

Desafíos en la gestión integral del agua

ahorro, uso eficiente
y microcontaminantes

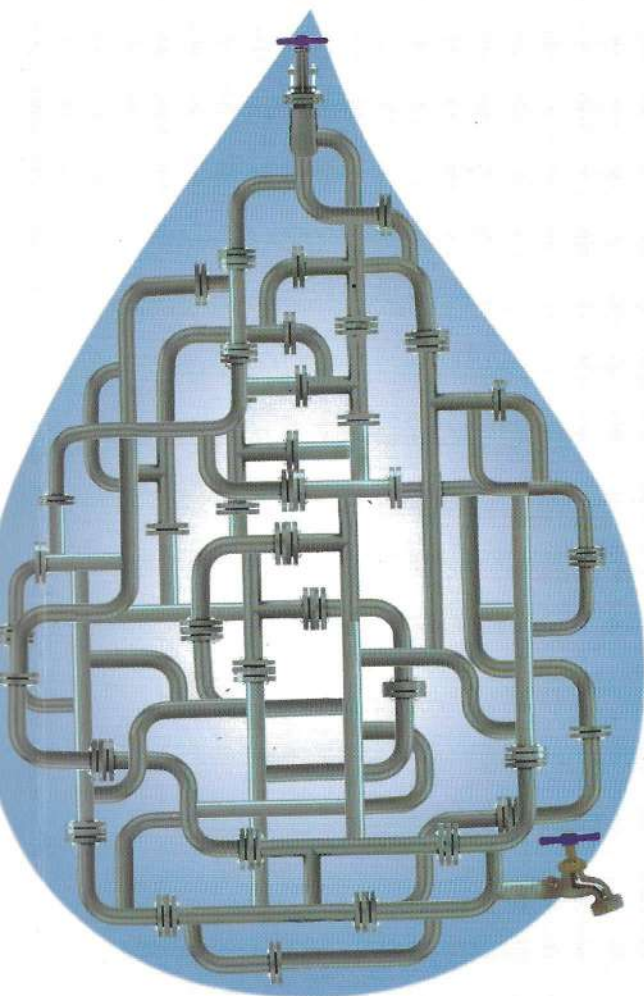
Diana Amparo Cardona Zea

Andrés Fernando Toro Vélez

Luis Darío Sánchez Torres

Jorge Latorre Montero

Compiladores



Programa  editorial

Cardona Zea, Diana Amparo.

Desafíos en la gestión integral del agua: ahorro, uso eficiente y microcontaminantes / Diana Amparo Cardona Zea [y otros]. -- Cali : Programa Editorial Universidad del Valle, 2018.

300 páginas ; 24 cm. -- (Colección Ingeniería - Investigación)

Incluye índice de contenido.

1. Agua 2. Utilización del agua 3. Conservación del agua.

I. Tít. II. Serie

333.91 cd 22 ed.

A1617138

CEP-Banco de la República-Biblioteca Luis Ángel Arango

Universidad del Valle Programa Editorial

Título: Desafíos en la gestión integral del agua: Ahorro, uso eficiente y microcontaminantes

Compiladores: *Diana Amparo Cardona Zea, Andrés Fernando Toro Vélez,
Luis Darío Sánchez Torres, Jorge Latorre Montero*

ISBN: 978-958-765-897-2

ISBN-PDF: 978-958-765-898-9

Colección: Libros de de investigación -Ingeniería

Primera edición

Rector de la Universidad del Valle: Edgar Varela Barrios

Vicerrector de Investigaciones: Jaime R. Cantera Kintz

Director del Programa Editorial: Omar J. Díaz Saldaña

© Universidad del Valle

© Los compiladores

Diseño y diagramación: Diana Lizeth Velasco D.

Corrección de estilo: G&G Editores

Este libro, salvo las excepciones previstas por la Ley, no puede ser reproducido por ningún medio sin previa autorización escrita por la Universidad del Valle.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión del autor y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad del Valle, ni genera responsabilidad frente a terceros. El autor es responsable del respeto a los derechos de autor del material contenido en la publicación (textos, fotografías, ilustraciones, tablas, etc.), razón por la cual la Universidad no puede asumir ninguna responsabilidad en caso de omisiones o errores.

