodología se definió como mixta, aplicando métodos teóricos y estadísticos. El estudio se realizó en cinco municipios ubicados en el departamento de San Vicente, república de El Salvador: Guadalupe, Verapaz, Tepetitán, San Cayetano Istepeque y San Vicente. También, se establecieron como criterios los siguientes: la comunidad como centro de referencia, nivel de organización, experiencia en manejo de riesgos, vías de acceso, infraestructura básica, presión antrópica sobre los recursos naturales, cantidad de población, interés de las comunidades y ubicación próxima al edificio volcánico. Finalmente, los resultados reflejan que los deslizamientos y los terremotos han sido los riesgos con mayor incidencia en los últimos años, y que la organización comunitaria capacitada ha intervenido en los momentos de impacto de un evento de origen hidrometeorológico y geológico en la zona.

Palabras clave: *Desastres, hidrometeorológicos, volcánico, riesgos.*

* Doctor en Educación Superior por la Universidad de El Salvador y la Universidad de La Habana. Investigador del Centro de Investigación Ambiental de la Facultad Multidisciplinaria Paracentral de la Universidad de El Salvador, El Salvador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3327-4553>

Introducción

En los últimos años, la intensidad de los fenómenos influidos por el cambio climático y la variabilidad como la Oscilación del Trópico Sur (ENSO), ante la predominancia de condiciones atmosféricas de El Niño y La Niña, han causado daños que afectan vidas humanas y la dinámica económica (Quesada-Román, *et al.* 2022, p. 11).

El Salvador se encuentra ubicado en el acople de las placas tectónicas del Pacífico y de los Cocos con cercanía al cinturón de fuego, tal como lo describen Arroyo-Solórzano *et al.* (2022) y Alvarado *et al.* (2017), quienes plantean que se cumplen las condiciones propicias para la ocurrencia de sismos y actividad volcánica. El país cuenta con un clima tropical, el cual consta de una estación húmeda y seca bien diferenciada. Las precipitaciones suelen registrarse desde mayo hasta noviembre, lo que coincide con la temporada de huracanes en la cuenca del Atlántico (Smith, 2012, p. 14). Bajo este escenario, las comunidades deben afrontar las consecuencias de los graves impactos por fenómenos hidrometeorológicos, volcánicos y geológicos, por lo que es clave contar con la capacidad de reponerse ante situaciones adversas. Por consiguiente, Quesada-Román y Campos-Durán (2023), señalan que es importante desarrollar estrategias que permitan la adaptación ante estas condiciones junto con la vinculación de la gobernanza local, la academia y los actores clave en gestión de riesgos.

De esta manera, el objetivo es impulsar la gestión de riesgo comunitaria con un enfoque en la integralidad para impactar en el desarrollo de las comunidades. También, es necesario destacar las características socioeconómicas y ambientales con un enfoque en la vulnerabilidad.

Es relevante mencionar que son muchas las comunidades impactadas por fenómenos adversos de origen natural y, para efectos de este estudio, se evaluaron en cinco municipios que conforman la zona norte del volcán San Vicente: Guadalupe, Verapaz, Tepetitán, San Cayetano Istepeque y San Vicente, en El Salvador. En estos municipios se aplicó un diagnóstico dirigido a distintos niveles de intervención en la gestión de riesgo. El análisis se realizó por medio del programa SPSS, versión 25.

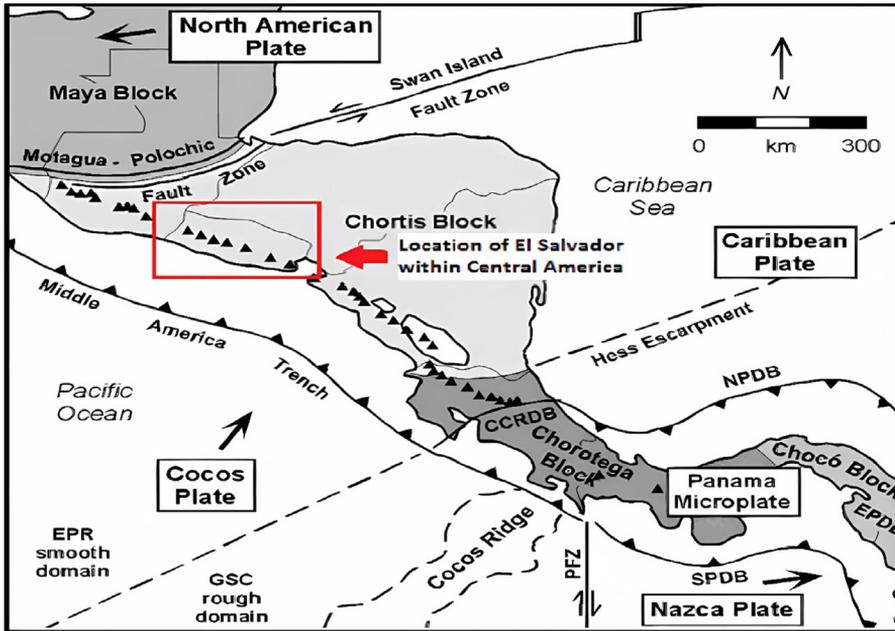
Dinámica geológica de San Vicente, El Salvador

La geología de El Salvador se caracteriza por un alto número de volcanes situados en una línea paralela a la costa, a unos 170 km de la Fosa Mesoamericana, donde la Placa de los Cocos está subduciendo debajo de la Placa del Caribe (Marshall, 2007 citado por Smith, 2012, p. 12). Ahí se encuentra el sistema de fallas transcurrentes sinistralas, Motagua-Polochic, que se mueve 19 mm/año y conforma el punto donde se unen las placas de Cocos, del Caribe y la norteamericana (De Meets, 2001; Rogers *et al.*, 2002; Dewey *et al.* 2004 citado por Escobar *et al.*, 2017). Por consiguiente, la mayor parte del país se encuentra cubierta por rocas volcánicas extrusivas altamente fracturadas, y la actividad volcánica reciente cubre las antiguas formaciones volcánicas de secuencias intercaladas de ceniza y lava. Al noreste del país se han identificado formaciones marinas sedimentarias (Rodríguez *et al.*, 2006). Asimismo, dichas condiciones son resultado de una estructura geológica continental denominada “Cinturón de Fuego” del Pacífico, originado por el acople de las placas tectónicas y que, a su vez, originan la cadena volcánica activa conformada por 23 edificios volcánicos a lo largo de todo el país (incluyendo depresiones volcánicas que son ocupadas por lagos), los cuales poseen fumarolas en zonas de anomalía hidrotermal asociadas con fallas activas. Además, se han identificado 5 zonas vulcano-tectónicas que poseen alta microsismicidad y estructuras asociadas al vulcanismo de lagos cratéricos (Siebert y Simkin, 2002; Aguirre-Turcios, 2005, p. 8).

En este sentido, el territorio salvadoreño se caracteriza por pendientes pronunciadas, mayores a 30° situadas en las cercanías de los volcanes poligenéticos e inclusive existen zonas en las que se visualizan cerros y calderas que conforman un complejo volcánico. De esta manera, al ser una estructura originada por el acople directo de las placas tectónicas, se generan las características geológicas de la región de América Central, con la formación de cadenas volcánicas en los distintos países de Centroamérica (figura 1).

El Salvador enfrenta amenazas como terremotos, erupciones volcánicas, deslizamientos de tierra, inundaciones y sequías. La frecuencia potencial y la gravedad de estas amenazas hacen de El Salvador el octavo país más vulnerable del mundo, según el Informe Mundial de Riesgos (Mucke *et al.*, 2014, citados por Bowman, 2015).

Figura 1. Geología regional y ajuste tectónico de El Salvador: La cadena volcánica central es representada con triángulos y la línea punteada representa el acople de las placas tectónicas



Fuente: Marshall (2007, citado por Smith, 2012, p. 12).

En este contexto, se desarrollaron esfuerzos para la construcción de una gestión de riesgo comunitaria focalizada en San Vicente uno de los 14 departamentos que conforman El Salvador, el cual se encuentra ubicado en la zona central de la República a 60 km de la ciudad capital. Su ubicación está limitada al norte por Cabañas; al noreste por los departamentos de Usulután y San Miguel; al sur por el Océano Pacífico, Usulután y La Paz, al oeste por La Paz y al Noroeste por Cuscatlán (Calles-Navarrete *et al.*, 2006).

Amenazas volcánicas, accidentes geológicos y hidrometeorológicos de San Vicente, El Salvador

Al noroeste de San Vicente se encuentra el volcán de San Vicente, cuya estructura interna consiste, principalmente, en lava andesítica, flujos y depósitos piroclásticos asociados con la actividad eruptiva pasada (Rotolo *et al.*, 1998, citados por Smith, 2012, p. 12).

En cuanto a los riesgos, analizando diferentes registros históricos bibliográficos se puede realizar un perfil real frente a los eventos o fenómenos naturales asociados a las condiciones antrópicas y socio-naturales. Considerando fuentes de información, las amenazas son: geológicas (erupción volcánica, sísmicas y deslizamientos y flujos de lahar); hidrometeorológicas (desbordamiento de ríos, desbordamiento, quebradas e inundaciones meteorológicas). Las depresiones tropicales, tormentas tropicales, sequías y la posible manifestación de huracanes son consecuencia de los efectos del cambio climático (tabla 1).

Tabla 1. *Riesgos principales del departamento de San Vicente*

<i>Riesgos</i>	<i>Ejemplo de riesgos</i>	<i>Daños</i>
Sismología	Enjambres sísmicos	53% de pérdidas entre los años de 1961-2011 con un valor de
Vulcanología	Deslizamientos	
Hidrometeorológico	Lahares	1 205 millones de dólares (océano
	Posibles erupciones	Pacífico) y 1,057 millones de dólares
	Sequías	(océano Atlántico)

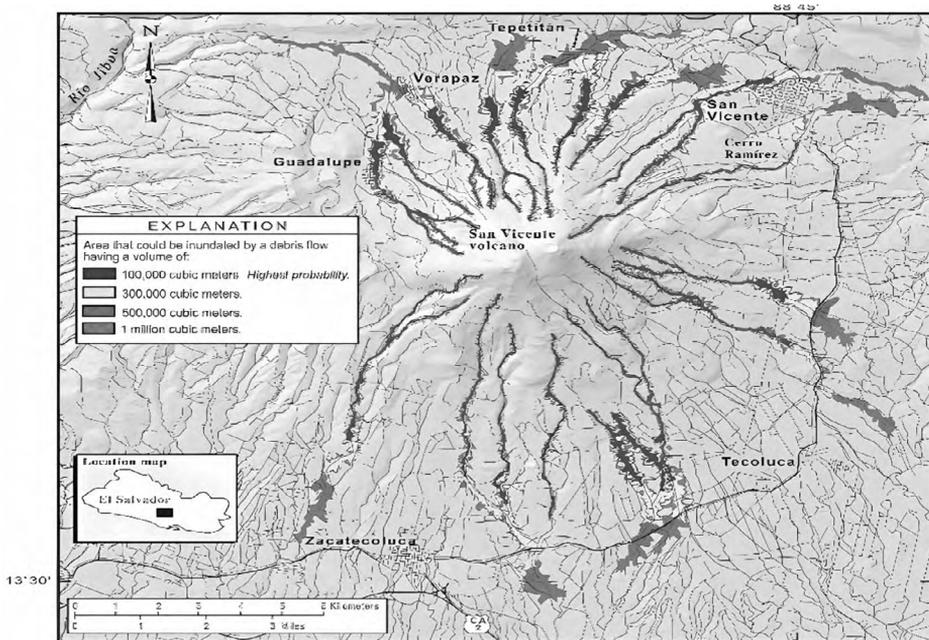
Fuente: Consejo Departamental de Alcaldes (CDA) y Grupo Gestor de San Vicente (2004); MARN (2010); Cabrera y Amaya (2015, citados por Marinero Orantes y García-González, 2021).

Dentro de la estructura de lo que hoy en día forma el volcán San Vicente se situaba el volcán La Carbonera de mucho mayor tamaño y que originó la estructura anular compuesta de conos volcánicos monogenéticos cubiertos de vegetación en los alrededores de las colinas conocidas como cerro el Cimarrón, La Carbonera, el Volcancito y el Cerrito (Escobar *et al.*, 2017). Estas condiciones representan riesgos por deslizamiento, flujos de escombros y lahares, por lo que, resulta necesario modelar la posible trayectoria de estos materiales con el fin de estimar las posibles comunidades impactadas. Debido a esto se proporciona la siguiente zonificación de la posible trayectoria de estos fenómenos (figura 2).

Si bien hasta el momento no existe registro de que el volcán San Vicente haya hecho erupción, se considera que se encuentra activo por contar con sitios de desgasificación difusa o hidrotermales en los que se monitorean los precursores de actividad volcánica.

Por lo tanto, los mayores riesgos podrían provenir de los gases emitidos al quedar confinados en el cráter de la cumbre. Fuera del cráter de la cumbre, los riesgos directos provenientes de los gases volcánicos probablemente

Figura 2. Zonificación de los volúmenes de flujos de escombros para el volcán de San Vicente. 1:50,000. Universal Transverse Mercator projection, zone 16. Datún norteamericano de 1927, Spheroid Clarke 1866



Fuente: Major *et al.* (2015, p. 101).

sean menores. Además, la alta cantidad de compuestos de azufre emitidos por los gases pueden ocasionar la acidificación excesiva de la lluvia al combinarse con las gotas y el vapor de agua, formando ácido sulfúrico, el cual se precipita durante las tormentas (Major *et al.*, 2001).

Esto afecta la producción agrícola familiar destinada principalmente para la subsistencia, influye en la calidad de agua que consumen las comunidades y, por lo tanto, ocasiona un deterioro de la salud por los altos periodos de exposición y la alta concentración de estos contaminantes.

Por otra parte, los riesgos más significativos suscitados por la sismicidad, la actividad volcánica y factores hidrometeorológicos son los deslizamientos, lahares y flujos de escombros, los cuales son comunes en los drenajes o en laderas con topografía cóncava ocasionando afectaciones en la zona baja de la cuenca del río Acahuapa (Rodríguez *et al.*, 2006). Además, históricamente los municipios de Guadalupe, San José Verapaz, Tepetitán, San

Cayetano Istepeque y San Vicente, han sido afectados por estos fenómenos, por lo que es imprescindible trabajar de manera articulada para proteger a las comunidades vulnerables.

Se sabe que ocurrieron desprendimientos de tierra y lahares provocados por temblores y lluvias torrenciales en 1774, 1934, 1996 y 2001. En ese mismo orden, se han suscitado distintos fenómenos como el lahar de 1774 que ocurrió en el flanco noreste del volcán y afectó al pueblo de San Vicente. Además, el lahar de 1934 ocurrió en el flanco norte del volcán y destruyó el pueblo de Tepetitán, a más de seis kilómetros de la cumbre del volcán (Major *et al.*, 2001, p. 9; Francia, M *et al.*, 2003: 23 citado por Marinero-Orantes y García-González, 2021).

De manera similar, los fenómenos hidrometeorológicos más significativos de los últimos 15 años incluyen los huracanes Stan (2005), Adrián (2005) e Ida (2009) así como la Depresión Tropical 12E (2011) (Smith, 2012, p. 14).

En el caso del huracán IDA en 2009, se registraron 480 mm de lluvia en las laderas superiores del volcán San Vicente en menos de dos días, con una intensidad máxima de precipitaciones de más de 80 mm/h. Esto ocasionó algunos de los eventos hidrometeorológicos más significativos, ya que hubo pérdidas cuantiosas, daños y pérdidas de vidas humanas como resultado del fuerte impacto. Las comunidades de San Vicente estaban mal preparadas para los lahares que ocurrieron entre el 7 y el 8 de noviembre de 2009. Más de 250 personas murieron por lahares resultantes de deslizamientos de tierra poco profundos (Bowman y Henquinet, 2015; Smith, 2012; Bowman, 2012, citado por Marinero Orantes y García González, 2021).

Este evento impactó fuertemente en los municipios de Guadalupe, San José Verapaz, Tepetitán, San Cayetano Istepeque y San Vicente. Así se perdieron comunidades enteras, vidas humana y daños materiales muy significativos que marcaron precedente.

Todos estos sucesos interrumpen el desarrollo económico, social y ambiental del país y se estima que en El Salvador el 53% de las pérdidas económicas entre 1961 y 2011 son debido a ciclones que se originan en el océano Pacífico. Éstas equivalen a 1 205 millones de dólares, mientras que las pérdidas económicas por meteoros provenientes del océano atlántico equivalen a 1 057 millones de dólares (Cabrera y Amaya, 2015, citados por Marinero Orantes y García González, 2021).

Esto indica que solamente en el municipio de San Vicente, el cual cuenta con una extensión 267.25 km² pueden ser afectados 53 213 habitantes de los cuales 36 700 son de la zona urbana y 16 513 habitantes se encuentran en la zona rural (MINECO y DIGESTYC, 1995; DYGESTYC y MINECO, 2010). Además, representa una densidad poblacional de 138 habitantes por km² (DYGESTIC, 2002), de los cuales un 55% se dedican al comercio, manufactura un 25% y servicios un 15% (Calles-Navarrete *et al.*, 2006).

Además, existe una mayor participación en el comercio en la zona rural con un 55.6% contra un 44.4% en la zona urbana. Esto plantea que son cerca de 21 235 habitantes en el año 2018 que se dedican a labores agrícolas (MINECO y DIGESTYC, 1995; DIGESTYC, 2018).

Por otra parte, El Salvador es considerado vulnerable debido a estas condiciones y por las características inherentes del territorio. No obstante, desastres ocurridos han creado consciencia de la cultura de gestión de riesgos y se han priorizado estrategias como la aprobación de la Ley de Protección Civil y diferentes sistemas de capacitación continua con el fin de establecer Sistemas de Alerta Temprana.

En este sentido, el establecimiento de un Sistema de Alerta Temprana supone el análisis del fenómeno natural, la evaluación de las vulnerabilidades y la participación comunitaria durante todo el proceso para conocer el riesgo que representa dicha amenaza para las comunidades. Es así como hoy en día las comunidades conforman comisiones comunales de protección civil y tienen una mayor participación en la evaluación de las amenazas mediante el monitoreo continuo que realizan los observadores locales.

Al contar con un escenario multiamenazas los observadores locales han sido capacitados para identificar el incremento de los diferentes riesgos como crecidas de quebradas, deslizamientos, incendios, flujos de escombros, lahares e inundaciones. Estos esfuerzos han prevalecido desde el año 2012 conformando una red de observadores locales que monitorea el flanco norte del volcán San Vicente, tanto en la zona urbana como en la zona rural. Esto se acompaña de asistencia técnica en el análisis y evaluación de amenazas mediante el procesamiento de información de teledetección satelital y previsión numérica del tiempo meteorológico local del Centro de Investigación Ambiental de la Universidad de El Salvador.

Esto se basa en lo declarado por Ramón-Valencia *et al.* (2019), quienes establecen que se debe contar con acceso en tiempo real a información de estaciones meteorológicas automáticas, estaciones hidrológicas para monitorear el nivel del río que, para la zona de interés, corresponde al río Acahuapa. Estas herramientas se encuentran disponibles y son utilizadas por los observadores locales o actores claves para mejorar la toma de decisiones. No obstante, la información disponible de herramientas de teledetección y estaciones hidrometeorológicas para análisis de las amenazas y la estimación del riesgo es cruzada con los registros y la intervención de los observadores locales mediante una red de comunicación digital.

Concepciones y tendencias de la gestión integral de riesgos de desastres

Los riesgos y los desastres han estado presentes en todas las épocas del desarrollo de la humanidad. Por tal motivo, no es de extrañarse que la necesidad de entenderlos se originó desde el conocimiento más “ingenuo” y del “sentido común”, evocándolos como “castigos divinos”; hasta evolucionar a concepciones más contemporáneas avaladas por la ciencia. Estas ponen su mirada no sólo en la comprensión de estas adversidades sino, principalmente, en entenderlas para poder mitigar o evitar los daños que las mismas provocan (Yncerra, 2019, p. 7).

La gestión de riesgo, como conceptualización teórica, ha sufrido cambios en su contenido y enfoques, situación que ha generado diversas perspectivas, tanto desde el punto de vista académico, como de aspectos relacionados con las decisiones políticas, económicas, sociales, culturales y la intervención en los distintos contextos.

De Pinto (2012) plantea que en los años 1970-1980 en el norte y sur de América, el abordaje de la gestión del riesgo estaba definida por el impacto diferenciado de eventos asociados con amenazas de distinto tipo: en el espacio, en sistemas constructivos, en las morfologías urbanas, o en redes de infraestructura y sistemas vitales.

Es a partir de este último enfoque que el riesgo como probabilidad de pérdida empezó a ser definido como función tanto de la amenaza como de la

vulnerabilidad. Así surgió en 1980 lo que se define como el modelo conceptual prototipo del riesgo, como producto de amenaza y vulnerabilidad.

A diferencia de lo que sucedió en el norte, con fuerte énfasis en la aproximación al tema desde enfoques disciplinarios (particularmente en la sociología y la geografía social) y su concentración en el tema de la respuesta, la percepción y la organización, en América Latina, el punto de partida de este trabajo es la relación entre desastre y desarrollo y entre desastre y medio ambiente —con un fuerte interés en el problema de la prevención y mitigación (Lavell, 2004, p. 30).

En el periodo comprendido de los años 1990 hasta el 2005 se inicia en América Latina un esfuerzo de teorización para vincular los riesgos de desastres a deficiencias del desarrollo. En ese sentido Lavell (2004) destaca que:

El riesgo es producto de procesos, decisiones y acciones que derivan de los modelos de crecimiento económico, de los estilos de desarrollo o de transformación de la sociedad. O sea, riesgo y falta de desarrollo están relacionados y, en consecuencia, el tratamiento que se dé al riesgo y su reducción debería ser considerado dentro de los marcos del desarrollo y de su gestión sectorial, social, ambiental y territorial. (p. 26)

Estos planteamientos coinciden con que los riesgos se vinculan a las amenazas y la vulnerabilidad, que son componentes determinados por múltiples factores. Además, se complementa la definición con componentes de la prevención y mitigación, que tienen un estrecho vínculo con el contexto de las comunidades y sus formas de vida. Sin embargo, en los últimos años se refleja un gran desarrollo del concepto de gestión de riesgo, señalando que los procesos de avance en lo ambiental, económico, social, cultural y político son aspectos que evidencian la vulnerabilidad de las sociedades expuestas a los riesgos, así como la vulnerabilidad en todas sus dimensiones.

La región de América Central no está exenta de ello. Debido a esto, la Política Centroamericana de Gestión Integral de Riesgo (PCGIR) ha adoptado la Gestión Integral del Riesgos de Desastres que se fundamenta en las dimensiones social, económica, ambiental y político-institucional del desarrollo en el territorio (Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central [CEPREDENAC], 2017, p. 16).

Bajo este enfoque, la palabra integral funciona acorde con los nuevos planteamientos que vinculan a las sociedades con acciones definidas para los componentes del desarrollo, que deben implementar sus procesos de mejora considerando acciones integrales que permitan el avance a pesar de los riesgos. La palabra integral es el eslabón que permite contextualizar todas las acciones realizadas en los distintos niveles de toma de decisiones, llegando hasta los espacios donde se materializan las ideas en las comunidades.

De manera general, según criterios de Ojeda (2016), existen tres perspectivas para abordar el estudio de los riesgos de desastres:

- a) *Visión de las ciencias naturales e ingenieriles:* Se enfocan en los procesos de la naturaleza y los procesos tecnológicos relacionados. No se descuida la dimensión social en tanto el ser humano interviene en el riesgo, pero se interesa en especial en el peligro “real” que puede suceder.
- b) *Visión desde las ciencias económicas:* Buscan cuantificar los efectos económicos relevantes de los eventos vinculados con los riesgos de desastres. Esta perspectiva es muy útil para las empresas aseguradoras para sus métodos de cálculo de riesgos.
- c) *Visión desde las ciencias sociales:* En cierta forma es opuesta a las dos anteriores, pues el énfasis es la dimensión humana y social, teniendo en cuenta aspectos como la exposición a los riesgos, la forma de manejarlos, los contextos en que se desarrollan y las decisiones que se toman.

Históricamente ha predominado la visión desde las ciencias naturales, quizá porque los desastres fueron sinónimos de eventos físicos extremos. Por consiguiente, las investigaciones se dirigían a procesos forestales, ambientales, geológicos, meteorológicos, hidrológicos, entre otros. Si bien los aportes de este enfoque son muy importantes para mejorar las posibilidades de predicción de los eventos, al estar desconectados de la dinámica social, el riesgo se establece en el rango de la amenaza y se tiende a considerar los desastres como inevitables o no prevenibles (Maskrey, 1993, 1998).

Paulatinamente se fue incorporando el concepto de vulnerabilidad, pero no se logró establecer una terminología común, lo cual dificultó la comu-

nicación entre investigadores, y esta no puede desligarse de la capacidad de la población para dar respuesta o afrontar riesgos determinados.

En particular un volcán constituye una amenaza cuando hay una población asentada en sus inmediaciones, y depende de la cercanía al cráter la intensidad de un posible evento eruptivo.

Estos tienen no solo efectos sociales por los fallecimientos de personas, sino también efectos económicos, ambientales, culturales, pérdida de ciudades o poblados enteros, la destrucción de bosques, de cultivos y el colapso de las economías, entre otros (Centro Nacional de Prevención de Desastres [Cenapred], 2014, p. 40).

Coincidiendo con Ojeda (2016), el riesgo volcánico es complejo de manejar, tanto por el arraigo de las poblaciones a lugares benéficos para su sustento material, como por el tejido social intergeneracional de la comunidad que configura el sentido de pertenencia e identidad territorial.

Aunque el volcán representa una potencial amenaza, a la vez existe una convivencia con el fenómeno, es decir, la gente se ha familiarizado con él, considerando que por generaciones la población ha sido beneficiaria de la actividad volcánica. Estos beneficios explican en buena parte la densidad poblacional alrededor de los volcanes (Vela, 2009, p. 30).

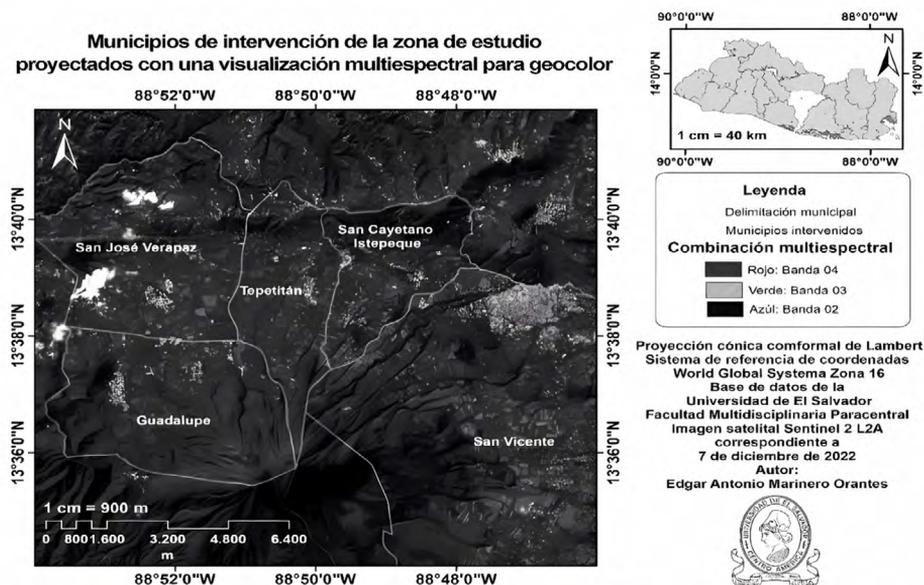
Metodología

La investigación realizada fue mixta, cuali-cuantitativa, tal como lo plantea Sampieri (2018), utilizando métodos del nivel teórico, empírico y estadístico, para la búsqueda, procesamiento y análisis de toda la información.

El estudio se realizó en cinco municipios ubicados en el departamento de San Vicente, república de El Salvador: Guadalupe, Verapaz, Tepetitán, San Cayetano Istepeque y San Vicente (figura 3), durante el periodo comprendido entre los años 2018 hasta 2022.

A partir de lo planteado en los párrafos anteriores, se definieron criterios generales para la selección de las comunidades, luego de considerar la información colectada y las opiniones obtenidas. En ese sentido, se establecieron los siguientes criterios: la comunidad como centro de referencia, nivel de organización, experiencia en manejo de riesgos, vías de acceso, infraes-

Figura 3. Mapa de ubicación de los cinco municipios participantes, en el proceso de investigación



Fuente: elaboración propia con base en datos de la Universidad de El Salvador.

estructura básica, presión antrópica sobre los recursos naturales, cantidad de población, interés de las comunidades y ubicación próxima al edificio volcánico.

En cuanto a los resultados del diagnóstico, se caracteriza la gestión integral de riesgo de desastres en cinco municipios del departamento San Vicente, empleando distintos instrumentos: revisión documental y una entrevista a los distintos actores involucrados en el proceso, entre los que destacan alcaldes, directores de instituciones, observadores locales y representantes comunitarios, los cuales son sometidos al procesamiento estadístico con el empleo del programa SPSS versión 25 en español para Windows.

La investigación se realizó considerando cuatro etapas asociadas a las preguntas científicas y tareas establecidas: una de construcción teórica, el diagnóstico o indagación empírica, el diseño del sistema de capacitación y, por último, la valoración del resultado fundamental.

En la zona norte del volcán San Vicente se aplicaron 313 encuestas a integrantes de comisiones comunitarias y población de las comunidades que se distribuyen de la siguiente manera en los municipios de la zona de

estudio: el 20% habitantes de Guadalupe; a Verapaz, 20%, Tepetitán, el 19.4%; San Cayetano Istepeque el 19.4; y el 22.3% en San Vicente.

Para el procesamiento e interpretación de los resultados se trabajaron métodos teóricos: histórico-lógico, analítico-sintético y sistémico-estructural-funcional. Además, los elementos de la estadística descriptiva (cálculo porcentual y análisis multivariado) se graficaron como vía para sintetizar la información.

Resultados

La investigación se realizó incluyendo actores fundamentales en cuanto a la participación directa en la gestión de riesgo. Además, se priorizó uno de los niveles organizativos más importantes en la atención al riesgo como lo son los observadores locales y las comisiones comunitarias de gestión del riesgo.

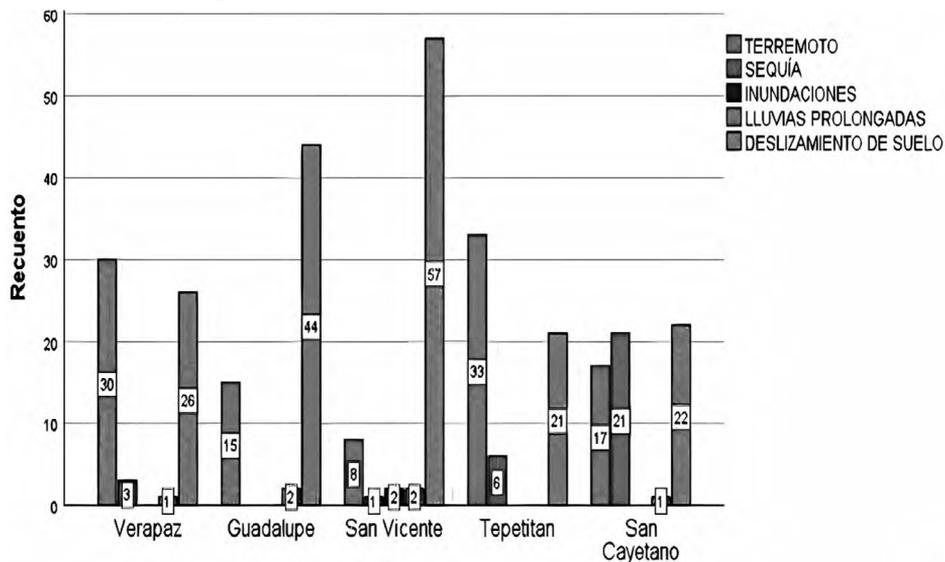
Considerando lo antes expuesto, en la figura 4 se muestra el evento natural que más predomina en la zona norte del volcán San Vicente, mostrando que los deslizamientos de suelo son los que más predominan, seguido de los terremotos y la sequía como tercer fenómeno. Este resultado predomina en los cinco municipios que constituyen la zona norte del volcán San Vicente.

Además de la información antes descrita, es importante mencionar que la apreciación de los encuestados en cuanto a la participación de la mujer en los distintos espacios organizativos de la gestión integral de riesgo de desastres (GIRD) es equilibrada en relación con el involucramiento de los hombres (véase figura 5).

En los resultados obtenidos, las mujeres tienen el 47.46% de participación en organizaciones comunitarias y el 53.45% corresponde a la participación de los hombres. Esto demuestra una diferencia reducida en cuanto a la participación de mujeres dichas organizaciones.

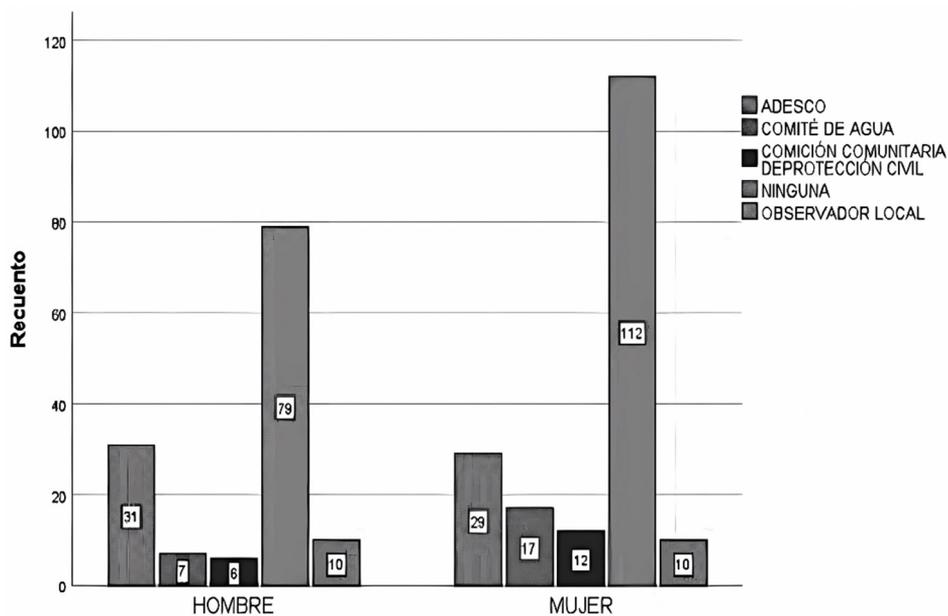
Respecto a la reacción de las comisiones comunitarias de protección civil (CCPC) en el momento de impacto de un fenómeno ambiental, la mayoría de los encuestados consideran con un 41.1% que actúan en el momento adecuado, el 37.9% que no actúan en el momento oportuno y 21% que nunca actúan en el momento adecuado. Además, es importante mencionar

Figura 4. Representación de eventos naturales y municipios



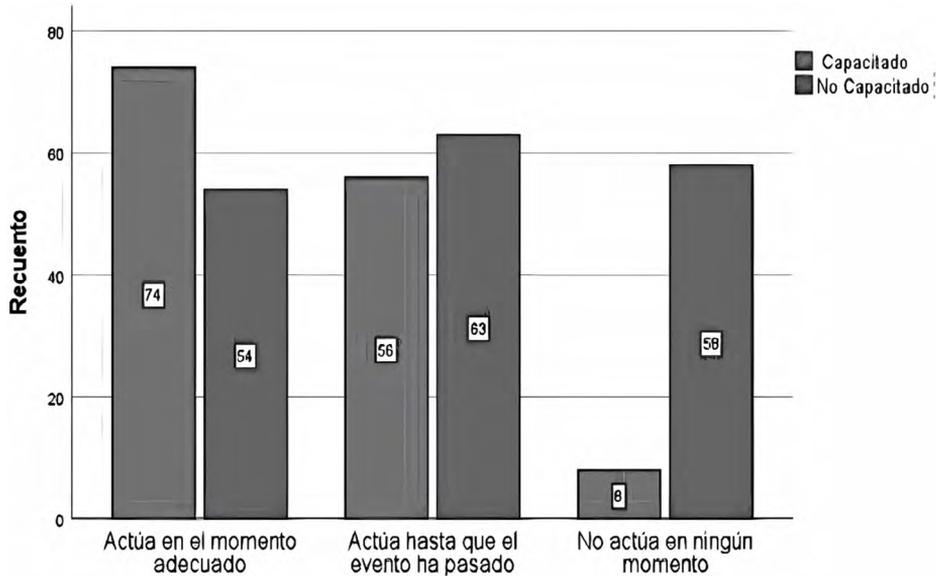
Fuente: elaboración propia utilizando el programa SPSS versión 25.

Figura 5. La relación de género y organización



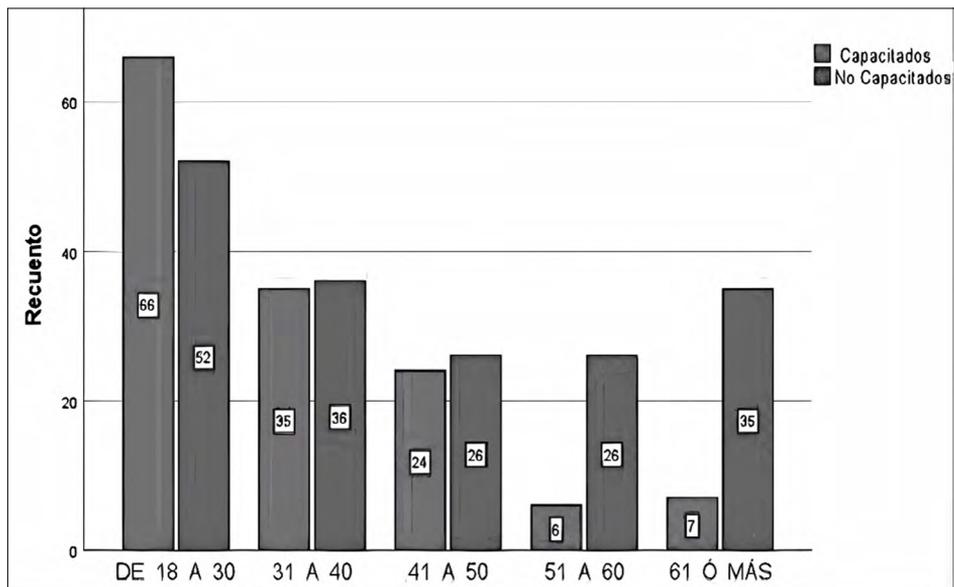
Fuente: elaboración propia utilizando el programa SPSS versión 25.

Figura 6. Reacción de las comisiones comunitarias ante los eventos



Fuente: elaboración propia utilizando el programa SPSS versión 25.

Figura 7. La capacitación relacionada con los grupos de diferentes edades



Fuente: elaboración propia utilizando el programa SPSS versión 25.

que la mayoría de las CCPC que actúan en el momento adecuado son consideradas organizaciones comunitarias que se encuentran capacitadas para actuar (figura 6).

También se evaluaron los niveles de capacitación con relación a la edad de los encuestados, debido a que en la zona norte del volcán San Vicente se llevaron a cabo dichas acciones. Para el caso los habitantes de dicho territorio, el 65%, manifestaron que sí han recibido capacitación y se encuentran entre las edades de 18 a los 30 años. Asimismo, el 34% se encuentran entre las edades de 31 a 40 años, y señalan que han recibido capacitación en cuanto a la GIRD (figura 7).

Conclusiones

En lo que respecta a los resultados obtenidos en el indicador de la evaluación de riesgos de desastres, la intervención de las comunidades presenta un dato del 60%, el cual indica un nivel aceptable de involucramiento de la organización comunitaria en cuanto a la atención del riesgo. Además, se estima que la capacidad de actuar ha mejorado sustancialmente, dando como resultado intervenciones más numerosas y sostenidas a largo plazo. No obstante, el grado de incertidumbre respecto a la ocurrencia de las amenazas es alto debido a un déficit de información de la actividad volcánica, geológica e hidroclimática.

El área temática relacionada a la preparación y respuesta mostró valores entre 21 y 40% de un nivel de baja resiliencia con la excepción de los componentes relacionados a la infraestructura, respuesta a la emergencia y recuperación con un ligero aumento, estimándose un nivel de resiliencia mediano. En este sentido, existen deficiencias en la planificación para contingencias por parte de las comunidades y bajas capacidades de preparación y respuestas debido a que no existe un sistema de formación continua de los actores clave.

Se contextualizó y realizó un diagnóstico profundo en las zonas vulnerables en cuanto a la gestión integral de riesgos de desastres para los actores locales del departamento de San Vicente en relación a los riesgos volcánicos, apoyado en una metodología de la investigación científica, profunda y de-

tallada para cada una de las etapas que la conforman. Se corroboró que los riesgos volcánicos se combinan con las vulnerabilidades de los asentamientos humanos y favorecen un alto impacto en el desarrollo local de la zona.

Se confirmó que la fuerza local de la organización comunitaria es la que tiene mayor involucramiento en la prevención, mitigación y reacción ante los desastres que impactan los territorios.

Se verificó que los observadores locales son la fuerza que sostiene un sistema de alerta temprana. Independientemente de que la estructura formal desaparezca en ese territorio, ellos se sostienen de forma voluntaria.

Reflexiones

Se detectan las situaciones del contexto que permiten constatar el estado actual y las características del área donde se desarrolla la investigación en cuanto a los riesgos volcánicos, permitiendo conocer los componentes esenciales de la gestión integral de riesgo de desastres (GIRD).

En ese mismo sentido, se aclaró que la GIRD que actualmente se desarrolla es insuficiente ante los cambios experimentados en el contexto debido al cambio climático. No se forman a los actores principales de la gestión de riesgo sobre cómo responder a estos cambios y exigencias con una capacitación de riesgos volcánicos, lo que dificulta una formación integral.

Finalmente, la GIRD que se propone se basa en la retroalimentación continua que enlaza los valores fundamentales con el espacio de comunicación horizontal entre las CCPC, CDPC, CMPC, CDPC y observadores locales. Asimismo, se basa en ser un proceso emplazado en características fundamentales como ser flexible, cooperativo, innovador, holístico, sostenible, multiplicador, integrador y estratégico.

Bibliografía

Aguirre Turcios, F. J. (2005). *Caracterización de la fracción líquida de condensados de emisiones fumarólicas y sedimentos en varios puntos de la cadena volcánica activa*

- de El Salvador [Tesis de licenciatura]. Universidad de El Salvador. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/8709/1/19200736.pdf>
- Alvarado, G. E., Benito, B., Staller, A., Climent, Á., Camacho, E., Rojas, W., Marroquín, G., Molina, E., Talavera, J. E., Martínez Cuevas, S., y Lindholm, C. (2017). The new Central American seismic hazard zonation: Mutual consensus based on up to day seismotectonic framework. *Tectonophysics*, 721, 462-476. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2017.10.013>
- Arroyo Solórzano, M., Quesada Román, A., y Barrantes Castillo, G. (2022). Seismic and geomorphic assessment for coseismic landslides zonation in tropical volcanic contexts. *Natural Hazards*, 114(3), 2811-2837.
- Bowman, L. (2015). *The 2009 and 2011 hazard events at San Vicente volcano, El Salvador: Vulnerability, resettlement, and disaster risk reduction*. Michigan Technological University, Department of Geological/Mining Engineering and Sciences. <http://digitalcommons.mtu.edu/etdr/8>
- Bowman, L., y White, P. (2012). 'Community' perceptions of a disaster risk reduction intervention at Santa Ana (Ilamatepec) volcano, El Salvador. *Environmental Hazards*, 11. <https://doi.org/10.1080/17477891.2011.609880>
- Calles Navarrete, I. G., Murcia Flores, D. D., y Sánchez Chávez, Z. M. (2006). *Estrategia de promoción turística para el departamento de San Vicente* [Tesis de grado]. Universidad Dr. José Matías Delgado. <https://webquery.ujmd.edu.sv/siab/bvirtual/BIBLIOTECA%20VIRTUAL/TESIS/01/MER/ADCE0000842.pdf>
- Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (Cepredenac). (2017). *Política centroamericana de gestión integral de riesgo de desastres (PCGIR)*. Cepredenac.
- Consejo Departamental de Alcaldes (CDA) y Grupo Gestor de San Vicente. (2004). *Síntesis / Plan de desarrollo de San Vicente*. CDA / Grupo Gestor de San Vicente.
- De la Yncera, N. (2019). *Resiliencia comunitaria frente al riesgo de desastre de origen natural en Yautepec, Morelos* [Tesis de Doctorado en Psicología]. Centro de Investigación Transdisciplinaria en Psicología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México.
- De Pinto, G. (2012). El cambio de paradigma: De la atención de desastres a la gestión del riesgo. *Sapiens Research Group*, 2(1), 13-17.
- Dirección General de Estadísticas y Censos de El Salvador (Digestyc). (2018). *Encuesta de hogares de propósitos múltiples 2017*. Digestyc.
- Dirección General de Estadísticas y Censos (Digestyc) y Ministerio de Economía (Mineco). (2010). *Atlas sociodemográfico: VI Censo de Población y V de Vivienda*. Digestyc / Mineco.
- Escobar, D. Gutiérrez, E., y Montalvo, F. (2017). *Proyecto "Estudio geovolcanológico y estratigráfico para modelación y simulación de escenarios de peligro del volcán de San Vicente (Chichontepec), 2017-2019"*
- Grupo Inter-Agencial (GOAL). (2015). *Herramienta para medir la resiliencia comunitaria ante desastres: Guía metodológica*. <https://dipecholac.net/docs/herramientas-proyecto-dipecho/honduras/Guia-Medicion-de-Resiliencia.pdf>

- Hernández Sampieri, R., y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativas, cualitativas y mixtas*. (8ª ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Lavell, A. (2004). *La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED): Antecedentes, formación y contribución al desarrollo de los conceptos, estudios y la práctica en el tema de los riesgos y desastres en América Latina: 1980-2004*. FLACSO / LA RED. <http://www.desenredando.org/public/varios/2004/LARED>
- Major, J. J., Pullinger, C. R., y Escobar C. D. (2015). Debris-flow hazards at San Salvador, San Vicente and San Miguel volcanoes, El Salvador. En W. I. Rose, J. J. Bommer, D. L. López, M. J. Carr y J. J. Major (Eds.), *Natural hazards in El Salvador* (Special Paper, 375). Geological Society of America. <https://doi.org/10.1130/0-8137-2375-2.89>
- Major, J. J., Schilling, S. P., Pullinger, C. R., Escobar, C. D., y Howell, M. M. (2001). *Volcano-hazard zonation for San Vicente volcano, El Salvador* (U.S. Geological Survey Open-File Report 01-367). <https://pubs.usgs.gov/of/2001/0367/>
- Marinero Orantes, E. A., Funes Guadrón, C. R., y Cornejo Reyes, G. V. (2021). *Memoria 2020-2021. Recopilación de datos de resiliencia en las comunidades de San Vicente*. Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria Paracentral, Centro de Investigación Ambiental.
- Marineros Orantes, E. A., y García González, M. (2021). Los desastres naturales en El Salvador, una descripción cronológica de sus impactos, 1900-2020. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 7(14), 1602-1616. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v7i14.12585>
- MARN. (2010).
- Maskrey, A. (1993). *Los desastres no son naturales*. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina).
- . (1998). *Navegando entre brumas: La aplicación de los sistemas de información geográfica al análisis de riesgo en América Latina*. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.
- Ministerio de Economía (Mineco) y Dirección General de Estadísticas y Censos (Diges-tyc) de El Salvador. (1995). *Censos Nacionales: V de Población y IV de Vivienda 1992*. Mineco.
- Ojeda, D. E. (2016). *Construcción intergeneracional de la percepción del riesgo volcánico* [Tesis de Doctorado en Psicología]. Centro de Investigación Transdisciplinaria en Psicología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México.
- Quesada Román, A., y Campos Durán, D. (2023). Natural disaster risk inequalities in Central America. *Papers in Applied Geography*, 9(1), 36-48. <https://doi.org/10.1080/23754931.2022.2081814>
- Quesada Román, A., Torres Bernhard, L., Ruiz Álvarez, M. A., Rodríguez Maradiaga, M., Velázquez Espinoza, G., Espinosa Vega, C., ... y Rodríguez Bolaños, H. (2021). Geo-diversity, geoconservation, and geotourism in Central America. *Land*, 11(1), 48.
- Ramón Valencia, J. A., Palacios González, J. R., Santos Granados, G. R., y Ramón Valencia, J. D. (2019). Early warning system on extreme weather events for disaster risk reduction. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (92), 96-104. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20190628>

- Rivera Berrío, J. G., (2009). Un modelo de gobernanza para gestionar para el riesgo. *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*, 1(1), 95-112. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29023348009>
- Rodríguez, C. E., Torres, A. T., y León, E. A. (2006). *Landslide hazard in El Salvador* [Ponencia]. Geohazards, International Centre for Geohazards, Oslo, Noruega. <https://dc.engconfintl.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1026&context=geohazards>
- Siebert, L., y Simkin, T. (2002). *Volcanoes of the world: An illustrated catalogue of Holocene volcanoes and their eruptions* (Global Volcanism Program Digital Information Series). Smithsonian Institution.
- Smith, D. M. (2012). *Stability analysis and hazard assessment of the northern slopes of San Vicente volcano in central El Salvador* [Tesis de Maestría]. Department of Geological and Mining Engineering and Sciences, Michigan Technological University. <https://digitalcommons.mtu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1470&context=etds>
- Vela, E. (2009). Editorial del dossier "Los Volcanes de México". *Revista de Arqueología Mexicana*, (95), 30-31.

VII. Escenarios de riesgo de desastres en la escala local: Ciudad de Maipú, Mendoza, Argentina

SILVIA GRACIELA QUIROGA*

LUCÍA PRAVATTA**

GUSTAVO MÉNDEZ***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.218.07>

Resumen

El artículo reflexiona sobre la construcción de escenarios de riesgo en diferentes escalas, tomando como base los resultados del proyecto de investigación titulado Conocimiento del Riesgo de Desastres en la Provincia de Mendoza, Argentina (SECTYP, UNCuyo, 2018). Se toma como punto de partida un diagnóstico sobre las condiciones de riesgo por departamentos en la Provincia de Mendoza y luego se profundiza en nivel local, tomando como área piloto la Ciudad de Maipú, capital del departamento homónimo, ubicado en el sector centro norte de la mencionada provincia. El objetivo principal es construir diferentes escenarios de riesgo en esta ciudad a partir de la interrelación del área de impacto de amenazas naturales y antrópicas, los niveles de vulnerabilidad de la población y la exposición de las ins-

* Doctora en Geografía. Profesora de la carrera de Geografía y coordinadora del Centro de Estrategias Territoriales para el Mercosur (CETEM) de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional de Cuyo (UNCuyo), Argentina. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7830-7167>; Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=58072315300>

** Geógrafa especializada en SIG por la Universidad Nacional de Cuyo y maestranda en Estudios Urbanos por la Universidad General Sarmiento. Investigadora del Centro de Estrategias Territoriales para el Mercosur (CETEM) de la Universidad Nacional de Cuyo (UNCuyo), Argentina; coordinadora de Planeamiento y Presupuesto del Instituto Geográfico Nacional, Argentina.