Cali, Colombia, noviembre 2018.

CONTENIDO

Prefacio	13
----------------	----

PARTE I GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA URBANA

Capítulo 1

Factores de resiliencia que inciden en la gestión sostenible del agua urbana

Sergio Andrés Blanco-Londoño, Patricia Torres-Lozada, Alberto Galvis-Castaño 17

Capítulo 2

Simulación de la gestión urbana del agua en Cali, aplicando el modelo simba#/rapidplanning simulator

Olga A. Ramírez, Juan P. Silva, Manfred Schütze 27

Capítulo 3

Ocurrencia de contaminantes emergentes en el ciclo urbano del agua, caso Bogotá

Diego F. Bedoya-Ríos, Jaime A. Lara-Borrero, Andrés M. Enríquez-Hidalgo 49

PARTE II ESTRATEGIAS PARA LA GESTIÓN DEL USO EFICIENTE Y AHORRO DEL AGUA

Capítulo 4

Información de reanálisis y modelación hidrológica en la macrocuenca Magdalena-Cauca y sus aportes en los estudios nacionales y regionales del agua

Erasmus Rodríguez, Inés Sánchez, Nicolás Duque, Pedro Arboleda, Albeiro Figueroa, David Zamora, Camila García, Lorena Ríos y Micha Werner 65

Capítulo 5

Los techos verdes en la localidad de Chapinero, Bogotá, como un mecanismo para la amortiguación de inundaciones urbanas: caso de estudio Chapinero (Bogotá, Colombia)

Óscar Contreras, Paula A. Villegas 85

Capítulo 6

Estudio del consumo de agua potable en Bogotá y estrategias de ahorro en estratos socioeconómicos 1 y 2, luego del beneficio mínimo vital

Óscar Cortés-García, Edder A. Velandia-Durán 101

Capítulo 7

Experiencia en la formulación del programa para el uso eficiente y ahorro del agua - PUEAA del acueducto Frailes-Naranjales, Colombia

*Elkin E. Molina, Diana A. Cardona, Luis D. Sánchez,
Juan P. Gutiérrez y Diana C. Callejas* 115

Capítulo 8

La huella hídrica como herramienta para mejorar la eficiencia en el uso del agua: caso de estudio para el cultivo de trucha en Colombia

Isabel C. Hurtado, Mario A. Pérez-Rincón, Sergio Restrepo 135

Capítulo 9

Reúso de las aguas residuales en la agricultura: beneficios y riesgos

María F. Jaramillo, Inés Restrepo 149

PARTE III

PRESENCIA Y ANÁLISIS DE MICROCONTAMINANTES EN ECOSISTEMAS

Capítulo 10

Índice potencial de la contaminación difusa por agroquímicos en un socio-ecosistema Alto Andino

Tatiana Dávila-Martínez, Apolinar Figueroa-Casas, Miguel R. Peña-Varón 183

Capítulo 11

Residuos de glifosato y ampa en fuentes naturales de agua y límites normativos para valorar la contaminación en Colombia

*Irene Vélez-Torres, Luz E. Barba-Ho, Diana M. Hurtado,
Carlos J. Sousa-Passos y Julián Viveros* 195

Capítulo 12

Efecto de la contaminación del río Cauca en el estado sanitario de *Pimelodus Grosskopfii*

Jorge López-Macías, Efraín Rubio-Rincón 213

Capítulo 13

Estudio exploratorio de analgésicos y anti-inflamatorios en el río Cauca, tramo:
Puente del Hormiguero-Puente del Paso del Comercio

*Cristian L. Barrios, Juan F. Hernández, Carlos A. Madera,
Eliana M. Jiménez y Andrés F. Toro* 227

Capítulo 14

Estudio exploratorio de la presencia de microcontaminantes en la PTAP de Puerto
Mallarino y su ocurrencia en la red de distribución (Cali-Colombia)

*Sandra P. Calvache-Morales, Alejandra Chacón-Aguirre, Daniel Hurtado-Ospina,
Cecilia Quintero-Meléndez, Carlos A. Madera-Parra, Eliana M. Jiménez-Bambagüé
y Andrés F. Toro-Vélez* 243