*** Geógrafo. Investigador del Centro de Estrategias Territoriales para el Mercosur (CETEM) de la Universidad Nacional de Cuyo (UNCuyo), Argentina; integrante del área de Cartografía de la Dirección de Estadísticas e Investigaciones Económicas (DEIE) de la provincia de Mendoza, Argentina.

talaciones vitales a las primeras. Se considera que el conocimiento de las condiciones de riesgo en el territorio puede ser el punto de partida para la generación de políticas públicas sostenibles, en especial a nivel local, siempre y cuando éstas se inserten adecuadamente en el marco normativo e institucional vigente. Como resultado, se verifica que los escenarios de riesgo obtenidos a nivel local permiten visualizar con nitidez cuáles de los sectores de la población están más comprometidos en su seguridad e identificar los actores clave para realizar una gestión del riesgo eficiente.

Palabras clave: *riesgo, escenarios, políticas, actores, sostenibilidad.*

Introducción

El presente artículo tiene como objetivo mostrar los resultados del proyecto de investigación titulado “Conocimiento del riesgo de desastres en la provincia de Mendoza, Argentina”,¹ en el cual se analizaron diferentes escenarios de riesgo en la Provincia de Mendoza con la intención de generar propuestas para su reducción de forma integral.

En este caso, se presentan los resultados de la evaluación realizada a escala local, tomando como caso de estudio la ciudad de Maipú, capital del departamento homónimo perteneciente al área metropolitana de la provincia de Mendoza.

En primer lugar, se analizan los principales aspectos del marco metodológico que han sido tomados como fundamento. En segundo lugar, se presenta el área de estudio y los resultados obtenidos respecto a la construcción de escenarios de riesgo según diferentes tipos de amenazas. Por último, se presentan propuestas de reducción del riesgo de desastres (RRD) a escala local que derivan del estudio realizado.

La hipótesis planteada sostiene que la escala local ofrece ventajas a la hora de analizar las amenazas, la vulnerabilidad y las instalaciones vitales

¹ Secretaría de Ciencia, Técnica y Posgrado, UNCuyo. Proyecto de investigación bianual Tipo 1. Elaborado en el Centro de Estrategias Territoriales para el Mercosur (CETEM), durante el periodo 2016-2018. Directora: Dra. María Alejandrina Videla; Subdirectora: Dra. Silvia Graciela Quiroga. Equipo de trabajo: Bustamante, Mercedes; Pravatta, Lucía; Méndez, Gustavo.

expuestas, permitiendo identificar escenarios de riesgo hipotéticos que son la base para formular medidas para reducirlo.

Los objetivos del trabajo son los siguientes:

- Analizar los componentes del riesgo de desastres en la Ciudad de Maipú.
- Explorar diferentes escenarios de riesgo derivados del impacto de amenazas naturales, siconaturales y antrópicas.
- Reflexionar sobre la RRD como estrategia basada en las condiciones territoriales, la coordinación de los actores institucionales y el marco normativo.

La investigación realizada se encuadra en el enfoque de reducción del riesgo de desastres, según lo propuesto por el marco de acción de Sendai 2015-2030 de Naciones Unidas (UNDRR, 2015) que establece las siguientes prioridades de acción:

- *Prioridad 1:* Comprender el riesgo de desastres.
- *Prioridad 2:* Fortalecer la gobernanza del riesgo de desastres para gestionar dicho riesgo.
- *Prioridad 3:* Invertir en la reducción del riesgo de desastres para la resiliencia.
- *Prioridad 4:* Aumentar la preparación para casos de desastre a fin de dar una respuesta eficaz y para “reconstruir mejor” en los ámbitos de la recuperación, la rehabilitación y la reconstrucción.

El marco teórico utilizado en la presente investigación se relaciona con la teoría del riesgo de desastres propuesta por Naciones Unidas (EIRD, 2004).

En cuanto al concepto de “riesgo”, este se ha definido como:

la probabilidad de que se presente un nivel de consecuencias económicas y sociales adversas en un sitio particular y durante un tiempo definido que exceden niveles aceptables, a tal grado que la sociedad o un componente de la sociedad afectada encuentre severamente interrumpido su funcionamiento

rutinario y no pueda recuperarse de forma autónoma, requiriendo de ayuda y asistencia externa. (Lavell, 2003)

De esta forma:

el riesgo es una condición latente que, al no ser modificada o mitigada a través de la intervención humana o por medio de un cambio en las condiciones del entorno físico-ambiental, anuncia un determinado nivel de impacto social y económico hacia el futuro, cuando un evento físico detona o actualiza el riesgo existente. Este riesgo se expresa y se concreta con la existencia de población humana, producción e infraestructura expuesta al posible impacto de los diversos tipos de eventos físicos posibles, y que además se encuentra en condiciones de “vulnerabilidad”, es decir, en una condición que predispone a la sociedad y sus medios de vida a sufrir daños y pérdidas. El nivel del riesgo estará condicionado por la intensidad o magnitud posible de los eventos físicos, y el grado o nivel de la exposición y de la vulnerabilidad. (Narváez *et al.*, 2009)

Por lo tanto, el riesgo es el resultado de la existencia de amenazas de diferente origen que afectan a poblaciones e instalaciones vitales vulnerables, que se encuentran expuestas al impacto de dichas amenazas, en un territorio determinado.

En cuanto a las amenazas, son consideradas como los factores “externos” del riesgo para los efectos del presente trabajo se han clasificado en tres categorías principales, según su origen.

- *Amenazas naturales*: Peligros latentes asociados con la manifestación de un fenómeno de origen natural cuya génesis se encuentra totalmente en los procesos naturales de transformación y modificación de la Tierra y el ambiente. Suelen clasificarse de acuerdo con sus orígenes terrestres o atmosféricos, permitiendo identificar, entre otras, amenazas geológicas, geomorfológicas, climatológicas, hidrometeorológicas, oceánicas y bióticas. (Cepredenac, 2003)
- *Amenazas socionaturales*: Fenómenos típicos de las amenazas naturales pero que se producen o se acentúan por algún tipo de intervención humana sobre la naturaleza, y se confunden a veces con eventos

propriadamente naturales. Aquí entrarían categorías como las sequías, la deforestación y cualquier uso inadecuado de los recursos naturales (Lavell, 1996).

- *Amenazas antrópicas*: Fenómenos o procesos peligrosos de origen humano. Se han clasificado en dos categorías. Por un lado, las amenazas antrópico-contaminantes relacionadas a procesos contaminantes en todas sus manifestaciones y, por otro, amenazas antrópico-tecnológicas, asociadas a procesos productivos, industriales y energéticos concentrados en los centros urbanos. Su peligro se presenta frente a la posibilidad de fallas en estos procesos por negligencia, la falta de controles adecuados y causas imprevistas. Estas amenazas suelen comportarse como desencadenante de otras, generando escenarios muy complejos.

Asimismo, la vulnerabilidad ha sido definida como el componente “interno” del riesgo y hace referencia a las características de las poblaciones, las instalaciones, los procesos productivos que, por su grado de sensibilidad, exposición, capacidad de respuesta y adaptación, pueden sufrir un determinado nivel de daño frente al impacto de una o varias amenazas.

Wilches-Chaux (1989) ha tipificado la vulnerabilidad según diferentes enfoques (natural, física, económica, social, política, técnica, ideológica, educativa, cultural, ecológica, institucional, entre otras).

Por último, la exposición hace referencia a la condición territorial por la cual las poblaciones, sus bienes e instalaciones, se encuentran en el área de influencia o impacto de determinadas amenazas en un momento determinado. En este caso, las denominadas instalaciones vitales constituyen un conjunto de infraestructuras, equipamientos y espacios adaptados que permiten brindar servicios clave a la población. Si las instalaciones vitales son dañadas o no funcionan la población sufre las consecuencias en la vida cotidiana y en forma agravada durante crisis o desastres.

Escenarios de riesgo

Dado que las condiciones de riesgo son el resultado de un determinado estilo de desarrollo de la sociedad, se manifiesta con una impronta particular

en el territorio (entendido éste como un sistema complejo donde interactúan componentes naturales, sociales, económicos, jurídicos, administrativos, entre otros). Por lo tanto, toda acción enfocada a la prevención o reducción de riesgos debe tener en cuenta la complejidad del territorio, a fin de propiciar medidas integrales que permitan llegar a resultados más eficientes. La materialización de los escenarios de riesgo en el territorio es objeto de estudio de diversas ciencias naturales y sociales que comprenden al riesgo como “construcción social”.

De esta forma, los escenarios de riesgo son construcciones hipotéticas que muestran los resultados esperados del impacto de una o varias amenazas en el territorio, a partir de las condiciones físicas, poblacionales, económicas y jurídicas. En especial, los daños, pérdidas y perjuicios se evalúan a partir de la identificación de la población vulnerable y de las instalaciones vitales expuestas en el área de impacto esperada.

Los escenarios de riesgo pueden plantearse en forma cualitativa o cuantitativa, y deben estar contextualizados en un marco temporal y espacial. Un aspecto de importancia crucial es el reconocimiento del mapa de actores clave intervinientes en las acciones de prevención y mitigación necesarias para no llegar al escenario de desastre. Estas acciones están relacionadas con el ordenamiento jurídico, territorial y de gestión interinstitucional e incluyen a la sociedad en su conjunto.

Gestión del riesgo de desastres

Una vez realizado el análisis de las condiciones de riesgo en el territorio, surge la necesidad de implementar diversas acciones y políticas públicas en el marco de la estrategia denominada gestión de riesgo de desastres (GRD). La GDR es definida como un proceso social complejo a través del cual se pretende lograr una reducción de los niveles de riesgo existentes en la sociedad y fomentar procesos de construcción de nuevas oportunidades de producción y asentamiento en el territorio en condiciones de seguridad y sostenibilidad aceptables. En consecuencia, significa un proceso de control sobre la construcción o persistencia de amenazas y vulnerabilidad (Lavell, 1998).

En términos generales, la GRD abarca diferentes áreas de trabajo, las cuales interactúan permanentemente durante el proceso de desarrollo. Por ello para desarrollar un proceso de GRD se requiere de un planeamiento estratégico del desarrollo que tenga en cuenta el análisis de riesgos, la reducción de riesgos, el manejo de desastres, la recuperación ante eventos ya ocurridos y la transferencia del riesgo (Sarmiento, 2007).

Derivado de lo anterior, se reconocen tres tipos de GRD: preventiva, prospectiva y compensatoria. La primera surge como una respuesta que busca disminuir los niveles de riesgo construidos históricamente en una sociedad; en tanto que la segunda es anticipatoria y tiene como objetivo prevenir/evitar condiciones de riesgo que surjan por procesos de desarrollo e inversión, tomando las medidas para garantizar que nuevas condiciones de riesgo no surjan con las iniciativas de construcción, producción, circulación, comercialización, etc. Por último, la tercera centra su atención en la transferencia de las pérdidas esperadas mediante sistemas de seguros y reaseguros.

De esta forma, la GRD es un proceso abierto, participativo, involucrado con todos los sectores de una sociedad y focalizado en el territorio; donde la escala local aparece como la más apropiada para llevar a cabo las acciones en este sentido.

Metodología

En la presente investigación se ha tomado a la ciudad de Maipú como el ámbito geográfico en el cual se exploran diferentes escenarios de riesgo derivados del impacto de amenazas naturales, socionaturales y antrópicas en el territorio.

Los resultados permiten identificar tanto a las poblaciones potencialmente afectadas, como las instalaciones vitales que pueden sufrir daños. Con esta base, es posible identificar actores clave para acciones de prevención, mitigación, respuesta, rehabilitación, reconstrucción y transferencia del riesgo, en caso de ser necesario.

Con los fines de elaborar escenarios de riesgo derivados de amenazas específicas, se procedió en primer lugar al análisis de las principales ame-

nazas naturales, socionaturales y antrópicas presentes en el área de estudio. Para cada una de ellas se consideraron sus características principales, localización, frecuencia e intensidad de su manifestación. Para ello, se realizó una búsqueda bibliográfica, trabajo de campo, procesamiento de datos, generación de información y cartografía temática sobre riesgos mediante la herramienta GIS y consultas a especialistas. Las amenazas consideradas han sido las siguientes:

- a) *Naturales*: sismos, heladas, granizo, viento zonda
- b) *Socionaturales*: incendios e inundaciones
- c) *Antrópico-tecnológicas*: radiación electromagnética, depósitos de combustibles
- d) *Antrópico-contaminantes*: actividades industriales, tránsito de cargas peligrosas, criaderos de animales, depósito de cereales, uso de plaguicidas.

En el caso de la vulnerabilidad, se realizó un estudio detallado que combinó un estudio de fuentes indirectas con relevamientos en el terreno, entrevistas a actores clave y encuestas en diferentes barrios de la ciudad de Maipú. Con el fin de obtener un índice de vulnerabilidad, se analizaron en el terreno distintos aspectos, a partir de fuentes oficiales como el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas (DEIE e INDEC, 2010), se obtuvieron las condiciones socioeconómicas de la población, el tipo de construcciones de las viviendas, el nivel educativo de la población y el acceso a servicios básicos, mientras que a partir de relevamientos en campo e información de la IDE (Infraestructura de Datos Espaciales) de la provincia de Mendoza y datos municipales, se detectaron niveles de calidad del entorno ambiental, servicios de transporte, educativos y de salud, entre otros. Los aspectos antes mencionados han sido tomados como punto de partida para elaborar indicadores de vulnerabilidad en donde la unidad de análisis es la manzana, información que ha sido complementada con análisis de material estadístico y censal oficial, consultas mediante entrevistas desestructuradas y abiertas a expertos pertenecientes principalmente al espacio de planificación urbana municipal y análisis de imágenes satelitales de Google Earth 2016.

Con base en base a la información obtenida se ha elaborado el mapa de vulnerabilidad de la población en el Distrito Ciudad, tomando como unidad de análisis la manzana que compone cada uno de los barrios, donde han sido tenidas en cuenta variables como NBI, disponibilidad de servicios básicos, estado de mantenimiento y material de las viviendas, el estado de la red vial, entre otras.

El factor exposición se evaluó tomando como parámetro la distancia de los elementos analizados, sea la población como las instalaciones vitales, en relación con el área de impacto de las amenazas consideradas. En la ciudad de Maipú existen algunas zonas que concentran instalaciones vitales:

- a) *Sector próximo a la plaza departamental*: Es un espacio central de la ciudad que reúne instituciones, infraestructuras y equipamientos estratégicos.
- b) *Sector circundante a la intersección de calles Emilio Civit y A. Maza*: Caracterizado por su excelente accesibilidad y el alto dinamismo del sector privado.
- c) *Sector cultural y recreativo del noroeste de la ciudad*, conformado por el Parque Metropolitano y su entorno.

Se elaboraron diferentes escenarios de riesgo, tomando como punto de partida para cada uno de ellos, las amenazas naturales, socionaturales y antrópicas presentes en la ciudad de Maipú, analizando el impacto de las mismas en la población y las instalaciones vitales, reconociendo en estas últimas su nivel de vulnerabilidad inicial. Como resultado de estas correlaciones, aparecen para la ciudad de Maipú diversos escenarios de riesgo, cada uno de los cuales requiere diferentes acciones en el marco del proceso de gestión de riesgo a escala local. Los escenarios de riesgo han sido expresados mediante una cartografía temática, la cual se complementa con la identificación de actores clave relacionados a ellos.

Resultados

La ciudad de Maipú en el contexto provincial y metropolitano

La provincia de Mendoza, ubicada en el sector centro oeste de la República Argentina, se enmarca en un medio natural heterogéneo, caracterizado por relieves variados, un clima árido, con importante déficit hídrico y de suelos, pérdida de biodiversidad y desertificación. Las condiciones naturales tan restrictivas generan que la distribución de la población, centros urbanos y de las actividades productivas muestren un agudo proceso de concentración en los oasis irrigados.

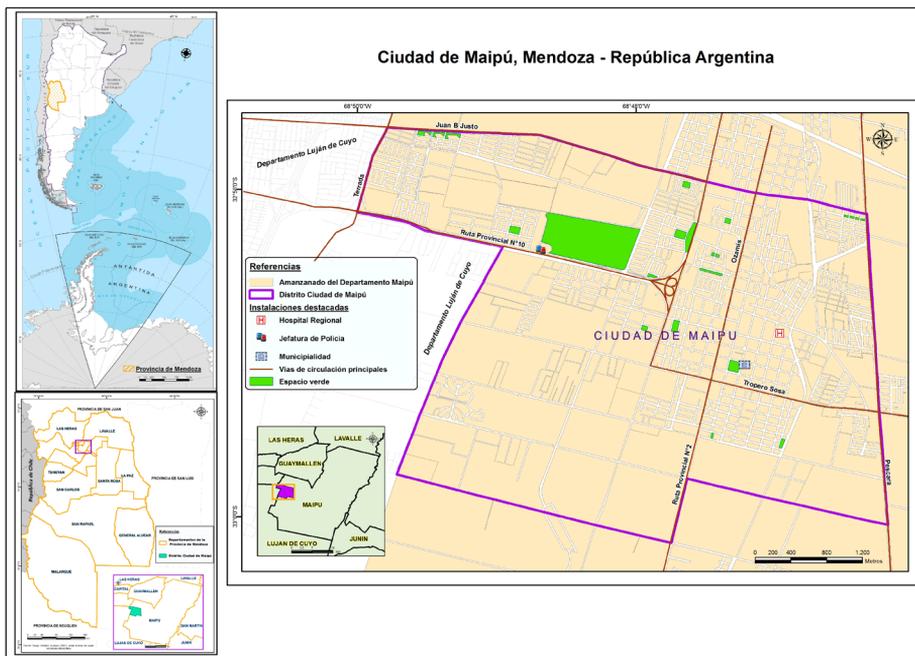
Al respecto, Rubio *et al.* (2017) afirman que la población se concentra en un territorio muy frágil donde la competencia por el uso del agua surge como uno de los principales conflictos ambientales en la interacción entre oasis y tierras no irrigadas: las zonas desérticas deprimidas reciben cada vez menos aportes de agua superficial, ya que los caudales de los ríos se utilizan íntegramente para el riego de la superficie cultivada y para el consumo en asentamientos urbanos. Los oasis artificiales representan el 4.5% de la superficie de la provincia y albergan al 98.5% de la población; se desarrollan como “islas” en las vastas tierras secas sin riego, que a su vez representan el 96.5% del territorio y donde se concentra básicamente el 1.5% de la población.

El departamento de Maipú, junto con la ciudad de Mendoza, Las Heras, Llavallée, Guaymallén, Godoy Cruz y Luján de Cuyo, forman el Área Metropolitana de Mendoza (AMM) y, a su vez, Maipú es el tercer departamento más poblado del AMM, luego de los departamentos Guaymallén y Las Heras. Este departamento cuenta con 213,797 habitantes, registrando un crecimiento aproximado del 24% respecto a la población registrada en 2010 (172 861 habitantes).

La superficie departamental es de 617 km² y su altitud es de 715 msnm, mientras que sus coordenadas geográficas son 32° 58' 00" S de latitud y 68° 46' 59" O de longitud.

La capital departamental es la ciudad de Maipú (véase figura 1), ubicada en el sector centro oeste del departamento homónimo. Cuenta con una superficie de 19.4 km² y una densidad poblacional de 2 117 hab/km².

Figura 1. Ciudad de Maipú, departamento de Maipú, provincia de Mendoza, Argentina



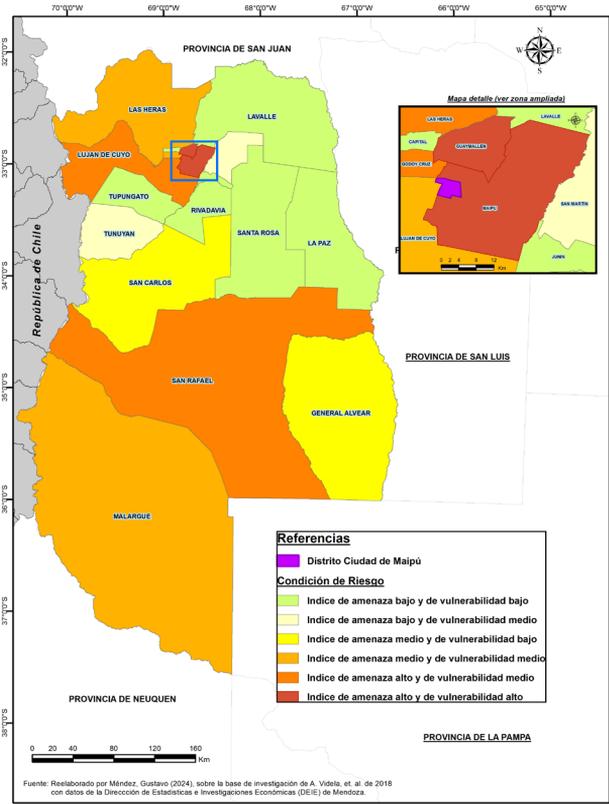
Fuente: Elaboración propia (2023) con base en capas vectoriales publicadas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) de la República Argentina y por el Sistema de Información Territorial y Ambiental (SIAT) de la provincia de Mendoza, Argentina.

Índice de riesgo del departamento de Maipú

Según investigaciones realizadas a nivel de la provincia de Mendoza, en el proyecto de investigación citado precedentemente, el departamento de Maipú se posiciona en relación a otros departamentos mendocinos, en un nivel medio alto (véase figura 2), derivado de su exposición a amenazas sísmicas y de contaminación industrial (que revisten la mayor gravedad). Esta situación se combina con una alta vulnerabilidad de su población, derivada de factores como el crecimiento poblacional, las condiciones de hacinamiento

en las viviendas, las condiciones de precariedad de las mismas y los porcentajes de población con NBI.

Figura 2. Condiciones de riesgo por departamento, provincia de Mendoza



Fuente: Elaborado por G. Méndez con base en Videla *et al.* (2018).

Escenarios de riesgo obtenidos en la ciudad de Maipú

La investigación realizada ha permitido construir diferentes escenarios hipotéticos, derivados del impacto de amenazas naturales, socionaturales y antrópicas, cuyo impacto puede materializarse en sectores cuya población e instalaciones vitales expuestas muestran diferentes grados de vulnerabilidad.

Escenario de riesgo derivado de amenazas naturales

Las amenazas naturales consideradas han sido las sísmicas (fallas y epicentros) e hidrometeorológicas (heladas, granizo y viento tipo zonda, según propiedades agrícolas implicadas). El área de impacto de estas amenazas se contrastó posteriormente con las diferentes zonas de vulnerabilidad de la población y con la ubicación de las instalaciones vitales (véase tabla 1 y figura 3).

Tabla 1. *Exposición de instalaciones vitales en la ciudad de Maipú*

Principales instalaciones vitales	Nivel de exposición
Rutas (No. 10 y No. 2)	Poseen un alto nivel de exposición respecto a las 4 amenazas
Estación de bomberos de Maipú	Posee una baja exposición ya que solo se encuentra bajo la influencia del fenómeno zonda. Pero es de gran importancia para la población
Escuelas	Su exposición varía según las zonas en la que se localice, debido a que están dispersas por casi todo el distrito
Hospital regional y clínicas	Las clínicas presentan una alta exposición, no así el hospital regional, debido a que este sólo estaría afectado por el fenómeno del viento zonda

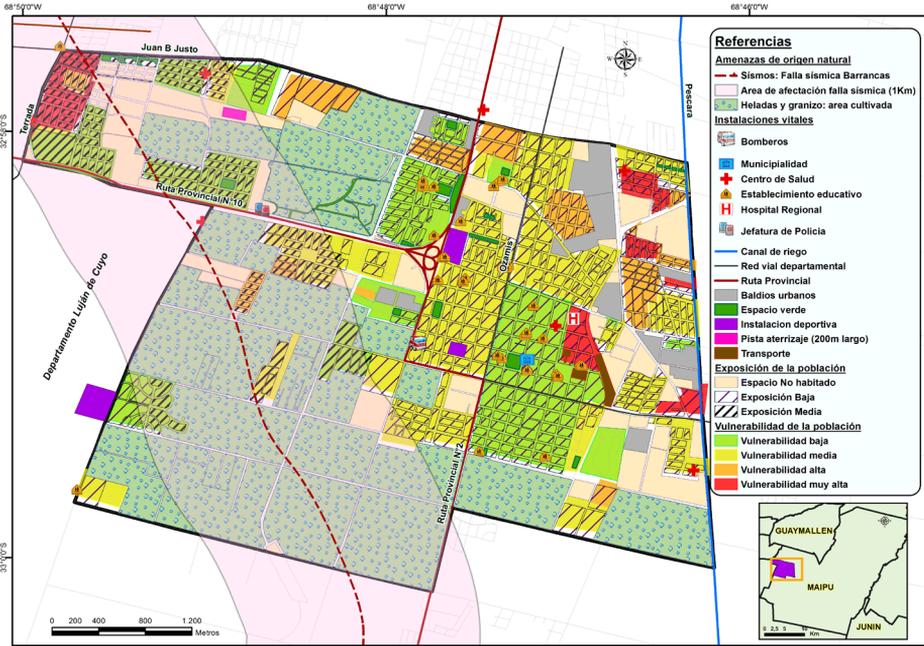
Fuente: Videla *et al.* (2018).

Como síntesis de los componentes del riesgo analizados, vulnerabilidad de la población y de las instalaciones vitales y su exposición ante las amenazas naturales, surge el escenario de riesgos correspondiente. La cartografía obtenida permite observar a la población y los elementos expuestos.

A partir de la cartografía obtenida en la figura 3, se desprenden las siguientes observaciones:

- a) Respecto a la vulnerabilidad, este componente del riesgo muestra que las zonas urbanas presentan en general una situación positiva al predominar la vulnerabilidad baja y media, a excepción de los sectores carenciados ubicados en los extremos noroeste y el límite este del distrito Ciudad.
- b) Respecto a las amenazas naturales, la ciudad de Maipú está expuesta a eventos sísmicos e hidrometeorológicos (tales como heladas, tormentas de granizo, viento zonda), especialmente. El impacto de estos últimos tiende a agravar la situación de vulnerabilidad económica de todos aquellos que dependen de esta actividad productiva de

Figura 3. Escenario de riesgo derivado de amenazas naturales (sísmicas e hidroclimáticas) en Maipú



Fuente: Elaboración propia (2023) con base en capas vectoriales generadas y/o adaptadas por el equipo de trabajo del proyecto y de información publicada por el Sistema de Información Territorial y Ambiental (SIAT) de la provincia de Mendoza, Argentina.

forma directa o indirecta. Por otra parte, el viento zonda (tipo Föhn) afecta seriamente tanto la actividad agrícola como a la salud y seguridad de la población urbana en todo el distrito Ciudad, especialmente durante los meses de mayo y agosto con una orientación del viento oeste-este.

- c) En cuanto a la amenaza sísmica, es una protagonista en este escenario, ya que, si bien se delimita 1 km a cada lado de la falla tectónica para graduar el nivel de exposición, la posibilidad de un movimiento sísmico de amplia magnitud aumenta los niveles de incertidumbre de las áreas afectadas y abre la posibilidad de evaluar la afectación de las instalaciones vitales a otras escalas.

En síntesis, la concentración de instalaciones vitales en zonas de baja vulnerabilidad y exposición a las amenazas naturales analizadas reduce los niveles de riesgo en caso de acontecimientos adversos de origen natural, lo cual no debe subestimarse, dado que todo el territorio analizado se encuentra expuesto a las mismas.

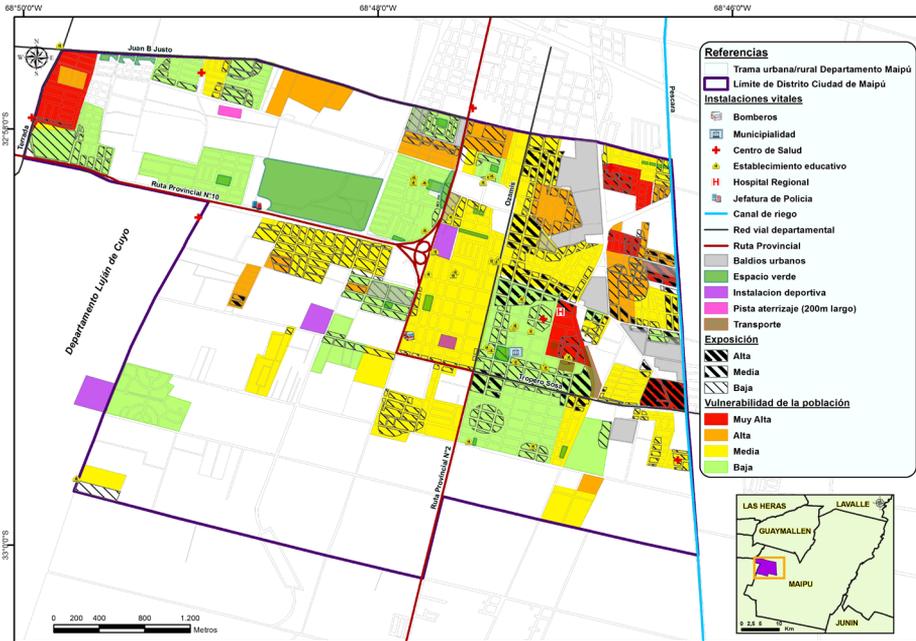
Escenario de riesgo derivado de amenazas socionaturales

Las amenazas analizadas han sido las inundaciones (causadas por desborde de canales y por manejo y rotura del Dique Potrerillos, presa que se encuentra aguas arriba del área de estudio) y la ocurrencia de incendios urbanos. De igual forma que en el caso anterior, el área de impacto de las amenazas socio-naturales fue contrastado con la localización de la población y de las instalaciones vitales expuestas, según sus respectivos niveles de vulnerabilidad (véase figura 4).

Durante el análisis de las amenazas socionaturales y la cartografía obtenida en la figura 4, se infieren las siguientes observaciones:

- a) Respecto a los incendios de interfaz, constituyen un peligro latente en la ciudad de Maipú, asociado a los espacios vacíos o “baldíos” en los cuales se encuentra vegetación xerófila y residuos propensos a generar incendios. A estos espacios se les combinó en un análisis detallado de sus alrededores y la dirección del viento, lo cual evidenció áreas de mayor peligro por localizarse colindantes a establecimientos con materiales explosivos y/o tóxicos.
- b) Respecto a las inundaciones producidas por fuertes lluvias, se observa que el área más comprometida se ubica en las inmediaciones de la calle Tropero Sosa, junto al Canal Pescara, situación que tiende a agravarse por la falta de mantenimiento de la higiene del canal, presencia de residuos urbanos y contaminación de zonas industriales que atraviesa aguas arriba. Asimismo, la hipótesis de inundaciones ocasionadas por la rotura de la presa Potrerillos con caudales superiores a $2\,500\text{ m}^3/\text{s}$, no afectaría notablemente al área de estudio por la dis-

Figura 4. Escenario de riesgo derivado de amenazas socio-naturales en Maipú



Fuente: Elaboración propia (2023) con base en capas vectoriales generadas y/o adaptadas por el equipo de trabajo del proyecto y de cartografía base publicada por la Dirección General de Catastro de la provincia de Mendoza, Argentina.

tancia a la que se encuentra del cauce del Río Mendoza. Sin embargo, no debe descartarse que la crecida de caudales se desplace también por toda la red de riego existente, en sentido sur-norte. En caso de producirse una ruptura en el dique Potrerillos, las pérdidas materiales, de vidas y de instalaciones vitales serían máximas, llegando a conformar un escenario catastrófico.

En síntesis, la ciudad de Maipú es un territorio de gran complejidad, marcado por diversas amenazas socionaturales, cuyas causas últimas requieren de una profundización en las investigaciones a fin de detectar los factores humanos intervinientes.

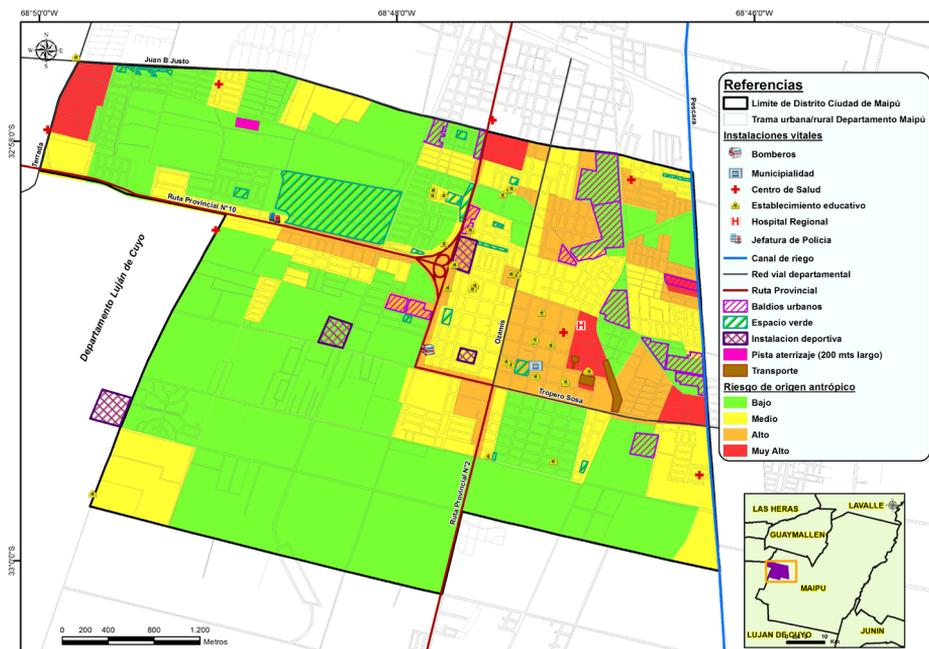
El escenario territorial obtenido muestra niveles de riesgo de nivel Medio y Bajo, en gran medida debido a los niveles de vulnerabilidad presentes

en la zona. No obstante, es importante destacar que se ha identificado una condición de exposición particular frente a la amenaza de inundación, dado que las poblaciones más vulnerables del sector oriental del distrito se ubican en el área de impacto directo.

Escenario de riesgo derivado de amenazas antrópicas

Como punto de partida, se analizaron amenazas tecnológicas (radiación electromagnética derivada de antenas de telefonía móvil, de sistemas de telecomunicación, de líneas de alta tensión y subestaciones eléctricas, estaciones de expendio y depósitos de combustible) y amenazas contaminantes (actividades industriales, tránsito de cargas peligrosas, criaderos de animales, depósitos de cereales y uso de plaguicidas).

Figura 5. Escenario de riesgo derivado de amenazas antrópicas



Fuente: Elaboración propia (2023) con base en capas vectoriales generadas y/o adaptadas por el equipo de trabajo del proyecto y de cartografía base publicada por la Dirección General de Catastro de la provincia de Mendoza, Argentina.

Se procedió a correlacionar las amenazas existentes en el área de estudio, la vulnerabilidad de la población y la exposición de las instalaciones vitales en el territorio. Como resultado se obtuvo un mapa que muestra cuatro niveles de riesgo en la ciudad de Maipú (véase figura 5).

A partir de la cartografía obtenida de la vulnerabilidad (figura 5) y del análisis de las amenazas antrópicas, se desprenden las siguientes observaciones:

- a) Respecto a las amenazas por radiación electromagnética relacionada a las antenas de telefonía, la ciudad de Maipú cuenta con un conjunto de antenas que proveen cobertura de servicio a distintos sectores, destacándose el núcleo urbano del departamento por su señal más intensa. Por otra parte, las amenazas de radiación derivadas de las líneas de alta tensión no son relevantes, dado que su tendido no atraviesa el área de estudio.
- b) Respecto a las estaciones de expendio de combustible, fueron consideradas como amenazas en el sentido de que pueden ocasionar accidentes, explosiones, incendios u otras contingencias. Las mismas se ubican en las zonas urbanas con media y alta densidad de población y su incidencia en la ocurrencia de eventos adversos es baja, dado que estos establecimientos funcionan según los requerimientos de la normativa de seguridad vigente.
- c) En lo referente a las amenazas contaminantes, se analizaron la actividad industrial y la actividad agrícola en cuanto al uso de agroquímicos.
- d) Respecto a la actividad industrial, en el caso de la ciudad de Maipú, es notable la presencia de bodegas en toda la trama urbana. Esta actividad suele estar asociada al vertido de efluentes contaminantes a la red de riego, presencia de ruidos y olores molestos y la generación de residuos sólidos, entre otros. En todos los casos se trata de amenazas contaminantes que perjudican a la población circundante, según la influencia de otros factores de localización, tales como las pendientes, la red de riego, la dirección de los vientos, la altura de las napas freáticas, entre otros.
- e) Respecto a la contaminación por agroquímicos, se observa el constante retroceso de las tierras cultivadas en el sector sur del área de

estudio, donde se presume el uso de algunos agroquímicos para desmalezar o eliminar plagas de los cultivos, a pesar de que no se cuenta con datos específicos sobre el tipo de productos y las cantidades utilizadas.

En síntesis, la ciudad de Maipú, tal como otras urbes de la provincia de Mendoza, muestra una tendencia a la concentración de las amenazas contaminantes, las cuales se localizan en las zonas más densamente pobladas, aunque el patrón de exposición a las mismas varía según el tipo de amenaza analizada. Estas amenazas, por la gran variedad de causas y consecuencias relacionadas a ellas, requieren de investigaciones detalladas y mediciones específicas para dimensionar su impacto en el territorio.

Conclusiones

Con este trabajo se cumple con el primer objetivo de analizar los componentes del riesgo de desastres al evidenciar que la ciudad de Maipú se encuentra expuesta a múltiples amenazas de origen natural, antrópico y socioambiental. Estas amenazas varían en su magnitud y alcance, generando diferentes niveles de exposición en diversas áreas poblacionales.

Por su parte, la vulnerabilidad de la población no es uniforme en los diferentes sectores del área de estudio, dependiendo de los criterios que se utilicen para evaluarla.

En términos generales, prevalece un nivel de riesgo bajo en la ciudad de Maipú. Sin embargo, los sectores con riesgo medio adquieren mayor relevancia a medida que la concentración de la población aumenta en el sector este-noreste del distrito. Es importante señalar que las áreas con riesgo muy alto son de extensión reducida.

Este análisis aporta a la prioridad 1 del Marco de Acción de Sendai 2015-2030 de Naciones Unidas en la identificación de riesgos para la toma de decisiones informadas y efectivas.

Un detalle importante es señalar que las zonas limítrofes con otros distritos o departamentos requieren abordar la GDR en forma coordinada con las respectivas autoridades de aplicación.

En cuanto a la hipótesis planteada, se verifica que indiscutiblemente, el enfoque a nivel local es el más adecuado para estudiar el riesgo, ya que brinda una mayor nitidez en la información territorial, permite identificar los actores involucrados en los procesos territoriales y son el punto de partida para la generación de propuestas, acciones, y políticas públicas específicas a cada escenario. En este caso, el estudio de la ciudad de Maipú ha proporcionado una base sólida para profundizar en los aspectos de la GRD identificados a nivel provincial. Los escenarios de riesgo específicos, originados por posibles impactos de las amenazas en la población y los activos expuestos, sirven como punto de partida para la formulación de propuestas, acciones y políticas públicas dirigidas a cada uno de ellos.

Cabe mencionar que los avances logrados en esta investigación no pretenden ser exhaustivos, sino más bien resaltar la importancia de considerar el riesgo en su contexto, en este caso a nivel provincial y, sobre todo, subrayar la necesidad de profundizar a nivel local para identificar de manera precisa qué sectores de la población, actividades económicas e instalaciones vitales específicas pueden verse afectadas, según el impacto de amenazas de diferente origen.

El proceso llevado a cabo ha permitido validar la hipótesis planteada en el segundo objetivo de este trabajo al explorar y evidenciar que el estudio de los escenarios de riesgo puede abordarse de manera gradual, profundizando su alcance en la medida en que se disponga de información detallada a nivel local.

A partir del estudio de caso se generan nuevas preguntas y planteamientos que buscan aproximarse a la eficiente implementación de la Gestión Integral de Riesgo de Desastres. En primer término, en un país federal como la República Argentina se requiere instar a las provincias argentinas a emprender políticas públicas acordes con los principios del Marco de Sendai, por lo que se necesita conocer ¿qué mecanismos de gobernanza son más adecuados para promover en la gestión territorial el análisis de diferentes escenarios de riesgo?

Por otro lado, es sabido que la coordinación institucional frente a temas de gestión territorial es difícil, aún en tiempos ordinarios. Entonces, ¿cómo implementar mecanismos dinámicos y eficientes de coordinación entre instituciones nacionales, provinciales y municipales que tienen jurisdicción

sobre sectores de un mismo territorio departamental en contextos de crisis, emergencias y desastres? De esta forma, se cumple con el tercer objetivo, proponiendo una reflexión y líneas de trabajo estratégicas basadas en las condiciones territoriales, la coordinación de los actores institucionales y el marco normativo.

Frente al riesgo territorial, la población es un actor clave que tiene en sus manos la implementación de acciones de gestión; sin embargo, la comunicación del riesgo es un tema muy difícil de desarrollar. Al respecto surge la inquietud sobre cuáles son los medios, los procedimientos y los responsables adecuados para iniciar los procesos de concientización poblacional frente al riesgo.

Reflexiones

Los escenarios de riesgo obtenidos mediante la aplicación de la metodología empleada tienen la potencialidad de brindar claridad para la realización de propuestas de alto nivel de detalle para cada tipo de amenazas.

El escenario de riesgo basado en amenazas naturales pone en evidencia la necesidad y la importancia de concientizar a la población y autoridades como medida de disminución de la exposición. Además, se pone de manifiesto la necesidad de planificar estrategias institucionales coordinadas especialmente vinculadas al sector salud. Asimismo, el conocimiento de la oferta de equipamientos comunitarios permite plantear, además de las medidas de autoprotección, una serie de acciones relacionadas a la evacuación, en especial de las poblaciones más vulnerables.

En referencia al escenario derivado de las amenazas sicionaturales, su conocimiento permite elaborar iniciativas enfocadas en la colaboración entre instituciones educativas y comunidades locales en programas de prevención puede aumentar la conciencia y preparación necesarias ante incendios e inundaciones. Asimismo, es importante la implementación de sistemas de alerta temprana y la realización de simulacros en instalaciones críticas para mejorar la respuesta ante eventos de inundaciones.

Por último, en la evaluación de impactos en instalaciones vitales por amenazas de origen antrópico surge la necesidad de considerar los riesgos

de amenaza múltiple, principalmente los naturales y se aportan medidas en la planificación de protocolos de emergencia y recuperación para eventos en instalaciones vitales con respuestas coordinadas y rápidas. Además, se tienen en cuenta como acciones estratégicas la implementación de procesos de transferencia del riesgo y la colaboración entre distintos niveles de gobierno y comunidades locales a fin de contribuir a una gestión más efectiva frente a las amenazas analizadas.

Estos escenarios de riesgo se inscriben en un territorio complejo con una organización jurídica estructurada en tres niveles de decisión política.

A nivel nacional, Argentina ha implementado una política pública enfocada en la Gestión Integral del Riesgo y la Protección Civil a través de la Ley Nacional 27287/16, que establece el Sistema Nacional para la Gestión Integral del Riesgo y la Protección Civil (SINAGIR). Este sistema cuenta con una estructura que incluye el Consejo Nacional, el Consejo Federal y la Secretaría Ejecutiva, además del Consejo Nacional para la Reducción del Riesgo y Protección Civil de Ciencia y Técnica (Red GIRCyT). Asimismo, se ha promulgado el Plan Nacional de Reducción de Riesgo de Desastres 2024-2030, que establece estrategias y acciones para enfrentar los riesgos a nivel nacional. El país también cuenta con el Sistema Nacional de Alerta y Monitoreo de Emergencias (SINAME) y el Centro Nacional de Información en Gestión Integral del Riesgo (CENAGIR), así como la herramienta de IG-GIRD (Información Geoespacial para la Gestión Integral del Riesgo de Desastre), desarrollada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Estos avances en la etapa de análisis de gestión de riesgo y atención de emergencias reflejan un compromiso nacional con la seguridad y la protección de la población frente a desastres.

En la provincia de Mendoza, ha sido sancionada la Ley 9037/17 de adhesión de la provincia de Mendoza a la Ley 27287/17. Complementariamente, las Leyes 8051/07 y 8999/2017 proponen el Ordenamiento Territorial de la Provincia de Mendoza, considerando el enfoque de reducción del riesgo de desastres. En efecto, el Plan Provincial de Ordenamiento Territorial propone como uno de los instrumentos de esta política pública a los Planes de Gestión del Riesgo y a los Planes de Ordenamiento Territorial Municipales. Estas bases normativas buscan integrar la gestión del riesgo en la planificación territorial, promoviendo acciones preventivas y de mitigación. Asimismo,

mo, se fomenta la integración de estas políticas en los Planes Municipales de Ordenamiento Territorial (PMOT), fortaleciendo la coordinación y la colaboración entre los distintos niveles de gobierno.

A nivel municipal, como en el caso de Maipú, se observa una incipiente incorporación del tema de la Gestión del Riesgo de Desastres, principalmente a través de los estudios diagnósticos de su Plan Municipal de Ordenamiento Territorial. Este instrumento reconoce amenazas naturales, socio ambientales y antrópicas; así como presenta aspectos clave de la población que pueden ser interpretados como enfoques de la vulnerabilidad, tanto como análisis de algunas instalaciones vitales en el territorio. Sin embargo, no se mencionan estudios referidos a escenarios de riesgo específicos y, por consiguiente, ellos no aparecen en los modelos territoriales planteados. En el caso de las propuestas de intervención territorial se plantea la necesidad de realizar un programa de gestión integral del riesgo, con lo cual se puede lograr un avance significativo en este sentido en los próximos años.

En resumen, los escenarios de riesgo territoriales son un muy buen punto de partida, a nivel hipotético, para generar propuestas integrales que resalten la importancia de una planificación integral y colaborativa en la GRD. En este sentido, es vital contar con marcos normativos actualizados que permitan incorporar a las políticas públicas el enfoque de RRD.

Asimismo, los escenarios permiten, además, trabajar en la concientización de diferentes sectores de la sociedad, adelantar procesos de prevención, respuesta y recuperación frente al impacto de diferentes amenazas.

Por otro lado, la consideración de vulnerabilidad de la población, tanto como la exposición de las instalaciones vitales, son elementos constantes a ser revisados en cada uno de los escenarios de riesgo. Sus lecturas permiten realizar una coordinación entre instituciones, una optimización de los presupuestos públicos y una convocatoria a la participación comunitaria, todos factores con un rol clave en la gestión exitosa del riesgo.

Referencias

CEPREDENAC. (2003). *Glosario de términos y nociones relevantes para la gestión del riesgo*. CEPREDENAC. <http://www.sica.int/cepredenac/glosario.aspx>

- DEIE. (2010). *Sistema estadístico municipal en base a datos del INDEC: Censo Nacional de la Población, Hogares y Viviendas de la República Argentina* (Información procesada con REDATAM+SP).
- Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres en Las Américas (EIRD). (2004). *Terminología: Términos principales relativos a la reducción del riesgo de desastres*. EIRD. <http://www.eird.org/esp/terminologia-esp.htm>
- INDEC. (2010). *Censo Nacional de la Población, Hogares y Viviendas de la República Argentina*.
- Lavell, A. (1996). *Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano: problemas y conceptos*. En M. A. Fernández (Comp.), *Ciudades en riesgo*. LA RED / USAID. https://www.desenredando.org/public/libros/1996/cer/CER_Intro_ene-7-2003.pdf
- . (1998). *Sobre la gestión del riesgo: Apuntes hacia una definición*. http://www.undp.org/content/dam/undp/documents/cpr/disred/espanol/_glr_andino/docs/METODOLOGIA%20DE%20SISTEMATIZACION%20PARA%20DIAGRAMAR/apuntes_hacia_una_definicion_de_la_gestion_de_riesgo_Allan_Lavell.pdf
- Lavell, A., y Mansilla, E. (2003). *Nociones de términos relevantes para la gestión del riesgo: Vocabulario controlado del CRID* [Documento en línea]. Cepredenac. <http://www.sica.int/cepredenac/glosario.aspx>
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR). (2015). *Marco de Sendai para la reducción del riesgo de desastres 2015-2030*. UNDRR. <https://www.preventionweb.net/files/resolutions/N1516720.pdf>
- Narváez, L., Lavell, A. y Pérez Ortega, G. (2009). La gestión del riesgo de desastres: Un enfoque basado en procesos (Proyecto "Apoyo a la prevención de desastres en la comunidad andina" [PREDECAN]). https://www.cac.int/sites/default/files/Comunidad_Andina_Gesti%C3%B3n_del_Riesgo_desastres_un_enfoque_basado_en_procesos_2009.pdf
- Rubio, C., Rubio, M. C., y Abraham, E. M. (2017). Poverty assessment in degraded rural drylands in the Monte Desert, Argentina: An evaluation using GIS and multi-criteria decision analysis. *Social Indicators Research*, 137, 579-603. <https://doi.org/10.1007/s11205-017-1606-4>
- Sarmiento Prieto, J. P. (2007). El desafío de la gestión de riesgos como estrategia de intervención multisectorial y participativa al servicio del desarrollo. En USAID, DCHA y OFDA, *Tiempo para entregar el relevo: Reducción del riesgo de desastre desde la perspectiva de la gestión ambiental, el ordenamiento territorial, finanzas e inversión pública* (pp. 5-20). Editorama. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/pbaaf062.pdf#page=8
- Videla, M. A., Quiroga, S., Pravatta, L., Bustamante, M., y Méndez, G. (2018). *Conocimiento del riesgo de desastres en la provincia de Mendoza, Argentina* (Proyecto bianual 2016-2018). SIIP, Universidad Nacional de Cuyo.

VIII. Enseñar sobre riesgo de desastres: Aprendizajes y desafíos de la docencia universitaria inter- y transdisciplinaria desde Chile

JULIETTE MARIN*

JOSEFINA CARRASCO ATENAS**

KEVIN ALBARRÁN REBAZA***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.218.08>

Resumen

El capítulo investiga los aprendizajes, barreras y desafíos que encuentran los cursos inter- y transdisciplinarios sobre gestión del riesgo de desastres en América Latina y el Caribe. Para ello, el estudio examina tres experiencias de formación sobre riesgo de desastres de la Universidad de Chile dirigidas a profesionales y estudiantes universitarios/os de Chile y de América Latina y el Caribe entre 2015 y 2023. Por medio de un análisis cualitativo de las respuestas a encuestas diseñadas para el estudio, dirigidas a estudiantes y docentes participantes de estas experiencias, se buscó determinar los principales aportes, desafíos e innovaciones de los cursos. El estudio permite corroborar la relevancia y la demanda de propuestas de enseñanza multidisciplinaria enfocadas a la reducción del riesgo de desastres, así como la importancia para las/os participantes de la aplicación de las herramientas pedagógicas a contextos territoriales propios y la promoción de una formación continua en estas áreas. El estudio concluye con la identificación de desafíos relacionados con la necesidad de conocer y mejorar los métodos

* Doctora en Territorio, Espacio y Sociedad por la Universidad de Chile. Directora del Programa Riesgo Sísmico de la Universidad de Chile, Chile. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7356-1026>; Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57216893087>

** Socióloga por la Universidad de Chile. Miembro del Programa Riesgo Sísmico de la Universidad de Chile, Chile. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1107-1680>

*** Geógrafo por la Universidad de Chile. Miembro del Programa Riesgo Sísmico de la Universidad de Chile, Chile. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5765-7714>

inter- y transdisciplinarios en la práctica docente con el fin de superar barreras disciplinarias y fomentar la colaboración entre docentes y estudiantes. En este sentido, el presente estudio ofrece una revisión crítica y reflexiva sobre la formación vinculada al riesgo de desastres, dando pistas para mejorar la práctica educativa en este campo en América Latina y el Caribe, así como globalmente.