Capítulo 15

Análisis de fármacos con microextracción con barra
de disolvente a partir de aguas residuales

Diana Castillo-Gómez, Milton Rosero-Moreano, Ricardo Torres-Palma, Diego Montaña . 261

PARTE IV

ESTRATEGIAS Y ALTERNATIVAS PARA MITIGAR LOS EFECTOS DE LOS MICROCONTAMINANTES EN LA SALUD HUMANA Y DE LOS ECOSISTEMAS

Capítulo 16

Remoción de compuestos orgánicos en el tratamiento de agua potable

*Claudia Amézquita-Marroquín, Lina Fuentes-López, Camilo Cruz-Vélez,
Patricia Torres-Lozada, y William Ocampo-Duque* 271

Capítulo 17

Remoción de arsénico del agua mediante piedra pómez
recubierta con hidróxido de hierro

*Andrés Araya-Obando, Johnny Valverde-Cerdas, Carlos Calleja-Amador,
Ricardo González-Rodríguez, Shiu Todd-Supuy, Alonso Mayorga-Lamas
y Luis G. Romero-Esquivel* 287

Reseña biográfica de los editores 297

FACTORES DE RESILIENCIA QUE INCIDEN EN LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL AGUA URBANA

Sergio Andrés Blanco-Londoño¹

Patricia Torres-Lozada²

Alberto Galvis-Castaño³

RESUMEN

Tradicionalmente, la gestión del agua urbana ha estado asociada a la constante expansión de la infraestructura, sin considerar los impactos negativos a los servicios ecosistémicos del recurso hídrico y a los cuerpos hídricos receptores. Ante este panorama, se requiere de una visión en la que la gestión del agua en las ciudades sea concebida no solo para asegurar la prestación de un servicio público, sino también para garantizar su sostenibilidad y resiliencia frente a las amenazas emergentes. Por lo anterior, este capítulo se orienta al análisis del concepto de resiliencia, con el objetivo de identificar los factores que inciden en la gestión sostenible del agua urbana; para tal fin, se emplearon herramientas de gestión de información de temas científicos. Como resultado, se identificaron cuatro factores clave para la evaluación de la resiliencia aplicables a sistemas de agua urbana: flexibilidad, recursividad, redundancia y robustez, y se estableció la relación entre ellos a través de una curva de desempeño. A través de estos factores se evalúa la capacidad de

1 Universidad del Valle, Eidenar. sergio.blanco@correounivalle.edu.co

2 Universidad del Valle, Eidenar. patricia.torres@correounivalle.edu.co

3 Universidad del Valle, Instituto Cinara. alberto.galvis@correounivalle.edu.co

cambio, de movilizar recursos, la presencia de opciones y la capacidad de resistencia, respectivamente. Los factores identificados contribuyen al desarrollo de modelos integrales de evaluación de la resiliencia en sistemas de agua urbana.

Palabras clave: drenaje urbano, flexibilidad, recursividad, redundancia, resiliencia, robustez.

INTRODUCCIÓN

Las ciudades deben ser capaces de afrontar las amenazas del siglo XXI como la rápida urbanización, el crecimiento poblacional, la variabilidad y el cambio climático, las restricciones energéticas y una mayor regulación ambiental (Seeliger & Turok, 2013). De acuerdo con Novotny (2008), la gestión del agua en las ciudades no es sostenible y resiliente a eventos extremos como inundaciones o sequías, que se espera que aumenten como resultado del calentamiento global y del mal manejo del agua y del ambiente.

En este sentido, la ONU ha manifestado la necesidad de involucrar el concepto de resiliencia en la planeación, diseño y construcción de las infraestructuras y ciudades, lo cual se manifiesta en dos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) formulados para el periodo 2016-2030 (ONU, 2015). De esta manera, el concepto de resiliencia se convierte en un concepto fundamental para la sostenibilidad de las ciudades y las infraestructuras en el futuro.