Palabras clave: *Conocimiento del riesgo, educación superior, multidisciplinaria, interdisciplinaria, transdisciplinaria, formación continua.*

Introducción: Desafíos globales y locales de la pedagogía relativa al riesgo de desastres

Las características geográficas del territorio chileno lo sitúan en un escenario de alta exposición a múltiples amenazas de origen natural. Por su ubicación en el contexto andino, se deriva una intensa actividad sísmica, volcánica y tsunamigénica, mientras que sus ríos caudalosos y quebradas incrementan el riesgo de inundaciones y remociones en masa. Durante la década del 2010 se hizo evidente la carencia en términos de políticas públicas para la reducción y gestión del riesgo de desastres: el megaterremoto y tsunami del 27 de febrero del 2010, el terremoto de Iquique en 2014, los aluviones de Atacama en 2015, la erupción del volcán Calbuco en 2015, e incendios forestales sin precedentes en los años 2014 y 2017 en el centro-sur del país. Estos evidenciaron la debilidades de las políticas de gestión de riesgo y de preparación ante desastres, además de la gestión reactiva de la institucionalidad chilena en la materia (Romero, 2014; Jara, 2019; Rinaldi y Bergamini, 2020). Entre los desafíos se señalan la forma estandarizada y reactiva que dificulta la prevención, así como la mitigación o respuesta de los niveles subnacionales, locales o comunitarios frente a una emergencia (Cuevas y Flores, 2020). La ausencia de mecanismos de planificación territorial integrada es un factor mayor de producción de riesgo, de problemas de coordinación, de incoherencias en el uso del territorio, de desigualdades socioambientales, de asimetrías de poder del sector empresarial y de falta de claridad en cuanto a las responsabilidades institucionales (Romero, 2014; Camus *et al.*, 2016).

Dentro del Marco de Acción de Hyogo 2005-2015, esta década representó un momento de avances globales en la creación de lineamientos transversales para la reducción del riesgo de desastre y en la constitución de sistemas nacionales para su gestión. En este sentido, el Estado de Chile emprende un cambio institucional materializado, por ejemplo, en la creación de una Plataforma Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres en 2012, el fortalecimiento de instancias regionales y municipales, la creación del Centro Sismológico Nacional, la elaboración de una Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres (2020-2023) y en la creación del Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres en 2021.

Para fomentar una cultura de prevención y reducir los niveles de riesgo y vulnerabilidad, los lineamientos internacionales indican la relevancia de avanzar en el conocimiento y la enseñanza de reducción del riesgo de desastres (Naciones Unidas, 2011). De este modo, el Marco de Sendai para la reducción del riesgo de desastres (2015) insta a la incorporación de los conocimientos sobre riesgo en todos los niveles educativos, académicos y no académicos. En Chile, la Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres 2020-2030 incluye como objetivo la concientización y educación, formal o no, de la reducción del riesgo de desastres en los distintos niveles educativos y con los distintos actores del territorio. Ambos documentos reconocen la importancia de abordar los desastres desde una visión prospectiva y multidimensional para comprender el riesgo a partir de la vulnerabilidad, la capacidad, el grado de exposición, el entorno y la multicausalidad, entre otros elementos. Para reforzar el conocimiento, la consciencia y la reflexión en torno a la prevención ante desastres en las comunidades escolares, en 2017 se crea una Unidad de Reducción del Riesgo de Desastre en el Ministerio de Educación, y se conmemora, desde 2023, el 22 de mayo como Día Nacional de la Memoria y Educación sobre Desastres Socio-Naturales.

En el campo científico chileno, los desastres sicionaturales importantes de la década de 2010 impulsaron un renovado interés en investigaciones que abordan los desastres de manera transversal, desde diferentes dimensiones y visiones inter- y transdisciplinarias, para ahondar en la comprensión del riesgo de manera multiescalar y multidimensional, desarrollando nuevas metodologías (Castro *et al.*, 2017; Aldunce *et al.*, 2017; Cortés *et al.*, 2020; Marin *et al.*, 2021; Insulza *et al.*, 2022). Se crean también centros y grupos

de investigación inter y transdisciplinarios abocados a la producción de conocimiento científico en temáticas vinculadas al riesgo, como el Centro de Investigación para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastres (CIGIDEN), el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2) o el programa de Reducción de Riesgos y Desastres de la Universidad de Chile (CITRID).

En este sentido, la colaboración entre las ciencias cobra relevancia para traspasar los límites disciplinares con el objetivo de robustecer e integrar la evidencia científica mediante tres vías principales: la multidisciplina, la interdisciplina y la transdisciplina. La primera hace referencia a la yuxtaposición de disciplinas donde cada una se centra en partes del problema y aporta desde su área, pero sin transgredir sus límites. Se genera, entonces, un proceso aditivo mas no integrativo. Por su parte, la interdisciplina busca la colaboración de distintas disciplinas científicas para la resolución de un problema por medio de la integración de conceptos, metodologías y prácticas que resulte en un conocimiento científico exclusivo de esa colaboración (Riveros *et al.*, 2020; Morales y Muñoz, 2021). En cambio, la transdisciplina es un concepto con diversas aproximaciones. Por un lado, se entiende como el proceso que busca trascender las disciplinas para generar una síntesis de estas y nuevos marcos de referencia conceptuales; por otro lado, se sitúa como un enfoque de problematización y creación de conocimiento más allá de los actores científicos, mediante la cooperación de distintos sectores de la sociedad (Riveros *et al.*, 2020). Aunque hay un acuerdo general en la pertinencia de estas propuestas, persisten desafíos en su práctica, por ejemplo, en la conciliación de diferentes lenguajes entre disciplinas, la falta de tiempo y el carácter preferentemente disciplinar del sistema universitario y de los sistemas de evaluación científica (Urquiza *et al.*, 2019; Morales y Muñoz, 2021).

Se reconoce así que existen desafíos en las formas de practicar la docencia para dar a las/os estudiantes una capacidad de comprender problemas transversales y complejos en estructuras universitarias aún enfocadas en lo disciplinar (Urquiza *et al.*, 2019). A su vez, se necesita crear herramientas de formación continua para comprender los rápidos avances tecnológicos y nuevos paradigmas, fortalecer la colaboración entre instituciones y países, así como fortalecer los sistemas de gestión de riesgo de desastre (GRD). Existen pocos estudios sobre experiencias docentes inter- o transdisciplinarias

relativas a riesgo de desastres y más generalmente sobre enseñanza universitaria de riesgo que permitan aprender de las iniciativas realizadas en diversos contextos de América Latina y el Caribe (Arteaga Cuyubamba, 2019; Campos *et al.*, 2018). Un caso peruano de la asignatura de “gestión de riesgo de desastres” en la formación profesional de los estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad Nacional San Luis de Gonzaga de Ica concluye que las/os futuras/os profesionales de la educación necesitan una visión holística del mundo que abarque la realidad física, social y de los hechos humanos para la comprensión de sí mismos, así como también se requieren las capacidades para contribuir en la prevención de desastres en sus comunidades (Arteaga Cuyubamba, 2019).

El presente estudio busca, entonces, contribuir al análisis de los avances y desafíos en el diseño e implementación de cursos con enfoques inter- y transdisciplinarios en la educación superior de GRD en América Latina y el Caribe. Para ello, se tomaron como referencia tres experiencias docentes impulsadas por el programa de Reducción de Riesgos y Desastres (CITRID) y el Programa Riesgo Sísmico de la Universidad de Chile. Tres preguntas orientan el estudio: ¿Cuáles son los principales aprendizajes que aportan estas experiencias para la docencia en GRD? ¿Cuáles son las principales barreras y desafíos para comprender y enseñar el riesgo en América Latina y el Caribe? ¿Cómo se implementa y cómo debe modificarse la práctica de docencia inter- y transdisciplinaria?

A través de encuestas a estudiantes y docentes, mediante una metodología cualitativa, se analizan tres experiencias de docencia entre 2015 y 2023 en la Universidad de Chile, en la ciudad de Santiago. Estas experiencias fueron seleccionadas por sus objetivos de transversalidad, inter- y transdisciplina, y su especificidad en la forma de abordar el riesgo de desastres. Los primeros dos casos corresponden a cursos transversales de pregrado que presentan una introducción al riesgo de desastres y son abiertos a estudiantes de todas las disciplinas y años de la Universidad de Chile. El tercer caso corresponde a un curso de especialización de posgrado propuesto por la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas para profesionales, principalmente de instituciones públicas vinculadas a la GRD en Latinoamérica y el Caribe, que busca plantear avances y desafíos en la materia desde enfoques geofísicos, ingenieriles y de gestión pública.

A continuación, se presentan los tres casos. Luego, se muestra la estrategia de investigación con la cual se llevó a cabo el estudio. Se continúa con la presentación de los resultados y su análisis, para luego dar paso a su discusión.

Presentación y análisis de los casos: Un curso introductorio al riesgo de desastres desde una visión integrada

En 2015, el programa de Reducción de Riesgos y Desastres de la Universidad de Chile (CITRID) decidió desarrollar un curso transversal para estudiantes de pregrado de la universidad. El programa CITRID se había creado un año antes, en un contexto de debates científicos, políticos y sociales luego del terremoto y tsunami del 27 de febrero del 2010 en Chile que había evidenciado la necesidad de reforzar y renovar los aportes de la academia a la reducción del riesgo de desastres (Campos *et al.*, 2018). Esta iniciativa docente se enmarca así dentro de un conjunto de investigaciones, actividades de extensión y de docencia con perspectivas inter- y transdisciplinarias. Ejemplos de esto es el curso abierto “Vulnerabilidades ante desastres socio-naturales” (impulsado el mismo año en la plataforma de docencia abierta de la Universidad de Chile), presentaciones en el Congreso sobre la institucionalidad del riesgo, propuestas de textos normativos sobre viviendas de emergencia, investigaciones aplicadas y colaboraciones con instituciones públicas.¹

El curso de formación general (CFG) se llamó “Una introducción crítica a los desastres socionaturales en Chile”. Su objetivo fue implementar una introducción para estudiantes de diversos campos académicos de enseñanza superior sobre la gestión de riesgos de desastres socio-naturales en Chile, desde una perspectiva global y transdisciplinaria. Se realizó tres años seguidos con variaciones diseñadas por el equipo docente luego de los balances semestrales como el título², el origen de las/os expositores invitadas/os,

¹ Para mayores antecedentes, ver la página web del Programa CITRID, <https://citrid.uchile.cl/>

² En 2015, “Gestión del riesgo de desastres socio-naturales: Una introducción crítica e integral a la situación chilena”. En 2016, “Desastres socio-naturales en Chile: Una introducción crítica”. En 2017, “Riesgos de desastres en Chile: Una introducción crítica”.

las disciplinas de las/os ayudantes y sus niveles de participación.³ Otras variaciones del curso no fueron voluntarias sino que dependieron de factores externos al equipo docente, como las facultades de origen de las/os estudiantes inscritas/os. Los modos de evaluación también tuvieron variaciones, privilegiando las evaluaciones colectivas y la modalidad de proyecto en grupos donde se buscó una composición multidisciplinaria, paritaria de género y de diversidad de edades y año cursado.

Cada edición del curso duró un semestre de 16 semanas, con 1h30 de trabajo presencial en aula y 1h30 de trabajo no presencial (lecturas, preparación de proyectos en grupo) semanalmente. El curso se organizó principalmente en torno a tres ejes:

1. *Elementos conceptuales de base*: semántica del riesgo, amenazas naturales, vulnerabilidad social, resiliencia climática.
2. *Aportes recientes de investigaciones científicas para la gestión del riesgo*: monitoreo de amenazas, sistemas constructivos, viviendas de emergencias.
3. *Problemas y avances de la gestión del riesgo en Chile*: institucionalidad, marco legal, salud comunitaria, gestión pública.

Para los cursos, las/os profesoras/es y expositoras/es movilizaron materiales empíricos de sus investigaciones recientes y se debatieron preguntas contingentes, como la reforma de instituciones de la protección civil en discusión en el Congreso o problemas evidenciados en desastres recientes, como el aluvión de Atacama de 2015.

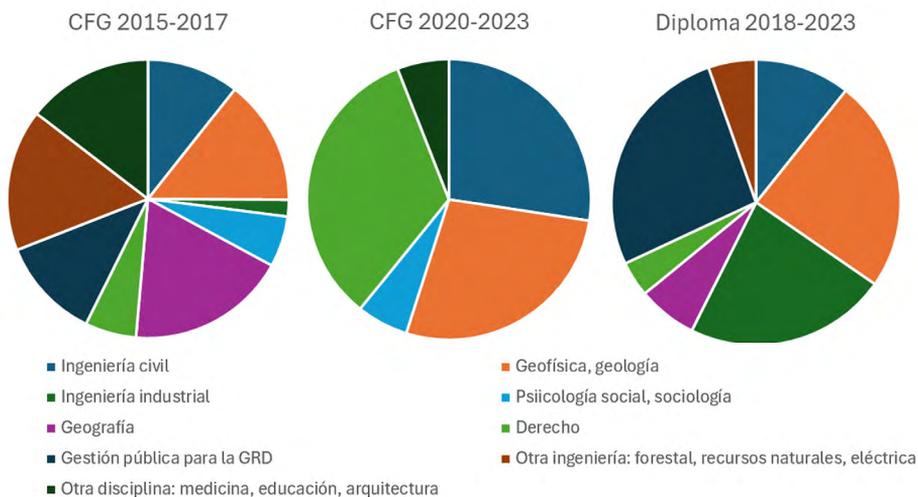
Desde 2015 al 2017, participaron 63 estudiantes de las facultades de administración pública, ciencias forestales y de la conservación de la naturaleza, ciencias sociales, ciencias físicas y matemáticas y ciencias. Expositoras/es invitadas/os presentaron sus visiones, acciones y aprendizajes obtenidos desde su ejercicio profesional en instituciones públicas,⁴ organi-

³ Disciplinas de la/os ayudantes: geología, sociología, antropología, periodismo. Actividades de la ayudantía: participación en la evaluación, exposición en clase, participación en el diseño de actividades (juegos de roles), tareas logísticas, de comunicación y facilitación virtual.

⁴ Ex subsecretaria del Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial del Uruguay; directora del Ministerio de Obras Públicas; director del Servicio Nacional de Geología y Minería, ex ministra de Salud de Chile.

zaciones sociales⁵ y empresas.⁶ Se invitaron en particular a miembros del programa CITRID para incitar diversas aproximaciones disciplinarias.⁷ La figura 1 representa la variedad de las disciplinas, considerando su contribución horaria al curso.

Figura 1. Variabilidad disciplinar de docentes para cada curso



Fuente: Elaboración propia (2024).

En un ejercicio de evaluación y presentación de resultados, el equipo docente concluye con un balance positivo en términos de convocatoria e interés del estudiantado que se tradujo en la voluntad de continuar profundizando la temática en otros trabajos académicos, organizaciones estudiantiles y postulaciones a proyectos. Sin embargo, el mismo balance también identifica la ausencia de un marco teórico interdisciplinario consensuado, la necesidad de mayor integración de las disciplinas presentes y de incluir nuevas disciplinas (Campos *et al.*, 2018).

⁵ Fundación para la Superación de la Pobreza.

⁶ Banco Santander.

⁷ Geografía, arquitectura, psicología, medicina comunitaria, agronomía, derecho, minería de datos, administración pública.

Un curso introductorio al riesgo desde los fenómenos extremos, controversias y nuevos paradigmas

A fines de 2019, algunos miembros del equipo docente del curso presentado en la sección anterior deciden ofrecer un nuevo curso, cuyo nombre es “Riesgos socionaturales y fenómenos extremos en el contexto andino: Controversias y nuevos paradigmas”. Para diseñar un curso más integrado y coherente en su conjunto, deciden reducir el equipo docente para fortalecer la interdisciplina y evitar la fragmentación de contenidos, así como disminuir los esfuerzos de coordinación de un equipo amplio y heterogéneo.

Concebido en el marco de la conmemoración de los diez años del terremoto y tsunami del 2010, el curso buscó ir más allá de una introducción al riesgo de desastres para aportar a la formación crítica de las/os estudiantes a través del abordaje de los debates y controversias vinculadas al riesgo, discusiones sobre los datos y una toma de decisión democrática en un contexto de interés por los problemas climáticos y socioambientales, de revuelta social y de discusión sobre cambios constitucionales.

La composición del equipo docente se centró en las geociencias, ingeniería civil y derecho, aunque se consideraron también aportes puntuales de otras disciplinas, tal como lo representa el diagrama de la figura 1. Al centrarse en menos disciplinas, se abrió la posibilidad de abordar nuevos contenidos, tales como las controversias asociadas al Antropoceno, la gobernanza del riesgo de desastres y la institucionalidad del conocimiento sobre riesgo. El curso se estructuró en tres unidades:

1. *Contexto andino y eventos extremos*: sistema Tierra, conceptos de riesgo y de RRD, efectos en cadena, resiliencia
2. *Controversias y nuevos paradigmas científicos*: ciencia postnormal, incertidumbre, geo-data satelital, construcción de la institucionalidad, atribución de responsabilidad jurídica en caso de desastres, inter- y transdisciplina
3. *Habitar los territorios del contexto andino y el mundo*: ciencia ciudadana, diálogo de saberes, Antropoceno, mirada territorial en la administración pública, habitar diversos territorios en riesgo

Este curso es nuevamente de formación general (CFG)⁸ y se dicta en cinco ediciones, desde el 2020 a 2024 (sin bien solo las primeras tres fueron consideradas en el presente estudio). Por la irrupción de la pandemia y cuarentenas desde marzo de 2020, el curso tuvo lugar durante tres años de forma virtual, y en 2023 de forma presencial. En total, siguieron la formación 73 estudiantes provenientes de doce facultades⁹. La mayor diversidad de facultades de origen puede ser explicada por la modalidad virtual que permite participar sin la necesidad de trasladarse.

Se reprodujo la modalidad de trabajo en grupo y de expositoras/es invitadas/os pero en menor proporción, contando con tres colegas invitadas/os por año, provenientes de otras disciplinas (antropología, geografía, sociología, divulgación científica). La modalidad virtual llevó a imaginar nuevas actividades tales como juegos en línea.¹⁰

Una formación latinoamericana de especialización en ingenierías, geociencias y gestión para la resiliencia

En 2016, el Programa Riesgo Sísmico de la Universidad de Chile inició la formulación de un curso de postítulo titulado “Diploma en Gestión, Ingeniería y Ciencias para la Resiliencia a los Desastres”. El curso se orienta principalmente a la formación continua de funcionarias/os públicas/os con un perfil directivo de instituciones vinculadas a la gestión del riesgo de desastres en América Latina y el Caribe.

⁸ La duración del curso es nuevamente de un semestre de 16 semanas, con 1h30 de trabajo presencial en aula y 1h30 de trabajo no presencial semanalmente. La adaptación a la modalidad telemática llevó a variaciones de un trabajo presencial a un trabajo asincrónico a partir de cápsulas de videos, sesiones grabadas de las clases y reforzamiento del uso del foro en la plataforma virtual de la universidad.

⁹ Facultades de artes, arquitectura y urbanismo, filosofía y humanidades, derecho, ciencias agronómicas, comunicación e imagen, ciencias químicas y farmacéuticas, administración pública, ciencias forestales y de la conservación de la naturaleza, ciencias sociales, ciencias físicas y matemáticas, ciencias. Además participaron dos estudiante/as provenientes de programas de movilidad nacionales e internacionales de la Universidad.

¹⁰ Se utilizó por ejemplo el juego “Alto a los desastres” de la UNDRR o un juego de cartas concebido por un ayudante del curso.

Para el diseño del programa se realizó una revisión de las ofertas docentes existentes. El diagnóstico evidenció propuestas interdisciplinarias¹¹ y disciplinarias¹² relevantes que sirvieron de referencia. También permitió constatar la carencia de cursos en Chile, América Latina y el Caribe, así como a nivel global para la formación continua desde un enfoque integrado de las áreas de las geociencias e ingenierías con el fin de retroalimentar los sistemas responsables de la gestión del riesgo con los últimos avances en estas materias. El objetivo del programa es proveer conocimientos avanzados, herramientas de las ingenierías y últimos antecedentes científico-tecnológicos a actrices/ores involucradas/os en la reducción del riesgo de desastres para que puedan concebir, diseñar, implementar, operar y evaluar proyectos que contribuyan a la reducción del riesgo de desastres socionaturales y a la resiliencia en sus países e instituciones.

Al formalizar la formación como una especialización de postítulo e iniciar su difusión en instituciones públicas chilenas, la Agencia Chilena de Cooperación Internacional para el Desarrollo manifestó su interés en la formación y su compromiso en financiar ediciones para cohortes internacionales con participación de profesionales de América Latina y el Caribe. Esto le confirió un enfoque internacional al diploma (referido en el resto del capítulo como “diploma internacional”).

La formación consiste en 120 horas en aula y está estructurada en cinco módulos:

1. Nuevos avances conceptuales y normativos en reducción de riesgos de desastre¹³
2. Geoamenazas: nuevos antecedentes científicos y tecnológicos¹⁴

¹¹ Por ejemplo, el Diploma Postítulo en Gestión para la Reducción del Riesgo de Desastres de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile.

¹² Por ejemplo, el curso de Sismología de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile para estudiantes de América Latina y el Caribe, financiado por la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA) y la Agencia Chilena de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AGCID).

¹³ Riesgo e incertidumbre, riesgo sistémico, gobernanza del riesgo, contexto del riesgo, pérdidas por desastres, componentes, paradigmas, escenarios actuales, gestión y reducción del riesgo de desastres, riesgo en contexto urbano, informalidad, justicia de los desastres.

¹⁴ Contexto andino, sistema Tierra, terremotos, tsunamis, fallas geológicas, remociones en masa, volcanismo, contaminación atmosférica, cambio climático y fenómenos extremos,

3. La reducción de riesgos a través de la gestión pública¹⁵
4. Vanguardia tecnológica para la resiliencia¹⁶
5. Mitigación de desastres y preparación¹⁷

Un taller de trabajo en grupo es transversal y se desarrolla en paralelo a los módulos de contenidos a partir de casos reales propuestos por el equipo docente o por las/os estudiantes. Los contenidos, ejercicios y actividades han evolucionado en las diferentes ediciones en función de la retroalimentación de las/os participantes y de las condiciones de realización del curso.

La formación se ha dictado seis veces entre 2018 y 2023. En modalidad presencial, en 2018 y 2019, tuvo lugar como un programa intensivo durante 5 semanas con jornadas completas de cursos, completadas con visitas técnicas y a sitios de interés en Santiago de Chile. En 2020, a raíz de la pandemia, se pasó a una modalidad virtual en la plataforma Zoom y se optó por extender la duración del programa para alivianar la carga semanal a 9 horas en aula virtual. En total, 180 estudiantes han seguido la formación, provenientes de 16 países (Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guatemala, Haití, Honduras, México, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, Salvador, Uruguay, Chile).

Las/os estudiantes son profesionales preferentemente en las áreas de las ingenierías, administración pública y ciencias físicas, con una experiencia profesional de al menos dos años en proyectos relacionados con riesgos de desastres siconaturales. El curso evolucionó según los balances anuales y las exigencias de la modalidad virtual y rápidamente buscó formas de valorizar la gran experiencia y experticia profesional de las/os estudiantes. Des-

peligros hidrometeorológicos, interferometría de radar para el estudio de riesgos geológicos, mapas de peligro.

¹⁵ Gestión pública y sistemas complejos, herramientas para la RRD (normatividad, institucionalidad, recursos, acciones y coordinación, presupuesto, adquisiciones y compras públicas), herramientas para la evaluación/implementación de proyectos (indicadores, criterios, metodologías, sistemas de inversión pública, formulación de proyectos).

¹⁶ Técnicas de análisis de datos, introducción al uso de redes sociales, impactos de las telecomunicaciones, optimización matemática para planificar y operar redes críticas, sistemas eléctricos.

¹⁷ Diseño sísmico de estructuras, norma sísmica de construcción en América Latina y el Caribe, percepción, toma de decisiones y comunicación del riesgo, anomalías en la demanda de seguros, gestión de una red sismológica, resiliencia urbana y territorial, ordenamiento y planificación territorial.

de la primera edición se ha buscado también potenciar la formación de una red de funcionarias/os latinoamericanas/os en GRD para el desarrollo de proyectos o intercambios. Esto se ha traducido en un vínculo por correo electrónico, invitaciones a charlas y seminarios y, en particular desde 2022 en la realización de instancias más específicas de formación y de discusión internacional, intersectorial e interdisciplinaria.

Aunque tenga algunas fluctuaciones según las ediciones del curso, se constata una brecha en la composición del cuerpo estudiantil (~ 65% hombres cisgénero, 35% mujeres cisgénero) y del equipo docente (~ 75% hombres cisgénero, 25% mujeres cisgénero). Las principales disciplinas del cuerpo docente son la geofísica, geología, ingeniería civil, ingeniería industrial e ingeniería en computación.

Método de investigación

El estudio tiene un enfoque cualitativo. Busca interpretar y dar significación a tres experiencias de docencia inter- y transdisciplinaria relativa a riesgo de desastres mediante un análisis de contenido de fuentes primarias constituidas por encuestas con preguntas abiertas, múltiples y cerradas, dirigidas a estudiantes y docentes. Estas encuestas constituyen la principal técnica de producción de información.

Para el diseño de las encuestas se optó por desarrollar cuatro instrumentos adaptados según el tipo de participante (estudiante o equipo docente) y del tipo de curso (CFG o diploma). La estructura y orientación general de las preguntas son similares para los cuatro instrumentos, pero se adecuan a los diferentes contextos de participación de la persona encuestada¹⁸. Los instrumentos se organizan en cinco ejes: (1) Preguntas contextuales para situar quién responde, (2) Motivaciones, expectativas y cumplimiento de estas, (3) Metodología del curso, (4) Resultados alcanzados gracias al curso

¹⁸ La encuesta a docentes del diploma tuvo 23 preguntas (3 de respuesta cerrada, 3 de respuesta múltiple, 17 de respuesta abierta). La encuesta a estudiantes del diploma constó de 22 preguntas (5 preguntas cerradas y 17 preguntas abiertas). La encuesta a docentes del CFG tuvo 21 preguntas (2 preguntas cerradas, 1 de selección múltiple y 18 preguntas abiertas). La encuesta a estudiantes del CFG contó con 17 preguntas (5 preguntas cerradas y 12 abiertas).

y (5) Evaluaciones, proyecciones y recomendaciones. La tabla 1 presenta una síntesis de las cualidades evaluadas por cada encuesta, cuyo detalle se encuentra en el anexo (tabla 1A).

Tabla 1. *Cualidades evaluadas de las cuatro encuestas*

<i>Encuesta a estudiantes de los CFG</i>	<i>Encuesta a estudiantes del diploma</i>	<i>Encuesta a docentes de los CFG</i>	<i>Encuesta a docentes del diploma</i>
Antecedentes: Versión del curso, carrera y año cursado	Antecedentes: Lugar de residencia, ocupación, formación profesional, institución, forma de inscripción al curso	Antecedentes: Facultad, departamento, versión del curso, tipo de participación	Antecedentes: Facultad, departamento, versión del curso, tipo de participación
Motivaciones y expectativas: Interés por el curso, conocimientos y habilidades adquiridas, adecuación de los contenidos con las expectativas	Motivaciones, expectativas, limitaciones o dificultades en cursar el curso	Aportes a la reducción del riesgo de desastres desde la docencia: Aportes de la disciplina, temas abordados, métodos docentes utilizados	
Metodología: Experiencia previa en multi/inter/transdisciplina, disciplinas consideradas de mayor aporte para la comprensión de la GRD, aportes y dificultades de la multi-, inter- y transdisciplina	Evaluación de la metodología y resultados: Aprendizaje inter/transdisciplinario, dinámica docente, aplicación de los aprendizajes, práctica del conocimiento, red y vínculos profesionales	Evaluación de la dinámica docente, del curso y sugerencias.	Evaluación y proyecciones del diplomado: Dinámica, pertinencia, especialización en LAC, vínculos profesionales desde el curso, recomendaciones
Evaluación y proyecciones: Recomendaciones, vínculos posteriores con la GRD, comentario libre	Evaluación y proyecciones: Evaluación en cuanto a la experiencia propia en GRD, recomendaciones, comentario libre	Evaluación sobre otras experiencias de docencia en GRD: Inter/transdisciplina, actualización docente, mejoramiento de la docencia para la GRD, comentario libre	

Fuente: Elaboración propia (2024).

La muestra de las encuestas fueron las/os docentes y estudiantes del curso de formación general (versiones de 2015 a 2017 y de 2019 a 2023) y del diploma internacional (versiones 2018 a 2022). El cuestionario fue aplicado de manera online a través de Google Forms. Fue enviado a las/os docentes de ambos casos de estudio y a estudiantes del diploma por medio de sus correos electrónicos, mientras que las/os estudiantes del Curso de Formación General fueron conctadas/os a través de la plataforma U-Cursos.¹⁹

¹⁹ Plataforma digital institucional de la Universidad de Chile que permite, entre sus múltiples funciones, el contacto entre docentes y estudiantes a través de correos particulares y masivos.

De esta manera, corresponde a una muestra no probabilística e intencional, con respuesta voluntaria. Para la/os estudiantes, se propuso una respuesta anónima con el fin de facilitar la expresión más libre de comentarios y eventuales críticas, mientras que para las/os docentes no se consideró necesario anonimizar el instrumento por ser menos jerárquica la relación.

La aplicación de los instrumentos se realizó a través de un envío masivo de correos en distintas plataformas, teniendo un alcance total de 50 docentes (19 de CFG y 31 de diploma) y 286 estudiantes (151 de CFG y 135 de diploma). Se incluyó un breve mensaje invitando a responder el cuestionario de forma voluntaria para todos/as los/as participantes y de forma anónima en el caso de los estudiantes a través de la plataforma de Google Forms. Esta herramienta permitió capturar, monitorear y organizar las respuestas en tiempo real, lo que posibilitó evaluar la pertinencia de hacer más de un envío masivo según el número de respuestas obtenidas. En total, se realizaron 4 envíos y se obtuvieron 67²⁰ respuestas durante las primeras 3 semanas de junio de 2023.

Los datos recabados desde Google Forms fueron exportados a Google Sheets para realizar la selección, transposición y codificación abierta. Se realizó una exploración preliminar cuantitativa de los datos para obtener estadísticas descriptivas y gráficas de los resultados. Esto buscó informar las tendencias y contrapuntos en las respuestas y se utilizó luego para estructurar el análisis cualitativo.

El análisis cualitativo se efectuó por medio de un análisis de contenido de las respuestas que implicó disgregarlas según las temáticas que abordaban, clasificarlas y agruparlas semánticamente (Van Dijk, 2000) para, posteriormente, reagruparlas en categorías (Han, 2008) que permitieran identificar las experiencias, problemáticas y propuestas de las/os encuestadas/os en temas de docencia en riesgo de desastres. Los tres ejes analíticos fueron: (1) Motivaciones y experiencia previa a la realización de los cursos; (2) Experiencias de la enseñanza o aprendizaje inter- y transdisciplinario, y (3) Aplicaciones posteriores a la realización del curso, recomendaciones y proyecciones para mejorar la propuesta docente. Así, el análisis permite construir una cronología desde los relatos de las experiencias antes, duran-

²⁰ De manera disgregada, la muestra estuvo constituida por 49 respuestas de estudiantes (28 del CFG y 21 del diploma) y 18 respuestas de docentes (9 del CFG y 9 del diploma).

te y después del curso. A partir de los relatos individuales, se buscó reconstruir una experiencia colectiva que permitiera identificar fortalezas, debilidades y recomendaciones de los cursos, conformando una retroalimentación que incorpore la diversidad y particularidad de cada visión.

Los instrumentos fueron elaborados por tres investigadores/as del Programa Riesgo Sísmico de la Universidad de Chile, dos de las cuales habían participado como estudiantes y/o docentes en las formaciones. Estas experiencias les permitieron un acceso privilegiado a los contenidos y contactos a la vez que es parte de los sesgos que se asumen en la presente investigación. Por ejemplo, inicialmente, los dos cursos de formación general (CFG) fueron considerados como una sola experiencia por el sesgo del equipo docente de ambos cursos que los conciben en continuidad. A la luz de los primeros análisis, se optó por separar los datos proporcionados por las/os estudiantes del CFG en dos casos distintos (2015-2017 y 2020-2023), ya que representaban diferencias significativas de experiencias.

Finalmente, existen otras fuentes de evaluación docente mediante las encuestas estandarizadas de la Universidad de Chile que las/os estudiantes pueden responder al término de sus cursos. Estas encuestas fueron revisadas en un análisis preliminar pero no fueron utilizadas para el estudio ya que las preguntas que dirigen no corresponden al objeto de este análisis.

Resultados: Diagnóstico de los aprendizajes y desafíos de los tres estudios de caso

Experiencias de los cursos de formación general en riesgo: Motivaciones y experiencias previas de los estudiantes

En la primera versión del CFG, las motivaciones de las/os estudiantes reflejan una creciente conciencia sobre la importancia de las temáticas ambientales y el impacto de los eventos naturales en la sociedad. Estaban impulsados/as por un deseo de profundizar en sus conocimientos sobre estos temas más allá de sus conocimientos previos considerados superficiales. Estaban interesados/as en explorar las interacciones complejas entre medio ambiente y comunidades humanas. Este interés se relaciona con aplicar el conoci-

miento de estos temas para abordar desafíos actuales y urgentes que enfrenta el país. La geografía y localización de Chile también se presentaban como oportunidades educativas, con expectativas de una formación académica adaptada al contexto habitado por las/os estudiantes y las problemáticas sociales contemporáneas. En su gran mayoría, las/os estudiantes carecían de experiencias previas inter- o transdisciplinarias.

En la segunda versión del CFG, se mantienen algunas motivaciones similares, pero se distingue una mayor conciencia de la importancia de la gestión y prevención del riesgo como campo propio del saber y la práctica, en tanto que “entender el riesgo y estudiar la gestión y prevención de este, es fundamental para nuestra formación profesional” (E3, 2023). Las/os estudiantes indican estar interesadas/os en adquirir conocimientos específicos sobre fenómenos naturales y su interacción con la sociedad por la importancia del tema en el país. Señalan un interés en el concepto de riesgo, el cual desconocen o conocen poco, para explorar nuevas áreas de conocimiento y una temática de relevancia social. Algunas/os señalan querer conocer otras disciplinas y ver cómo aportar desde las suyas a una problemática socioambiental.

Comparando las motivaciones y experiencias previas en ambas versiones, se puede apreciar un hilo conductor que refleja la evolución en la conciencia creciente y las prioridades de las/os estudiantes en aprender sobre temas socioambientales, la interacción entre fenómenos naturales y sociales, y de riesgo y desastres siconaturales.

Experiencias de enseñanza y aprendizaje inter- y transdisciplinario sobre riesgo

La experiencia de estudiantes y docentes que participaron en los CFG sobre riesgo de desastres revela enfoques distintos que ilustran una evolución de la educación inter- y transdisciplinaria en un periodo de casi una década.

Desde diferentes perspectivas, tanto docentes como estudiantes, resaltan la importancia e interés por enfoques multi-, inter- y transdisciplinarios en la educación superior. Según las/os estudiantes, se puede observar una evolución en la forma en que el CFG aborda el riesgo de desastres y, por lo

tanto, modifica su experiencia. En la primera versión, las/os estudiantes valoran la adquisición de conocimientos básicos sobre la gestión de riesgos, pero también destacan la innovación en la promoción del aprendizaje interdisciplinario que conciben como el trabajo e intercambio entre estudiantes provenientes de diferentes disciplinas y la presencia de un cuerpo docente diverso en conocimientos y experticias. Estos dos mecanismos les permiten explorar perspectivas nuevas, diversas y ampliar sus horizontes de aprendizaje. Al mismo tiempo que valoran esta amplitud focal del curso, observan la necesidad de una mayor profundización en los contenidos y la aplicación práctica de los conocimientos.

En la segunda versión, las/os estudiantes continúan valorando la interdisciplinariedad, pero la entienden desde componentes más específicos y aplicables. En su comprensión del riesgo, destacan dimensiones vinculadas a la gestión del riesgo y la adaptabilidad en distintos contextos. El cambio climático emerge como una problemática social conectada con el problema del riesgo de desastres. Asimismo, las/os estudiantes resaltan la aplicación efectiva de los conocimientos del curso en sus futuros entornos profesionales y en complemento de sus espacios disciplinares o estudios de otras asignaturas universitarias. Destacan que el curso les permite desarrollar una reflexividad sobre el problema del riesgo en vínculo con sus formaciones profesionales para ampliar su capacidad analítica sobre problemáticas sociales y desarrollar vínculos con otras disciplinas. A nivel personal, valoran el curso al permitirles entender discursos, debates y eventos contemporáneos y contingentes. Identifican desafíos similares al curso anterior en cuanto a la necesidad de profundización temática y la coordinación de trabajos grupales, pero enfatizan la necesidad de reforzar la aplicabilidad y la utilidad de los conocimientos adquiridos.

Desde la perspectiva de las/os docentes, manifiestan sus esfuerzos constantes por mejorar la enseñanza inter- y transdisciplinaria. Reconocen desafíos en la práctica de enfoques transdisciplinarios debido a la diversidad en las formaciones de las/os estudiantes y la baja interacción que se podía dar entre estos en ocasiones. Valoran la coordinación del equipo docente y la adaptación a las circunstancias cambiantes (de la modalidad presencial a la modalidad en línea, y luego de vuelta a la presencial). La dinámica del curso, con métodos pedagógicos que fomentan el diálogo y la participación

(como el uso de foros en línea, juegos de roles y discusión en grupos en horas lectivas), se convierte desde su perspectiva en un entorno propicio para la integración de conocimientos diversos.

Tanto estudiantes como docentes identifican limitaciones en la profundización de los contenidos y la aplicación práctica. De este modo, expresan un deseo de multi-, inter- y transdisciplinariedad, pero advierten que no se debe comprometer la comprensión en profundidad. Los trabajos en grupos multidisciplinarios son evaluados positivamente pero señalan dificultades de colaboración efectiva entre estudiantes de diferentes disciplinas. Un punto común de las experiencias docentes y estudiantiles es la pregunta por el equilibrio entre la necesidad de comprensión en profundidad de dimensiones de un problema complejo y a veces nuevas, y la apertura temática con la integración y colaboración interdisciplinaria.

Recomendaciones y proyecciones a partir de la experiencia en los CFG

Las percepciones y experiencias de estudiantes y docentes en el CFG se traducen en valiosas recomendaciones y reflexiones de la docencia vinculada a riesgo de desastre, pero contribuyen también a la reflexión más amplia sobre estrategias pedagógicas inter- y transdisciplinarias.

Desde la perspectiva de las/os docentes, se observa una reflexividad sobre su práctica y la identificación de puntos que requieren mejoras en la enseñanza sobre riesgo de desastres. Proponen así utilizar talleres en lugar de clases expositivas y fomentar la participación activa de las/os estudiantes para avanzar hacia metodologías pedagógicas más interactivas y dinámicas. Sugieren explorar lugares emblemáticos de desastres para una comprensión del riesgo basada en una contextualización local a partir de la experiencia sensible de las/os estudiantes en su territorio. Se propone la creación de una plataforma de voluntariado universitario en gestión del riesgo de desastres (con cursos, capacitaciones y articulaciones) y la continuidad del aprendizaje a través de la oferta de cursos y capacitaciones posteriores. Estos son ejemplos de estrategias que buscan fomentar un involucramiento constante de las/os estudiantes en el tema, es decir, utilizar el curso introductorio

como una oportunidad de generar un vínculo a largo plazo con las/os participantes interesadas/os y motivadas/os. Se vislumbra un claro interés por la expansión y la consolidación de una oferta docente en riesgo de desastres que sea coherente a nivel universitario, diversificada y transversal, con la posibilidad de implementar nuevos cursos pensados de forma complementaria y con una perspectiva de formación continua.

Las recomendaciones de las/os docentes también enfatizan la necesidad de afinar el enfoque y profundizar en aspectos clave del riesgo de desastres. La idea de dividir el curso en niveles para un estudio más exhaustivo, el énfasis en el trabajo en grupo como medio de promover la colaboración interdisciplinaria y la promoción de momentos presenciales son estrategias que podrían enriquecer la formación de las/os estudiantes. Destacan la importancia de mantener una visión amplia más allá de la escala nacional chilena y sugieren vincularse con las actoras/es tomadoras/es de decisiones en riesgo de desastres.

Desde la perspectiva de las/os estudiantes, hay un interés en mantenerse conectadas/os con el tema después de completar el curso. Las recomendaciones apuntan así a estrategias para mantener el interés y la participación a través de eventos, grupos de discusión y oportunidades de investigación. En cuanto a las dinámicas en aula, sugieren incluir salidas a terreno y trabajos de campo.²¹ En los cursos virtuales, solicitan más estímulos para la participación de las/os estudiantes mediante estudios de caso y aportes que cada una/o puede hacer desde su perspectiva. En la modalidad presencial, recomiendan utilizar recursos visuales y multimedia para enriquecer el aprendizaje. En cuanto a las temáticas del curso, las/os estudiantes resaltan la importancia de abordar aspectos más específicos del origen antrópico de las amenazas y la planificación territorial, y proponen la inclusión de contenidos relacionados con la percepción social del riesgo y su influencia en la toma de decisiones.

En conjunto, las recomendaciones y experiencias de estudiantes y docentes revelan un compromiso compartido con la mejora continua de la educación sobre riesgo de desastres desde una perspectiva inter- y transdisci-

²¹ Esto se realizó en la versión de 2023 del curso y fue evaluado muy favorablemente por las/os estudiantes, como lo explica un/a estudiante encuestada/o: “el hecho de haber tenido oportunidad de poder compartir el conocimiento académico con el mundo de la administración pública (municipalidades, SHOA, SEGNAPRED) fue muy enriquecedor”.

plinaria. Las estrategias pedagógicas sugeridas reflejan la búsqueda de un aprendizaje más participativo, contextualizado, enfocado en la acción práctica y con posibilidades de establecer vínculos duraderos.

Experiencias del diploma internacional: Motivaciones y expectativas previas de estudiantes

A partir del análisis de los resultados, se puede apreciar cómo este contribuyó a la comprensión de la temática abordada y el interés inicial de las/os participantes en los temas de las geociencias e ingenierías para la gestión del riesgo de desastres. Las principales motivaciones de las/os estudiantes en el curso de postítulo dejan ver las ansias por aprender y adquirir conocimientos para abordar los nuevos desafíos en gestión del riesgo en sus respectivos países debido a la relevancia de esta temática en la región. De manera amplia, se menciona el interés por mejorar sus propias competencias en GRD, aunque algunas/os estudiantes manifiestan interés en aprender “nuevas metodologías y tecnologías”. Junto con el desarrollo profesional y la generación de redes, esperan que la formación les permita contribuir y generar un impacto positivo en sus instituciones.

En cuanto a las expectativas, esperaban tener un sólido conocimiento sobre la gestión del riesgo, tener competencias como identificación de zonas de riesgos y cómo mitigarlos, metodologías para interpretar los fenómenos naturales e intercambiar experiencias con personas de otras naciones sobre cómo abordan las falencias de la GRD. En este sentido, las expectativas en su mayoría fueron cumplidas gracias a las interacciones entre estudiantes de distintos países, con profesoras/es de diferentes disciplinas y por medio de los trabajos en grupo. Un/a estudiante afirma que quedó satisfecha/o con la visión holística de la gestión del riesgo. Tres manifestaron limitaciones que no les permitieron cumplir la totalidad de sus expectativas, tales como la escasez de ejercicios de aplicación del contenido o la superficialidad de los tópicos abordados. Ambas limitaciones llevan a la dificultad percibida de tener un conocimiento sólido de cada tema.

Cabe señalar que en el cumplimiento de expectativas no se hace mención explícita a la inter y transdisciplinariedad como un medio para comprender

los temas, sino que se asume que se desarrolla por medio de la interacción entre profesoras/es y estudiantes.

Experiencias de enseñanza y aprendizaje inter y transdisciplinario sobre riesgo

La interacción y enseñanzas entre estudiantes y docentes de diversas disciplinas en el curso se percibió como altamente enriquecedora para el conocimiento y la comprensión de la gestión del riesgo de desastres. La mayoría de las/os estudiantes consideran que esto permitió abordar los temas de manera más integral, multidisciplinaria e intercambiar experiencias. A su vez, aportó la posibilidad de compartir casos reales, reconocer las diferencias y similitudes entre los distintos países, aprender de los enfoques y soluciones de otras disciplinas y países, y ampliar la visión de cómo abordar los riesgos y desastres desde diferentes contextos.

Entre los aportes destacados por las/os estudiantes se encuentra el intercambio de experiencias y conocimientos con profesionales de diversas áreas y países, la posibilidad de abordar el tema desde múltiples enfoques y la ampliación en la comprensión integral de la gestión del riesgo de desastres. Tanto para estudiantes como para docentes, las innovaciones señaladas se relacionan con el taller transversal a lo largo del diploma. Se identifica una actividad de lluvia de ideas de experiencias y la discusión de estudios de caso reales. Las/os docentes valoran positivamente la posibilidad de poner en práctica lo aprendido durante las clases en el taller. Otros aportes tienen que ver con adquirir competencias en sismología, evaluación de zonas de riesgos, análisis de datos históricos, uso de tecnologías y redes sociales, manejo de sistemas de alerta y formas de respuesta a desastres.

Dentro de las principales limitaciones mencionadas por las/os estudiantes, se encuentra la modalidad virtual del curso que generó desafíos en la interacción y los trabajos grupales. La especialización técnica de algunos módulos, sobre todo los de análisis y cálculos matemáticos y de ingeniería, dificultaron la comprensión para aquellas/os que no contaban con conocimientos previos en esas áreas. Entre algunas de las causas externas y menos mencionadas se encuentran la paralización del país debido a protestas so-

ciales en 2019 y la carga de trabajo en las oficinas de algunas/os estudiantes. Por su parte, las/os docentes coinciden en que la gran cantidad de contenidos que aborda el curso dificulta la comprensión de la materia y se suele caer en la parcelación y fragmentación de los contenidos, además de que no es fácil integrar los diversos enfoques y disciplinas que se manejan.

En cuanto al enfoque inter y transdisciplinario, la gran mayoría de las/os estudiantes consideraron que la dinámica del curso fue adecuada para lograr este objetivo y se valora la composición multidisciplinaria. Específicamente, afirman que la participación de personas de diversos países y profesiones y la presencia de profesores de diferentes especialidades permitió ampliar la perspectiva sobre los temas tratados o entender la naturaleza interdisciplinaria de los fenómenos. La interacción activa entre participantes y la variedad de enfoques contribuyeron al aprendizaje y la comprensión de los fenómenos desde distintos puntos de vista. Asimismo, las/os docentes también mencionan que la confluencia de distintos enfoques y contenidos desarrollados en el diplomado aportan en la enseñanza inter y transdisciplinar, lo que pueden reconocer en las interacciones con las/os estudiantes. Sobre la transdisciplinariedad, la única mención explícita de un/a estudiante es que no se logró poner en práctica y que quedó como una intención del diploma, mientras que en las respuestas docentes no se distingue la transdisciplina de la interdisciplina. Un/a docente menciona como dificultad la poca aproximación que las/os estudiantes tienen con las metodologías inter/transdisciplinarias y propone desarrollar un “módulo 0” con un fin metodológico.

La diversidad de campos profesionales, especialidades y perspectivas para el abordaje de la gestión del riesgo es caracterizada como un avance del diploma por las/os estudiantes. Adicionalmente, las innovaciones que identificaron incluyen los ejercicios prácticos y la aplicación en casos reales. Aun así, una escasa parte de las/os estudiantes mencionaron la necesidad de profundizar en los aspectos prácticos y experimentales de la formación.

Experiencias posteriores al diploma internacional

En el ejercicio profesional, la mayoría de las/os estudiantes afirman haber logrado aplicar lo aprendido en las instituciones y comunidades donde se

desempeñan. El uso de nuevos conocimientos en el desarrollo de proyectos de inversión, visitas de campo, gestión de emergencias, planificación, entre otros, demuestra cómo son utilizadas las enseñanzas del diploma en el ámbito laboral. También mencionan que han incluido en su desempeño laboral la visión holística e integral de la gestión del riesgo, sobre todo en lo que respecta a la resolución de problemas para obtener un resultado más completo. En menor medida, se menciona que lo aprendido en el curso es utilizado para intercambiar ideas con entidades y colegas.

De esta forma, los principales aportes para su desarrollo profesional fueron, según las/os estudiantes, el fortalecimiento de conocimientos y la capacidad de resolver problemas desde un enfoque integral para la gestión del riesgo de desastres. Sobre el primer punto, destacan el manejo de conceptos y herramientas para abordar emergencias de forma local, fortalecer e impulsar la prevención en la gestión del riesgo y la formulación de proyectos de GRD con el fin de obtener resultados concretos, medibles y con proyección adaptativa a largo plazo, de acuerdo con las bases de gobernabilidad, método y evaluación. Asimismo, señalan que comprender los fenómenos desde diferentes perspectivas permite entender cómo se producen los desastres, teniendo en cuenta los diferentes actores involucrados. En este sentido, en su mayoría manifiestan que el curso logra abordar pertinentemente los desafíos de la gestión del riesgo en Latinoamérica y el Caribe como enfocarse en la prevención más que en la reacción. Esto fue posible gracias a la interacción entre las/os distintas/os participantes, que permitió conocer la forma en la que se abordan los riesgos en diferentes países, complementando así los casos de estudio analizados con métodos y herramientas aplicables a la región.

Sin embargo, al menos la mitad de las/os estudiantes consideran que los contenidos fueron muy acotados, ya que no permitió profundizar en la teoría del riesgo y ni en métodos de planificación estratégica. En este sentido, se menciona que el proceso académico fue muy corto como para formar profesionales líderes en sus países. En contraste, las/os docentes reconocen los aportes del diploma para las/os estudiantes por el vasto contenido abarcando, a la vez que señalan como limitaciones el tiempo acotado para exponer sus temas, la obsolescencia futura de los conocimientos entregados y la amplitud demasiado vasta de los contenidos.

Otro punto importante son las redes y vínculos entre estudiantes y docentes luego del término del diploma. Para las/os primeras/os, el principal vínculo ha sido con sus mismas/os compañeras/os mediante intercambios de información en charlas y talleres relacionados a la temática para compartir experiencias de casos y buscar una retroalimentación sobre el manejo de las emergencias. No obstante, un número importante de egresadas/os mencionaron que no han mantenido un vínculo ni con las/os participantes ni con las/os docentes. Para las/os profesoras/es, las relaciones más importantes se han establecido entre las/os mismas/os docentes, ya sea para la colaboración en proyectos y actividades en conjunto o para desarrollar acciones en instituciones públicas, mientras que el vínculo con las/os estudiantes ha sido para retroalimentar documentos y compartir bibliografía.

Conservar la comunicación ha contribuido, según la mayoría de las/os estudiantes, a que se forme una red incipiente de profesionales latinoamericanas/os en gestión del riesgo de desastres donde se puede conocer las metodologías que adoptan otros países en situaciones de emergencias y buscar retroalimentación de las funciones profesionales. Para algunas/os, la modalidad virtual del diploma dificulta la interacción y la creación de lazos importantes entre compañeras/os durante y posteriormente al diploma.

Recomendaciones y proyecciones a partir de la experiencia en el diploma

Desde la perspectiva de las/os docentes, se requiere replicar el diploma y formar más profesionales de la región e incorporar la formación de profesionales cuyo desempeño les obliga a tener contacto con comunidades y territorios. Siguiendo la misma línea, consideran necesario que los conocimientos científicos y tecnológicos se articulen con los saberes locales de las comunidades y otros actores locales o institucionales. También sugieren reforzar la comprensión de cómo la gobernanza y las instituciones de otros países gestionan el riesgo para mejorar la cooperación entre estos, profundizar en la ciencia de datos e inteligencia artificial y acompañar las clases con visitas a laboratorios o centros de investigación. Afirman que se requiere mantener el monitoreo y vínculo con las/os estudiantes egresadas/os del

programa para generar una comunidad y fortalecer la retroalimentación para los cursos posteriores.