Evolución del concepto de resiliencia

El concepto de resiliencia surgió de la ecología en los años sesenta y principios de los setenta, a través de estudios de interacción de poblaciones de depredadores y presas y sus respuestas funcionales en relación con la teoría de estabilidad ecológica. El ecologista C. S. Holling (1973, p. 17) en su artículo de resiliencia y estabilidad en sistemas ecológicos, planteó que: “La resiliencia determina la persistencia de las relaciones dentro de un sistema y es una medida de la capacidad de estos sistemas para absorber los cambios de variables de estado, variables de conducción y parámetros y así persistir”. Años después, Holling clasificó la resiliencia en dos categorías “resiliencia ingenieril” y “resiliencia ecológica” para enfatizar sobre la diferencia entre la eficiencia, la constancia y la previsibilidad, por un lado, y la persistencia, el cambio y la imprevisibilidad, por otro.

En este contexto, la resiliencia ingenieril fue definida por Holling (1996, p. 33) como: “el tiempo de retorno a un estado de equilibrio después de una perturbación” y se caracteriza por estudiar periodos de retorno y eficiencia,

enfocándose en la capacidad de recuperación del sistema en un contexto de equilibrio estable. La resiliencia ecológica, por su parte, enfatiza en la inestabilidad que puede “mover” al sistema a otro régimen de comportamiento. En este sentido, la resiliencia ecológica es definida por Holling (1996, p. 33) como: “la magnitud de la perturbación que puede ser absorbida antes de que el sistema redefina su estructura funcional cambiando las variables y procesos que controlan el comportamiento” y se caracteriza por analizar la capacidad de amortiguación, resistir perturbaciones y mantener funciones, enfocándose en la persistencia y robustez del sistema en un contexto de estabilidad global.

Posteriormente, Walker, Hollin, Carpenter y Kinzig (2004), teniendo en cuenta que las diferentes interpretaciones que habían surgido causaban confusión y argumentando que la resiliencia de un sistema necesita ser considerada en términos de los atributos que gobiernan sus dinámicas, reclasificaron el concepto de resiliencia adicionando una tercera categoría, la “resiliencia socio-ecológica” que se caracteriza por analizar las interacciones entre perturbaciones y reorganización, sostenimiento y desarrollo en el sistema, enfocándose en la capacidad de adaptación, transformabilidad, aprendizaje e innovación en un contexto de equilibrio inestable. En este contexto, Walker et ál. (2004, p. 5) definen la resiliencia socio-ecológica como: “el potencial que tiene un sistema de tolerar perturbaciones, sin colapsar hacia un estado cualitativamente diferente manteniendo su estructura y función, lo cual involucra la capacidad del mismo para reorganizarse siguiendo cambios impulsados por perturbaciones”.

Este concepto modifica el pensamiento que considera a los sistemas como estables, por otro en el cual se tiene en cuenta la capacidad que tienen estos para adaptarse y cambiar, aumentando la probabilidad de un desarrollo sostenible en ambientes cambiantes donde el futuro es impredecible. Esta categoría es la más amplia, puesto que integra la resiliencia con los sistemas socio-ecológicos (SSE), brindando la posibilidad de involucrar aspectos sociales y ecológicos y sus interacciones para el estudio de la misma. En este sentido, Folke (2006, p. 260) también define la resiliencia socio-ecológica como: “un enfoque, o manera de pensar, que presenta una perspectiva para guiar y organizar el pensamiento con un sentido más amplio, proporcionando un marco valioso para el análisis de SSE”, siendo esta un área que se encuentra en investigación exploratoria bajo un rápido desarrollo, con implicaciones políticas para el desarrollo sostenible.

En la Tabla 1.1 se presenta la evolución de los conceptos de resiliencia desde un enfoque estrecho (ingenieril), con ciertas limitaciones de aplicabilidad, a uno más amplio (socio-ecológico).

Tabla 1.1. Conceptos de resiliencia, desde la interpretación más estrecha al contexto más amplio de la resiliencia socio-ecológica

Concepto	Características	Enfoque	Contexto
Resiliencia ingenieril	Tiempo de retorno, eficiencia	Recuperación, constancia	Alrededores de un equilibrio estable
Resiliencia ecológica o social	Capacidad de amortiguamiento, resistir choques, mantener las funciones	Persistencia, robustez	Múltiples equilibrios, paisajes de estabilidad
Resiliencia socio-ecológica	Perturbación y reorganización, sostenimiento y desarrollo	Capacidad de adaptación, transformabilidad, aprendizaje, innovación	Retroalimentación integrada del sistema, interacciones dinámicas entre escalas

Fuente: Folke (2006, p. 259).