Por parte de las/os estudiantes, la recomendación más frecuente fue cambiar las dinámicas de trabajo y la modalidad de evaluación de las clases mediante los trabajos en grupos. Se propone que las/os integrantes deberían rotar por cada módulo de tal manera que puedan interactuar con más compañeras/os. También incitan a desarrollar proyectos que den solución a problemáticas reales en cada territorio y que las/os participantes puedan exponer casos de cada país para centrarse menos en casos chilenos. En cuanto a los contenidos, algunas/os apuntan la necesidad de un marco conceptual inicial sobre la gestión del riesgo o materias más básicas relacionadas con el riesgo, amenazas y vulnerabilidad, debido a que el nivel fue más avanzado de lo pensado inicialmente. Así también, el módulo sobre vanguardia tecnológica requiere una forma más pedagógica de ser transmitida al incluir demasiada información.

Conclusiones

El conocimiento del riesgo supone desarrollar nuevas propuestas pedagógicas adaptadas a los contextos territoriales, sus riesgos e instituciones, facilitando una incorporación de las nuevas técnicas disponibles y la vinculación con debates sociales contemporáneos. Se reconocen los desafíos en la docencia sobre riesgo así como avances en la implementación de propuestas multi, inter y transdisciplinarias que buscan contribuir a un conocimiento integral del riesgo de desastres. Para avanzar en esta línea, el capítulo se centró en sistematizar, analizar y discutir tres propuestas interdisciplinarias de formaciones sobre riesgo de la Universidad de Chile, a partir de encuestas a docentes y estudiantes. Se prestó especial atención a las sugerencias relativas a innovaciones, aportes y limitaciones en cuanto a la docencia interdisciplinaria y a la formación sobre riesgo de desastres.

El estudio muestra el interés y compromiso que motivan a estudiantes universitarias/os en Chile y profesionales públicas/os en América Latina y el Caribe con seguir cursos sobre riesgo de desastre y confirma la relevancia de propuestas docentes multi, inter y transdisciplinarias en todos los niveles

de formación. Hay una oportunidad de generar mayores ofertas de formación en áreas que contribuyen a la reducción del riesgo, pero estas deben concebirse desde una trayectoria coherente e integrada con el fin de contribuir a una formación continua pertinente. También hay una oportunidad de reforzar las redes de estudiantes y profesionales para proyectos y aprendizajes en vista de la reducción del riesgo.

Sobre las metodologías, existen limitaciones que deben abordarse desde el mejoramiento de los enfoques inter y transdisciplinario que suponen una práctica docente más reflexiva y formada en estos enfoques, el compromiso de las estructuras universitarias en acompañar procesos inter y transdisciplinarios, y el desarrollo de metodologías más colaborativas a partir de implementaciones reales para aprender haciendo entre pares.

Reflexiones

A modo de reflexión, lo anteriormente expuesto ayuda a pensar la manera en que se podría avanzar en la formación sobre riesgo de desastres, teniendo presentes los desafíos y las oportunidades que implica el desarrollo de distintos enfoques y metodologías en la formación de profesionales con incidencia en las distintas etapas de la gestión del riesgo para docentes y estudiantes.

Primero, se confirma la **relevancia de formular espacios multi, inter y transdisciplinarios para la docencia sobre riesgo**. Ante la complejidad del problema, el desconocimiento sobre el riesgo o la necesidad de una mejor comprensión, establece la necesidad de continuar con la integración de conocimientos y técnicas disciplinares que fortalezcan la mirada integrada sobre el riesgo. Es interesante notar que, aunque docentes y estudiantes utilicen de forma variable las ideas de inter y transdisciplina, más allá de los objetivos de los cursos, se valora muy positivamente el enfoque multidisciplinario como una forma de crear espacios y diálogos enriquecedores. Las principales formas de innovación más allá de lo disciplinar radica en la confluencia de diversas disciplinas, experticias y experiencias y en las interacciones que se producen en el marco del curso.

Segundo, el problema del riesgo es apropiado tanto para las/os estudiantes como para las/os docentes que sienten un compromiso por la temática, mostrando un interés general y la voluntad de resolver un problema social contingente. Esto es, sin dudas, un avance en la concientización sobre la importancia del riesgo en los países de América Latina y el Caribe, así como una oportunidad para el campo del riesgo de desastres en la medida que se manifiesta la **demandas de más formaciones en áreas que contribuyen a la reducción del riesgo**. Una de las maneras de acercarse a este objetivo podría ser incluir contenidos relacionados en los planes de estudio de las distintas disciplinas, desde cursos básicos hasta ofertas de electivos y cursos transversales con programas específicos que aborden estos temas desde una perspectiva inter y transdisciplinaria. Esto implicaría la colaboración entre expertas/os de diferentes campos, a fin de desarrollar un currículo equilibrado y completo. Por lo tanto, fomentar los espacios de diálogo y trabajo conjunto puede ayudar a superar barreras disciplinarias y generar soluciones más integrales a problemas complejos.

Además, estas formaciones deben ser continuas, más allá de un curso o programa puntual. Deben permitir una especialización en algunos temas y la actualización en temáticas de rápida obsolescencia. En este sentido, existe una debilidad en las ofertas docentes estudiadas al no garantizar la integración de los cursos en una trayectoria de aprendizaje. De este modo, si los cursos vinculados al riesgo de desastres han aumentado considerablemente en la última década, es necesario **pensar, diseñar y avanzar hacia una propuesta integrada de formación continua en diversas temáticas y enfoques sobre riesgo de desastres**.

Asimismo, existe un interés importante en seguir vinculadas/os con el problema del riesgo más allá de los cursos formativos. Estos pueden entonces servir como una oportunidad para generar otras instancias tales como **plataformas de voluntariado universitario, colaboraciones entre estudiantes y docentes, proyectos entre pares**. Conocer las experiencias de otros países de América Latina y el Caribe es fundamental y los programas internacionales permiten algunos intercambios en este sentido. Se pueden concebir formas de incentivar los **intercambios de estudiantes universitarios/os a nivel del continente** mediante cursos y proyectos internacionales.

Por otro lado, se evidencia un desafío mayor en la docencia sobre riesgo relacionado con una forma más amplia de enseñar problemas complejos vía la multi-, inter- y transdisciplina. La principal forma de docencia practicada corresponde a una multidisciplina que se logra mediante la composición de las/os participantes, el diseño de los cursos y los trabajos en grupos. Sin embargo, la diversidad de conocimientos previos dificulta el proceso de aprendizaje a la vez que hace falta una integración interdisciplinaria que permita ir más allá de una presentación sucesiva de diversos temas y enfoques. Una forma de avanzar en la reflexividad y mejoramiento de estas prácticas serían **formaciones específicas sobre enfoques y metodologías inter y transdisciplinarias para docentes y estudiantes**, al fortalecer la capacidad de generar y participar en ámbitos pedagógicos multi, inter y transdisciplinarios que actualmente están aún poco o mal implementado.

Asimismo, otro desafío está vinculado con los deseos de obtener un conocimiento integral de un problema complejo a partir de un rango muy amplio de disciplinas, actoras/es y formas del saber. Esto se encuentra también en la complejidad de tener espacios formativos con personas de disciplinas muy diversas y querer aplicar temas técnicos de vanguardia. El principal desafío es el **equilibrio entre perspectivas amplias e integrales de conceptos y teorías complejas que necesitan un desarrollo teórico-conceptual para ser aplicadas por participantes provenientes de campos y áreas diferentes**, una forma es mediante metodologías que favorezcan la diversidad de participantes pero que también permitan detenerse en todos los contenidos.

La interdisciplina sigue siendo una innovación atractiva en la experiencia pedagógica pero con una escasa experiencia plenamente satisfactoria. Esto corrobora la necesidad de **mecanismos para incitar la colaboración inter y transdisciplinaria entre docentes, estudiantes, y pares** con formaciones adecuadas y espacios físicos, virtuales y horarios reservados para proyectos y actividades multi, inter y transdisciplinaria, con el fin de estimular trabajos en grupos, intercambios y la generación de redes. Tener evaluaciones por pares enfocadas a mejorar la práctica docente interdisciplinaria e instancias reflexivas con las/os estudiantes para tener una **retroalimentación permanente sobre la metodología y la práctica interdisciplinaria** sería una medida útil en este sentido.

Entre las limitaciones de las propuestas interdisciplinarias actuales se encuentran desafíos en las presentaciones de docentes con tecnicismos que resultan ajenos a las/os estudiantes de otras disciplinas, generando un desinterés por la temática o una percepción de exclusión. **La actitud reflexiva y crítica, así como el cuestionamiento sobre el lenguaje utilizado y la distribución de la palabra en los espacios académicos, las instancias de discusión y escucha para una retroalimentación** son fundamentales para eliminar estas barreras que impiden lograr un conocimiento más integral sobre el riesgo.

Finalmente, la docencia sobre riesgo debe entenderse como un proceso activo que provoca preguntas y reflexiones sobre las formas de entender y actuar. Esto implica que podamos cuestionarnos nuestras prácticas y aventurarnos en posibles caminos alternativos. Por lo tanto, vale la pena cuestionarse cómo asegurar un diseño de cursos que sea pertinente, con evaluaciones (auto)críticas y una retroalimentación constante. El enfoque multi, inter y transdisciplinario en la docencia exige mirar el funcionamiento interno de los espacios académicos como punto de partida, pues no es viable llevar a cabo una práctica cuando no se comprende de qué se trata y qué implica para las/os participantes. Asimismo, las experiencias pasadas y actuales permiten nutrir una reflexión para todas/os quienes participamos en los procesos de conocimiento acerca de la reducción del riesgo con el fin de construir sociedades más seguras, conscientes y reflexivas.

Bibliografía

- Aldunce, P., Araya, D., Sapiain, R., Ramos, I., Lillo, G., Urquiza, A., y Garreaud, R. (2017). Local perception of drought impacts in a changing climate: The mega-drought in central Chile. *Sustainability*, 9, 2053. <https://doi.org/10.3390/su9112053>
- Arteaga Cuyubamba, R. M. (2019). *Influencia de la asignatura "Gestión de riesgo y desastres" en la formación profesional de los estudiantes en la Facultad de Ciencias de la Educación y Humanidades de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, 2018*. Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica. <https://hdl.handle.net/20.500.13028/3281>
- Campos, J., Castro, C. P., Garay, R. M., Marin, J., y Tapia, R. (2018, octubre). *Desarrollando docencia inter- y transdisciplinarias de pregrado: lecciones aprendidas del CFG sobre*

- riesgo de desastres* [Cartel]. Congreso Internacional de Orientación para el Aprendizaje en Educación Superior, Santiago, Chile.
- Camus, P., Arenas, F., Lagos, M., y Romero A. (2016). Visión histórica de la respuesta a las amenazas naturales en Chile y oportunidades de gestión del riesgo de desastre. *Revista de Geografía Norte Grande*, 69, 9-20. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022016000200002>
- Castro, C. P., Sarmiento, J. P., Edwards, R., Hoberman, G., y Wyndham, K. (2017). Disaster risk perception in urban contexts and for people with disabilities: case study on the city of Iquique (Chile). *Natural Hazards*, 86, 411-436. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2698-x>
- Cortés Oggero, J., Marín Ríos, J., Campos Muñoz, J., y Aliste Almuna, E. (2020). Riesgos siconaturales: Una discusión interdisciplinaria sobre el rol de la ciencia, la tecnología y el derecho en periodos de crisis. *Cuadernos de Beauchef*, 4, 17-38. <https://revistasdex.uchile.cl/index.php/cdb/article/view/3234/3179>
- Cuevas, V., y Flores C. (2020). Capacidad del Estado ante desastres siconaturales: 27F en la retina de Chile. *Revista Estado, Gobierno y Gestión Pública*, 34, 43-66. <https://revistaeggp.uchile.cl/index.php/REGP/article/view/58706>
- Han, Ch. (2008). *Doing qualitative research using your computer [Hacer investigación cualitativa usando su computadora]*. Sage. <https://doi.org/10.4135/9780857024411>
- Inzulza Contardo, J., Curihuinca Curihuinca, M., Easton Vargas, G., y Pérez Tello, S. (2022). Revelando el riesgo sísmico en el piedemonte de Santiago, Chile: Análisis multicriterio para la determinación de vulnerabilidad en la Falla San Ramón (FSR). *Revista de Geografía Norte Grande*, (81), 331-359. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022022000100331>
- Jara Ruiz, M. (2019). Antropoceno, psicología, salud y vulnerabilidad. *Revista Liminales: Escritos sobre Psicología y Sociedad*, 8(15), 29-43. <https://doi.org/10.54255/lim.vol8.num15.369>
- Marín, J., Cortés, J., Aliste, E., y Campos, J. (2020). Scientific controversy as a disaster risk factor: The 2007 seismic crisis in Patagonia, Chile. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 49, 101639. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101639>
- Ministerio del Interior y Seguridad Pública. (2020). Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres. Plan Estratégico Nacional 2020-2030. <https://bibliogrdsenapred.gob.cl/handle/123456789/4110>
- Morales, B., y Muñoz, C. (2021). *Manual de interdisciplina*. <https://www.cr2.cl/manual-de-interdisciplina-cr2/>
- Naciones Unidas. (2011). *La gestión del riesgo en el ámbito educativo*. https://www.eird.org/esp/revista/no_17_2010/art14.html
- . (2015). *Marco de Sendai para la reducción del riesgo de desastres 2015-2030*. <https://www.undrr.org/es/implementing-sendai-framework/what-sendai-framework>
- Rinaldi, A., y Bergamini, K. (2020). Inclusión de aprendizajes en torno a la gestión de riesgo de desastres naturales en instrumentos de planificación territorial (2005-2015). *Revista de Geografía Norte Grande*, (75), 103-130. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022020000100103>

- Riveros, P., Meriño, J., y Crespo, F. (2020). *Las diferencias entre el trabajo multidisciplinario, interdisciplinario y transdisciplinario*. <https://libros.uchile.cl/files/presses/1/monographs/1098/submission/proof/index.html>
- Romero, H. (2014). Vulnerabilidad, resiliencia y ordenamiento territorial de los desastres siconaturales en Chile. *Polígonos: Revista de Geografía*, 26, 87-110. <https://doi.org/10.18002/pol.v0i26.1700>
- Urquiza, A., Billi, M., Amigo, C., Faúndez, V., Ignacio Neira, C., Henríquez, A., y Sánchez, D. (2019). *Transdisciplinariedad en la Universidad de Chile: Conceptos, barreras y desafíos*. <https://uchile.cl/dam/jcr:9a2f6ff8-c82b-42c3-b4f3-d788ac117c25/documento-transdisciplina-en-la-universidad-de-chile.pdf>

Anexo

Tabla 1A. *Pautas de preguntas*

<i>Instrumento</i>	<i>Preguntas</i>
Encuesta para docentes CFG	<ol style="list-style-type: none"> 1. Nombre y apellido 2. Facultad 3. Departamento y/o unidad 4. ¿En qué año participaste en el CFG? 5. ¿Cómo fue tu experiencia en la participación en el CFG, desde su etapa de concepción hasta su realización? 6. ¿Cuál es la contribución que tu disciplina puede realizar a la producción de conocimiento sobre riesgo de desastres? 7. ¿Qué tema/s abordaste en el CFG dictado? 8. Metodológicamente, ¿de qué manera comunicaste tus conocimientos a las/os estudiantes? 9. ¿Consideras que la dinámica del CFG fue la adecuada para lograr una enseñanza inter y/o transdisciplinaria? ¿Por qué? 10. ¿De qué manera crees que el CFG dictado ha contribuido al desarrollo de habilidades y conocimientos transversales en las/os estudiantes? 11. ¿Consideras que el curso contribuyó a generar una mirada más crítica y/o reflexiva sobre el riesgo de desastres como una problemática social que es necesaria abordar de manera inter y transdisciplinaria? ¿Por qué? 12. ¿Qué recomendaciones harías para futuras versiones de cursos transversales sobre riesgo de desastres en la Universidad de Chile? ¿Y en países de Latinoamérica y el Caribe? 13. ¿Participas o has participado de otros cursos relativos a riesgo de desastres desde enfoques inter o transdisciplinarios? ¿Cuáles? 14. ¿Has encontrado alguna dificultad en la integración de enfoques inter y/o transdisciplinarios en tus cursos? ¿Cuáles y cómo has intentado superarlas? 15. ¿De qué manera te mantienes actualizada/o sobre la producción de conocimiento (enfoques, saberes y prácticas) sobre riesgo de desastres? ¿Qué recursos utilizas para mantener tu enseñanza actualizada? 16. ¿Tienes referencias o ejemplos de enseñanza relativa a riesgo de desastres que te parezcan pertinentes de replicar y/o analizar? ¿Cuáles? 17. ¿Hay aspectos específicos en la enseñanza sobre riesgo de desastres que consideres que se necesitan mejorar? ¿Cuáles? 18. ¿Crees necesario realizar nuevas versiones de cursos inter o transdisciplinarios sobre riesgo de desastres? ¿Estarías interesada/o y dispuesta/o a participar en próximas ediciones? 19. ¿Tienes algún otro comentario, sugerencia u opinión con respecto al curso que te gustaría hacernos llegar?
Encuesta para estudiantes CFG	<ol style="list-style-type: none"> 1. Versión del CFG que cursaste 2. ¿Qué carrera estabas cursando al momento de realizar el CFG, en qué Facultad/ Unidad y en qué semestre te encontrabas? 3. ¿Cuáles fueron tus motivaciones para elegir el CFG? 4. ¿Cuáles son los principales conocimientos y habilidades que adquiriste a través del CFG? 5. ¿Consideras que el curso abordó adecuadamente todos los aspectos relevantes del riesgo de desastres? 6. ¿Qué aspectos te hubiera gustado que incluyera? (Justifique su respuesta a la pregunta 5) 7. ¿Has podido llevar a la práctica los contenidos y habilidades adquiridas en el CFG en tu formación y/o ejercicio profesional? ¿De qué manera?

Encuesta para estudiantes CFG	<p>8. ¿Habías tenido experiencias previas al CFG de clases o instancias de carácter multi, inter y/o transdisciplinarios? ¿Cuáles?</p> <p>9. ¿Consideras que la dinámica del curso fue adecuada para lograr un aprendizaje multi, inter o transdisciplinario? ¿Por qué?</p> <p>10. ¿Qué disciplinas estimas que aportaron más a tu aprendizaje en el CFG?</p> <p>11. ¿De qué manera la multi, inter y transdisciplinarietàad del curso aportó o dificultó tu aprendizaje sobre riesgo de desastres?</p> <p>12. ¿Qué recomendaciones harías para futuras versiones del curso en el que participaste? (tipos de evaluaciones, dinámicas participativas en clases, enfoque inter/transdisciplinario, manera de exponer los contenidos, agregar nuevas perspectivas)</p> <p>13. ¿Has seguido ligado/a/e al tema de los riesgos y desastres siconaturales? ¿De qué manera?</p> <p>14. ¿Tienes algún otro comentario, sugerencia u opinión con respecto al curso que te gustaría hacernos llegar?</p>
Encuesta para docentes del diplomado	<p>1. Nombre y apellido</p> <p>2. Facultad(es)</p> <p>3. Departamento(s) o unidad(es) académica(s)</p> <p>4. ¿En qué año participaste del Diplomado?</p> <p>5. ¿En qué módulo/s se integraron tus clases?</p> <p>6. ¿Cuál fue tu participación del diploma, desde su etapa de concepción hasta su realización?</p> <p>7. ¿Cuál es la contribución que tu disciplina puede realizar a la producción de conocimiento sobre riesgo de desastres?</p> <p>8. ¿Qué tema(s) abordaste en el diplomado dictado? ¿Realizaste alguna variación de contenido(s) en las diferentes ediciones del diplomado? ¿Por qué?</p> <p>9. Metodológicamente, ¿de qué manera comunicaste tus conocimientos a las/os estudiantes?</p> <p>10. ¿Consideras que la dinámica del curso fue adecuada para lograr una enseñanza de carácter inter y/o transdisciplinaria? ¿Por qué?</p> <p>11. ¿De qué manera crees que el curso dictado ha contribuido al desarrollo de habilidades y conocimientos transversales en las/os estudiantes?</p> <p>12. ¿Consideras que el curso contribuyó a generar una especialización y formación continua a profesionales de países de Latinoamérica y el Caribe? ¿Por qué?</p> <p>13. Desde tu participación en el diplomado, ¿has establecido vínculos y/o proyectos con miembros del equipo docente y/o con estudiantes?</p> <p>14. Si tu respuesta anterior fue "Sí": ¿Qué vínculos y/o proyectos has realizado?</p> <p>15. ¿Qué recomendaciones harías para futuras versiones de cursos de especialización y formación continua en países de Latinoamérica y el Caribe?</p> <p>16. ¿Participas o has participado de otros cursos relativos a riesgo de desastres desde enfoques inter o transdisciplinarios? ¿Cuáles?</p> <p>17. ¿Has encontrado alguna dificultad en la integración de enfoques inter y/o transdisciplinarios en los cursos que has dictado? ¿Cuáles y cómo has intentado superarlas?</p> <p>18. ¿De qué manera te mantienes actualizada/o en la producción de conocimiento (enfoques, saberes y prácticas) sobre riesgo de desastres? ¿Qué recursos utilizas para ello?</p> <p>19. ¿Tienes referencias o ejemplos de enseñanza relativa a riesgo de desastres que te parezcan pertinentes de replicar y/o analizar? ¿Cuáles?</p> <p>20. ¿Hay algún aspecto sobre la enseñanza en riesgo de desastres que consideres que se necesita mejorar en Chile y/o en países de Latinoamérica y el Caribe? ¿Cuáles?</p> <p>21. ¿Tienes algún otro comentario, sugerencia u opinión con respecto al curso que te gustaría hacernos llegar?</p>

Encuesta para
estudiantes del
diplomado

1. Ciudad y país de residencia
 3. Ocupación laboral
 4. Institución
 4. Formación de origen
 5. Indique el último nivel de estudios alcanzado antes de aprobar el diplomado
 6. ¿Cómo te enteraste del Diplomado?
 7. ¿Cuáles fueron tus principales motivaciones para realizar el diplomado de postítulo?
 8. ¿Cuáles eran tus expectativas de aprendizaje al momento de decidir realizar el curso?
¿De qué manera estas fueron cumplidas por el diplomado?
 9. ¿Cuáles fueron las principales dificultades que tuviste al cursar el diplomado y cómo crees que podrían superarse?
 10. ¿Consideras que la dinámica de la formación fue adecuada para lograr un aprendizaje inter y transdisciplinario? ¿Por qué?
 11. ¿Consideras que la interacción y enseñanzas entre distintos estudiantes y docentes de diversas disciplinas en el curso contribuyó a tu conocimiento y comprensión sobre la gestión del riesgo de desastres? ¿Por qué?
 12. ¿De qué manera has podido llevar a la práctica los contenidos del curso en tu ejercicio profesional?
 13. ¿De qué manera el diplomado ha influido en tu capacidad para abordar los desafíos y problemas relacionados con la gestión de riesgo de desastres en tu contexto profesional?
 14. ¿Has establecido vínculos y/o proyectos con miembros del equipo docente o con estudiantes de tu cohorte? ¿Cómo se expresan estos vínculos y/o proyectos?
 15. ¿Consideras que la dinámica del curso posibilitó la formación de una red de profesionales latinoamericanos/as en torno a la gestión del riesgo de desastres? ¿Por qué?
 16. ¿Consideras que el diplomado ha abordado adecuadamente los desafíos que presenta la gestión del riesgo de desastres en diferentes países de LAC? ¿Por qué?
 17. ¿Qué recomendaciones harías para futuras versiones del curso? (tipos de evaluaciones, dinámicas participativas en clases, enfoque inter/transdisciplinario, manera de exponer los contenidos, agregar nuevas perspectivas)
 18. ¿Tienes algún otro comentario, sugerencia u opinión con respecto al curso que te gustaría hacernos llegar?
-

Sobre los autores

Rosalía Chávez Alvarado

Es doctora en Filosofía con orientación en asuntos urbanos por la Universidad Autónoma del estado de Nuevo León. Actualmente Investigadora por México Conahcyt adscrita a la Universidad Autónoma del estado de Quintana Roo. Participa activamente en la REDESCLim de Conahcyt, y en la red iberoamericana RIFOREDEx mediante congresos, seminarios y publicaciones. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores, nivel I. Sus líneas de investigación son: Gestión del riesgo de desastre ante inundaciones, vulnerabilidad social, resiliencia comunitaria ante inundaciones y envejecimiento y cambio climático.

Las publicaciones más recientes en coautoría son “Vulnerabilidad social ante inundaciones pluviales en tres comunidades rurales mayas de Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo, México” en la revista *Sociedad y Ambiente*, 26, 1-32. <https://doi.org/10.31840/sya.vi26.2746> (2023); autora del capítulo “Los adultos mayores y su capacidad de adaptación al cambio climático” en libro *El envejecimiento en Iberoamérica. Contribuciones multidisciplinarias para los profesionales en gerontología*. Editorial de la Universidad Nacional de Tres de Febrero. Argentina (2023) y co-coordinadora del libro *Estrategias para la gestión del riesgo ante desastres por huracanes e inundaciones en ciudades del Caribe mexicano: Chetumal, Tulum y Playa del Carmen* (AM Editores, 2022).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3468-9283>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57192701301>

Yered Gybram Canchola Pantoja

Licenciado en Geografía por la Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex) con posgrado de Especialidad en el Mejoramiento de la Función Pública por el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente (ITESO), con Maestría en Gestión y Auditoría Ambiental por la Universidad Politécnica de Cataluña, España y la Fundación Iberoamericana Universitaria (FUNIBER-CEPES), Doctor en Ciencias Ambientales por la UAEMex, grado obtenido con Mención Honorífica, Posdoctorado en el Department of Geography and Environmental Studies Texas State University año 2023; Diplomados internacionales ONU-FAO-FODEPAL en Instrumentos Económicos-Políticas Ambientales y Desarrollo Local; Desarrollo de Proyectos Estratégicos por el BID así como preparación y evaluación de proyectos socioeconómicos por el ITESO-Gobierno de Jalisco, actualmente reconocido con el Perfil Deseable PRODEP-SEP y miembro del Sistema Nacional de Investigadores Conahcyt (SNII) Nivel I.

En la práctica profesional se ha especializado en la investigación geográfica aplicada, estudios de riesgos en distintos contextos, manejo integral del territorio y su entorno, elaboración de estudios de ordenamiento territorial, gestión medioambiental integral sustentable, diseño e implementación de políticas públicas, planeación estratégica aplicada, identificación, preparación, costeo y evaluación de proyectos de alto impacto, gestión de Instrumentos económicos para el impulso de proyectos, experiencia en estudios geoespaciales mediante la percepción remota y geomática, manejo y gestión de recursos naturales, investigación geológica-paisajista para la formulación de modelos y algoritmos ambientales, diseño y aplicación de geotecnologías para la resolución de conflictos geoambientales; cuenta con 18 publicaciones en revistas indexadas, así como la participación como ponente en diversos eventos de carácter nacional e internacional, actualmente Profesor-Investigador de Tiempo Completo Definitivo en la Facultad de Geografía Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex), académico en el Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra (LANOT), y del Laboratorio Nacional del Conahcyt de Tecnologías de la Información Geoespacial para los Sistemas Socioecológicos Resilientes (LaNCTIGeSSR). Funge como Presidente de la Red Internacional de Investigadores de Paisaje y Territorio, así como Presidente del Área de Docencia de Ciencias de la Tierra, Miembro del Comité Editorial y Responsable del Departamento de Prácticas de Campo.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8153-1203>

RESEARCHGATE: https://www.researchgate.net/profile/Yered_Canchola2

GOOGLE SCHOLAR: <https://scholar.google.es/citations?user=nMqls8kAAAAAJ&hl=es>

Luis Miguel Espinosa Rodríguez

Licenciado, maestro y doctor en Geografía por la Universidad Nacional Autónoma de México. Es profesor de carrera de tiempo completo en la Facultad de Geografía Universidad Autónoma del Estado de México. Perteneció al cuerpo académico de análisis geográfico regional; así como a las redes internacionales de investigación: Paisaje, territorio y geotecnologías; y a la de Territorios, Sustentabilidad y Gobernanza en México y Polonia.

En la Facultad de Geografía de la UAEMex ha ocupado los cargos de coordinador de la Licenciatura en Geografía, coordinador de Planeación y Desarrollo, coordinador de Extensión y Vinculación, jefe del Departamento de Servicio Social, responsable del Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9000-2001, coordinador de Cooperación Internacional, la jefatura del Área Académica de Ciencias de la Tierra, y coordinador del programa de Doctorado en Geografía y Desarrollo Geotecnológico.

Fue presidente de la Sociedad Mexicana de Geomorfología en el periodo comprendido de diciembre de 2016 a diciembre de 2021.

Ha realizado estancias académicas posdoctorales en el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México; en la Escuela Nacional de Educación Superior (ENES) de la UNAM campus Morelia en Michoacán; en la División de Estudios Históricos y Humanos del Departamento de Geografía y Ordenamiento Territorial del Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades de la Universidad de Guadalajara y en el Instituto Interuniversitario de Geografía de la Universidad de Alicante en España.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9545-400X>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221983231>

Francisco Zepeda Mondragón

Licenciado en Ciencias Geoinformáticas con especialidad en Cartografía Automatizada, Teledetección y Sistemas de Información Geográfica. Cuenta con Maes-

tría y Doctorado en Ciencias del Agua por la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex). Desde el 14 de mayo de 2021 se desempeña como secretario de Extensión y Vinculación de la UAEMex, institución donde también ha ocupado cargos como jefe del Departamento de Videoconferencias y Multimedia, de la Dirección de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (DTIC) (2012-2014) y director de la Facultad de Geografía (2016-2020).

Destaca su labor como gestor y líder para la instalación del Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra (LANOT) en la UAEMex, en participación conjunta con la UNAM, y con registro ante el Conacyt. Asimismo, es el responsable técnico y principal proponente para la creación y exitoso registro del Laboratorio Nacional Conahcyt de Tecnologías de la Información Geoespacial para los Sistemas Socioecológicos Resilientes (LaNCTIGeSSR) en diciembre de 2023.

Fue galardonado con la presea Estado de México 2023 en la modalidad de Preservación del Ambiente y la Sostenibilidad de los Recursos Naturales “José Mariano Mociño Suárez” por sus investigaciones sobre el cambio de uso del suelo y la cubierta vegetal, el monitoreo de océanos y la atmósfera, las geo-tecnologías en el manejo sustentable del medio ambiente y el fomento del cultivo agroecológico del agave.

Es candidato del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) y profesor de tiempo completo. Cuenta con casi 17 años de experiencia docente en los que ha asesorado más de 20 proyectos de investigación de nivel licenciatura, maestría y especialidad. Asimismo, ha fungido como organizador, ponente y moderador en eventos nacionales e internacionales.

Además, es coautor de libros y artículos especializados en temas de ordenación territorial y planeación integral, crecimiento urbano, aptitud forestal, análisis de riesgos, entre otros.

Acredita más de 30 cursos de actualización en áreas afines a su formación.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3297-7580>

GOOGLE SCHOLAR: <https://scholar.google.es/citations?user=69yWuXUAAAAAJ&hl=es>

Marjorie Isabel Toruño Álvarez

Egresada de la Maestría en Gestión Integral del Riegos de Desastres de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua). Obtuvo

una especialización en Evaluación y Gestión de Riesgos Geológicos y relacionados al clima por Universidad de Ginebra (Suiza) y la ingeniería de Sistemas en la Universidad Nacional de Ingeniería (Nicaragua). Se ha desempeñado con docente investigador en el Instituto de Geología y Geofísica de la UNAN-Managua (IGG-CIGEO/UNAN-Managua). En la actualidad es responsable del área de Sistemas de Información Geográfica y Sensores Remotos en el IGG y además es coordinadora del proceso clave de investigación y representa a este instituto ante la comisión de Investigación e Innovación de la UNAN-Managua. Es parte de la Red Iberoamericana para la Formación de Comunidades Resilientes ante Riesgos y Desastres por Eventos Naturales Extremos (RIFOREDEX). Ha participado como coautor en investigaciones relacionados a la Gestión de Riesgos de Desastres: “Análisis de riesgos posdesastres Eta e Iota en la región autónoma del Caribe Norte, Nicaragua” (2021) y “Hydrogeology of the Central American dry corridor: Insights for improving preparedness and resilience to hydroclimatic extremes” (2022). En la actualidad lleva a cabo la Evaluación de la Resiliencia comunitaria ante Desastres en comunidades del Corredor Seco de Nicaragua, entre otras investigaciones de relevancia nacional.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5230-0134>

Ingrid Elizabeth Úbeda Trujillo

Estudiante de doctorado en Gestión de la Sequía en el Institute for Water Education and Delft University of Technology (IHE) en Holanda. Obtuvo la maestría en Gestión Ambiental en la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua). La licenciatura en Geografía en la UNAN-Managua (Nicaragua). Se ha desempeñado como docente investigador en la carrera de Geografía en la UNAN-Managua. Entre sus publicaciones más recientes están:

Úbeda Trujillo, I. y Rocha, L. (2020). Dinámica de coberturas de la tierra en la subcuenca III de la cuenca Sur del lago de Managua, Nicaragua. *Revista Torreón Universitario*, 9(25), 110-128.

Úbeda Trujillo, I. y Rocha, L. (2021). Escorrentía superficial y acciones participativas para la gestión ambiental en la subcuenca III de la cuenca Sur del lago de Managua, Nicaragua. *Revista Torreón Universitario*, 10(27), 108-118.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1349-4682>

Fredy Alexander Bolívar Gómez

Ingeniero Catastral y Geodesta especialista en Gerencia de Proyectos y estudiante de maestría en Teledetección. Con más de diez años de experiencia laboral, se ha destacado en áreas especializadas como la Geodesia y Topografía, así como en el teledeteccion, incluyendo el uso de tecnologías como LiDAR y Fotogrametría Digital, y en el manejo de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Ha desempeñado roles clave como Coordinador de trabajos geodésicos y topográficos en Colombia, Chile y Perú, liderando proyectos de gran envergadura, incluyendo proyectos lineales de más de 900 km. Su experiencia abarca la gestión integral de proyectos, desde la planificación hasta la entrega final, asegurando procesos de calidad mediante la estructuración y generación de documentos rectores en cuanto a la captura, procesamiento y entrega de Información Geográfica.

Además, ejerce como CEO en Cuatro Conceptos SAS, una empresa de consultoría donde lidera y dirige estratégicamente proyectos geoespaciales de alta complejidad. Su sólida formación académica y su amplia experiencia en el campo lo convierten en un profesional altamente calificado y comprometido con la excelencia en su trabajo.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2603-0219>

Tobías Leyva Pinto

Geógrafo con una sólida experiencia en la caracterización geomorfológica e hidrogeológica del territorio, así como en el uso avanzado de sensores remotos, incluyendo sistemas ópticos, láser y radar. Posee un título de Magíster en Ciencias Geológicas y actualmente se encuentra realizando estudios de doctorado en Geografía en la Universidad Nacional de Colombia.

Con más de quince años de experiencia en el campo del modelamiento geoespacial, ha liderado proyectos de morfodinámica de ríos, suelos, así como análisis en bosques y corredores viales. Su experiencia incluye el desarrollo de Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA), la localización de infraestructura crítica y el análisis multitemporal de ríos, así como análisis geomorfológicos detallados, vulnerabilidad de acuíferos y análisis de riesgo.

Asimismo, cuenta con experiencia como docente universitario en temas de geografía física y geomodelamiento espacial, contribuyendo al desarrollo académico y la formación de nuevas generaciones de profesionales en su campo de es-

pecialización. Actualmente se desempeña como Coordinador de ordenamiento y gestión territorial en Cuatro Conceptos SAS.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4503-0230>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=58125715400>

Héctor Mauricio Ramírez Daza

Ingeniero Forestal con Maestría en geografía y con una amplia trayectoria en el desarrollo de proyectos de investigación aplicada en Observación de la Tierra y dirección de proyectos de ingeniería para la implementación de políticas públicas de desarrollo territorial. Especializado en la dirección de proyectos de conservación y monitoreo ambiental, así como en el análisis de cobertura y uso del suelo mediante metodología CORINE Land Cover. Cuenta con una experiencia destacada en la fragmentación y restauración del paisaje para el ordenamiento ambiental.

Asimismo, posee habilidades y conocimientos en la identificación y monitoreo de minería a cielo abierto, así como en el diseño, desarrollo e implementación de proyectos de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Ha participado activamente en el componente de diseño y producción de datos cartográficos para catastro multipropósito, en consonancia con la adopción del modelo LADM-COL (ISO 19152).

Su enfoque interdisciplinario y su capacidad para integrar diversas metodologías y tecnologías le han permitido desempeñarse con éxito en proyectos de gran envergadura, contribuyendo de manera significativa al desarrollo sostenible y la gestión ambiental efectiva, actualmente se desempeña como director de proyectos en Cuatro Conceptos S.A.S.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1672-4076>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57195258259>

Pablo Bayón Martínez

Doctor en Ciencias Geográficas; máster en Geografía, Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial. Licenciado en Educación, con especialidad en Geografía (1982). Profesor e Investigador Titular de la facultad de Geografía de la Universidad de La Habana. Miembro de la Red Observatorio de Resiliencia ante el riesgo por inundaciones en Quintana Roo (ORIQROO); de la Red de Desastres Asociados a Fenó-

menos Hidrometeorológicos y Climáticos (Redesclim-Conacyt) y de la Red Iberoamericana para la Formación de Comunidades Resilientes ante Riesgos y Desastres por Eventos Naturales Extremos (Riforedex). Miembro de número de la Sociedad Económica de Amigos del País (SEAP, Cuba) y del Comité de expertos del Programa Nacional de Cambio. Ha colaborado en proyectos internacionales, tales como el relacionado con el “Carácter geoestratégico de tres islas de México: Cedros, Carmen y Cozumel, desde la perspectiva de su territorio, población y economía” (PAPIIT-DGAP, Clave: IN300512) del Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, y el proyecto “Definición de Áreas locales Críticas Prioritarias por inundaciones Pluviales (ALCPIPs) en el Sector I de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo”, México. Su desempeño profesional abarca las áreas de geografía, medio ambiente y sociedad, educación geográfica, educación ambiental y estudios de riesgos y vulnerabilidad social. Sus principales publicaciones están relacionadas con la sociedad, la geografía y los riesgos, presentes en los siguientes enlaces: <https://doi.org/10.15359/rgac.1-56.5> ; <https://doi.org/10.15359/rgac.64-1.6>; <https://doi.org/10.46380/rias.v3i1.71>.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5934-4137>

RESEARCHGATE: <https://www.researchgate.net/profile/Pablo-Bayon-Martinez>

GOOGLE SCHOLAR: <https://scholar.google.com/citations?user=GStlAz0AAAA-J&hl=es&oi=ao>

WEB OF SCIENCE: <https://www.webofscience.com/wos/author/record/JYO-3744-2024>

Rafael Bosque Suárez

Doctor en Ciencias Pedagógicas. Diplomado en Educación Ambiental. Licenciado en Educación en la especialidad de Geografía. Profesor Titular de la Universidad de Ciencias Pedagógicas Enrique José Varona (UCPEJV), miembro del Centro de Estudios de Educación Ambiental-GEA (CEEA-GEA). Director del CEEA-GEA desde el 2002-2023. Miembro de varias redes nacionales e internacionales relacionadas con Educación Ambiental y Geografía, además, árbitro en revistas nacionales e internacionales. Se ha desempeñado como coordinador y colaborador en varios proyectos de investigación. Miembro del Tribunal Permanente de Grados Científicos de Ciencias Pedagógicas (2004-2022), del Consejo Científico Universitario y del Comité de Doctorado en Educación de la universidad, de la Comisión

Nacional de Planes de Estudios y Programas por Educación Ambiental y Geografía, de las sociedades: Pedagógica y Geográfica. Autor y coautor de varios libros y artículos relacionados con la enseñanza de la Geografía de Cuba y la Educación Ambiental.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1676-270X>

Edgar Antonio Marinero Orantes

Doctor en Educación Superior por la Facultad Multidisciplinaria de Occidente de la Universidad de El Salvador y la Universidad de la Habana, Cuba. Obtuvo la maestría en Gestión Integral del Recurso Hídrico en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

Se ha desempeñado como secretario de Facultad, Coordinador de la Unidad de Investigación de Facultad, integrante de la Secretaría de Investigación de la Universidad de El Salvador, Coordinador y creador del Centro de Investigaciones Ambientales, de la Facultad Multidisciplinaria Paracentral de la Universidad de El Salvador, Miembro del Comité Científico de la Comisión Departamental y Municipal de Gestión de Riesgos de San Vicente, El Salvador Centroamérica, miembro del Grupo de Investigación Vulcanológica de la Universidad de El Salvador, representante de País de la Red Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático. En la actualidad representante de País de la Red Iberoamericana para la Formación de Comunidades Resilientes ante Riesgos y Desastres por Eventos Naturales Extremos (RIFOREDEX), jefe de la Unidad de Posgrado de la Facultad Multidisciplinaria Paracentral de la Universidad de El Salvador y Coordinador del Doctorado en Educación que se imparte en la Facultad Multidisciplinaria Paracentral de la Universidad de El Salvador.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3327-4553>

RESEARCHGATE: <https://www.researchgate.net/profile/Edgar-Marinero-Orantes>

GOOGLE SCHOLAR: <https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=69-LLI-QAAAAJ>

WEB OF SCIENCE: <https://www.webofscience.com/wos/author/record/AAZ-8570-2021>

ACADEMIA.EDU: <https://ues.academia.edu/EdgarAntonioMarineroOrantes>

Silvia Graciela Quiroga

Doctora, Licenciada y Profesora de Geografía, graduada de la Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina. ID ORCID: 0009-0007-7830-7167. Es Especialista en planificación, prevención y manejo de áreas propensas a desastre y preside la Red Argentina de Universidades Trabajando para la Reducción del Riesgo de Desastres. Asimismo, es directora de la Diplomatura de Posgrado en Reducción del Riesgo de Desastres, Políticas Públicas y Resiliencia, en la FFyL, UNCuyo y como investigadora, coordina el Centro de Estrategias Territoriales para el Mercosur, perteneciente al Instituto de Geografía de la mencionada Facultad. Posee experiencia en planificación y gestión territorial y ha realizado diversas publicaciones relacionadas a la temática de las políticas públicas, en especial sobre Ordenamiento Territorial y Gestión del Riesgo a Desastres. Entre las últimas destacan:

Quiroga, S. G. (2022). Prólogo (pp. 19-21); Red Argentina de Universidades Trabajando para la Reducción del Riesgo de Desastres (pp. 269-304). En S. Arito y L. Imbert (Comps.), *Miradas interdisciplinarias acerca de los desastres: Herramientas para su problematización*. EDUNER.

Quiroga, S. G., Pravatta, L., Bustamante, M., Méndez, G. y Reinoso, C. (2023). Resiliencia a escala local en tiempos de pandemia por COVID-19: Provincia de Mendoza, Argentina. *REDER*, 7(1), 44-60. <https://doi.org/10.55467/reder.v7i1.107>

Burgos, V., Quiroga, S. y Mussi Safie, L. (2023, junio). *Implementación de estrategias de conservación de corredores aluvionales y biológicos para reducir riesgo hídrico* [Ponencia]. XXVII Congreso Nacional del Agua, Conagua, Buenos Aires, Argentina.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7830-7167>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=58072315300>

Lucía Sol Pravatta Maggioni

Geógrafa profesional graduada por la Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina. Especializada en Sistemas de Información Geográfica y Procesamiento de imágenes satelitales con QGIS y completó su Diplomado en Gestión de Calidad en la Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Económicas. Actualmente cursa una Maestría en Estudios Urbanos en la Universidad General Sarmiento (Argentina).

Como miembro investigador del Centro de Estrategias Territoriales para el Mercosur (CETEM), Instituto de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Cuyo, participa en grupos de investigación sobre gestión integral de riesgo de desastres y colabora en otras líneas de investigación relacionadas con la gestión de datos de gobierno abierto.

Cuenta con experiencia en la gestión de políticas públicas referidas al ordenamiento territorial en los municipios de Ciudad de Mendoza y Tupungato, Mendoza, Argentina. Actualmente se encuentra como coordinadora de la Coordinación de Planeamiento y Presupuesto en la Dirección de Planificación, Investigación y Desarrollo del Instituto Geográfico Nacional, Argentina. Ha contribuido con publicaciones en la Revista Ojo del Cóndor, enfocadas en la cartografía participativa orientada a la Gestión de Riesgos de Desastres como herramienta para la educación y en la gestión de proyectos cartográficos sobre las Islas Malvinas y en el artículo “Resiliencia a escala local en tiempos de pandemia por COVID-19: Provincia de Mendoza, Argentina” (*REDER*, 7(1), 44-60, 2023. <https://doi.org/10.55467/reder.v7i1.107>).

Gustavo Javier Méndez

Geógrafo por la Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina. Con desarrollo profesional mayormente centrado en investigación y gestión en las áreas de Gestión de Riesgo de Desastres y la utilización de herramientas geomáticas en la gestión pública y el sector académico. Actualmente cursa la Diplomatura Universitaria en Geomática Aplicada (DUGA) del Instituto Mario Gulich (Universidad Nacional de Córdoba y Comisión Nacional de Actividades Espaciales [CONAE] de la República Argentina).

Miembro investigador del Centro de Estrategias Territoriales para el Mercosur (CETEM), Instituto de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Cuyo, participa en grupos de investigación sobre gestión integral de riesgo de desastres, ordenamiento territorial y colabora en investigaciones relacionadas con el análisis y procesamiento de herramientas geotecnológicas.

Actualmente se desempeña como cartógrafo y analista Gis en el departamento de Cartografía de la Dirección de Estadísticas e Investigaciones Económicas (DEIE) de la provincia de Mendoza.

En lo referido a publicaciones se destacan: “Resiliencia a escala local en tiem-

pos de pandemia por COVID-19: Provincia de Mendoza, Argentina” (*REDER*, 7(1), 44-60, 2023. <https://doi.org/10.55467/reder.v7i1.107>), y *Análisis de riesgos naturales a través del uso de geotecnologías en el piedemonte precordillerano y zonas circunvecinas* (Universidad Nacional de Cuyo, 2021).

Juliette Marin

Doctora en Territorio, Espacio y Sociedad por la Universidad de Chile-Doctora en ciencias de la sociedad de la École des Hautes Études en Sciences Sociales. MSc. en ingeniería civil de la Universidad de Tokio. E ingeniera civil por la Écoles des Ponts-ParisTech. Se desempeña como investigadora en el Programa Riesgo Sísmico, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile y es miembro del Programa de Reducción de Riesgo y Desastres de la Universidad de Chile (CITRID), donde realiza investigaciones sobre resiliencia urbana y territorial, riesgo de desastres, vulnerabilidad y patrimonio. Ha publicado “Le gouvernement des catastrophes socio-naturelles à Manizales et en Colombie saisi par les circuits de l’argent” (en È. Chiapello y A. Violle [Eds.], *Sociologie des circuits financiers : Les infrastructures de l’argent et leur politique*, 2024) y “Antes que sea demasiado tarde: Imaginarios de territorios rurales y urbanos en (las) crisis” (*Territorios*, 2024).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7356-1026>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57216893087>

Josefina del Pilar Carrasco Atenas

Socióloga por la Universidad de Chile (Chile). Actualmente es investigadora del Programa Riesgo Sísmico de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Además, es investigadora asociada del Núcleo Interdisciplinario de Investigación Evaluativa orientada a la Decisión Pública (NIIE-DP) de la misma casa de estudios.

Sus principales líneas de investigación son la gestión del riesgo, género, investigación evaluativa y políticas públicas.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1107-1680>

Kevin Albarrán Rebaza

Geógrafo por la Universidad de Chile (Chile). Se desempeña como investigador en el Programa Riesgo Sísmico, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, donde realiza investigaciones sobre sobre gestión del riesgo de desastres y estudios sobre la memoria y el patrimonio.

Ha publicado “Riesgo de desastres socionaturales y comunidad LGBTIQ+: Visibilización y propuestas para la inclusión de diversidades de género y sexualidades en las políticas territoriales de reducción de riesgo” (*Investigaciones Geográficas: Una Mirada desde el Sur*, 2023).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5765-7714>

*Gestión del riesgo de desastres en América
Latina y el Caribe. Experiencias, aprendizajes y
desafíos* de José Manuel Camacho Sanabria, Rosalía
Chávez Alvarado y Yered Gybram Canchola Pantoja

(coords.) publicado por Ediciones Comunicación Científica, S. A.
de C. V., se terminó de imprimir en diciembre de 2024, en Litográfica
Ingramex S.A. de C.V., Centeno 162-1, Granjas Esmeralda, 09810, Ciudad
de México. El tiraje fue de 50 ejemplares impresos y en versión digital para acceso
abierto en los formatos PDF, EPUB y HTML.

Este libro presenta una visión integral e innovadora sobre la 'gestión del riesgo de desastres' (GRD) en América Latina y el Caribe, centrándose en prácticas de planificación territorial, el uso de tecnologías geoespaciales y la creación de escenarios prospectivos para diseñar estrategias de prevención, mitigación y preparación ante desastres. Mediante estudios de caso en países como México, Nicaragua, Colombia, Cuba, El Salvador, Argentina y Chile, este trabajo documenta experiencias, metodologías y desafíos, resaltando la colaboración inter-institucional, la educación ambiental, la planificación territorial y los enfoques inter- y transdisciplinarios en la enseñanza y práctica de la GRD. Esta obra representa un esfuerzo colectivo de investigadores y profesionales que aportan conocimientos prácticos y teóricos al campo de la GRD, con el potencial de influir tanto en el ámbito académico como en la práctica profesional en la región. La diversidad de enfoques y contextos aquí reunidos ofrece una base sólida para futuras políticas e investigaciones, inspirando a los lectores a emprender nuevas acciones y colaboraciones en favor de comunidades más seguras y resilientes ante amenazas naturales.



Dimensions



DOI.ORG/10.5250/1/CC.218



José Manuel Camacho Sanabria es doctor en Ciencias Ambientales por la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex), investigador por México en la Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo, integrante del SNII del CONAHCYT (nivel I), miembro activo de las redes RIFOREDEX y REDESClim y coordinador del ORIQROO. Sus líneas de investigación son análisis espacial del territorio, gestión del riesgo de desastres y resiliencia, inundaciones pluviales urbanas.



Rosalía Chávez Alvarado es doctora en Filosofía con orientación en Asuntos Urbanos por la Universidad Autónoma del Estado de Nuevo León. Actualmente, es investigadora adscrita a la Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo. Es miembro del SNII del CONAHCYT (nivel I) y de las redes REDESClim, RIFOREDEX y ORIQROO. Sus líneas de investigación son gestión del riesgo de desastre ante inundaciones, vulnerabilidad social, resiliencia comunitaria ante inundaciones y envejecimiento y cambio climático.



Yered Gybram Canchola Pantoja es doctor en Ciencias Ambientales y cuenta con un posdoctorado en Geografía y Estudios Ambientales por la Universidad Estatal de Texas. Actualmente es profesor de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex) y es integrante del SNII del CONAHCYT (nivel I). Además, es presidente de la Red Internacional de Investigadores Paisaje y Territorio (PAITER), miembro activo de REDESClim y del ORIQROO. Sus líneas de investigación son ciencia del paisaje, gestión del riesgo y aplicación de geotecnologías.



**COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA** PUBLICACIONES
ARBITRADAS

HUMANIDADES, SOCIALES Y CIENCIAS
www.comunicacion-cientifica.com



ISBN: 978-607-2628-15-1
9 786072 628151