Factores de resiliencia en la gestión del agua urbana

La resiliencia involucra cuatro factores: i. Flexibilidad (capacidad de cambio); ii. Recursividad (capacidad de movilizar recursos); iii. Redundancia (presencia de opciones); y iv. Robustez (capacidad de resistir) (Blanco-Londoño, Torres-Lozada & Galvis-Castaño, 2017; Bruneau & Reinhorn, 2007; da Silva, Kernaghan & Luque, 2012; Pandit, 2014). En la Tabla 1.2 se sintetiza la descripción de cada uno de estos factores y sus estrategias de adaptación.

Tabla 1.2. Características de los factores para evaluar la resiliencia en sistemas de agua urbana y las estrategias de adaptación

Factor	Descripción	Estrategias de adaptación
Flexibilidad	Capacidad del sistema de cambiar, reorganizarse o adaptarse cuando se somete a perturbaciones (Bruneau & Reinhorn, 2007; da Silva et ál., 2012).	La flexibilidad podría ser incrementada a través del uso de sistemas distribuidos espacialmente (descentralizados), sistemas modulares, o mediante la provisión de la capacidad de apoyo (Butler et ál., 2014; Mugume, Diao et ál., 2015).
Recursividad	Capacidad de visualizar y actuar para identificar problemas, establecer prioridades y movilizar recursos (Bruneau & Reinhorn, 2007; Pandit, 2014).	La recursividad se puede aumentar mediante la movilización de recursos humanos y activos (financieros, físicos, sociales, ambientales, tecnológicos y de información) atendiendo prioridades y estableciendo metas (Bruneau & Reinhorn, 2007; Wang & Blackmore, 2009).

Continúa

Factor	Descripción	Estrategias de adaptación
Redundancia	Disponibilidad de elementos o sistemas pasivos que son sustituibles y pueden activarse cuando se producen perturbaciones (Mugume, Gomez, Fu, Farmani & Butler, 2015; Pandit, 2014).	La redundancia podría mejorarse mediante la adición de múltiples elementos o componentes que proveen funciones similares para minimizar la propagación de fallas a través del sistema u operaciones que hacen posible desviar condiciones excepcionales de carga a partes alternativas del sistema (Mugume, Diao et ál., 2015).
Robustez	Capacidad que tiene un sistema de mantener un funcionamiento aceptable cuando se somete a perturbaciones (Pandit, 2014).	La robustez se incrementa a través de un mayor conocimiento del funcionamiento del sistema, lo cual se logra mediante la reducción de las incertidumbres internas y/o externas del sistema (Anderies, Folke, Ostrom & Walker, 2013).

Fuente: Blanco-Londoño et ál. (2017, p. 129).

Es posible explicar cómo se relacionan estos factores de resiliencia en un sistema de agua urbano, a partir del análisis del desempeño del sistema durante el tiempo, cuando ocurre un evento perturbador (condición adversa que pone a prueba el sistema, p. e. lluvia, sequía, terremoto, vertimiento de contaminantes, etc.) mediante una curva de desempeño (Hosseini, Barker & Ramirez-Marquez, 2016) como se muestra en la Figura 1.1. En esta figura, la línea horizontal punteada D_0 representa el nivel de desempeño inicial del sistema. La línea punteada D_a representa el nivel de servicio mínimo aceptable. La línea punteada D_f representa el nivel de falla máximo que alcanza el sistema resultante del evento considerado.

Si un evento ocurre en el tiempo t_0 , esto podría causar un daño al sistema, comprometiendo la calidad del servicio y poniendo a prueba su desempeño. Durante el tiempo t_0 y el tiempo de inicio de la falla t_f , la robustez del sistema mantiene la calidad del servicio en un nivel aceptable. Si el evento continúa, el desempeño del sistema disminuye y comienza a perder su robustez, lo cual hace que se cruce el nivel de servicio aceptable y que el sistema empiece a funcionar en condiciones críticas, lo que genera problemas en la calidad del servicio (p.e. inundaciones, cortes en el suministro de agua potable, contaminación de cuerpos hídricos por fallas en la PTAR, etc.).

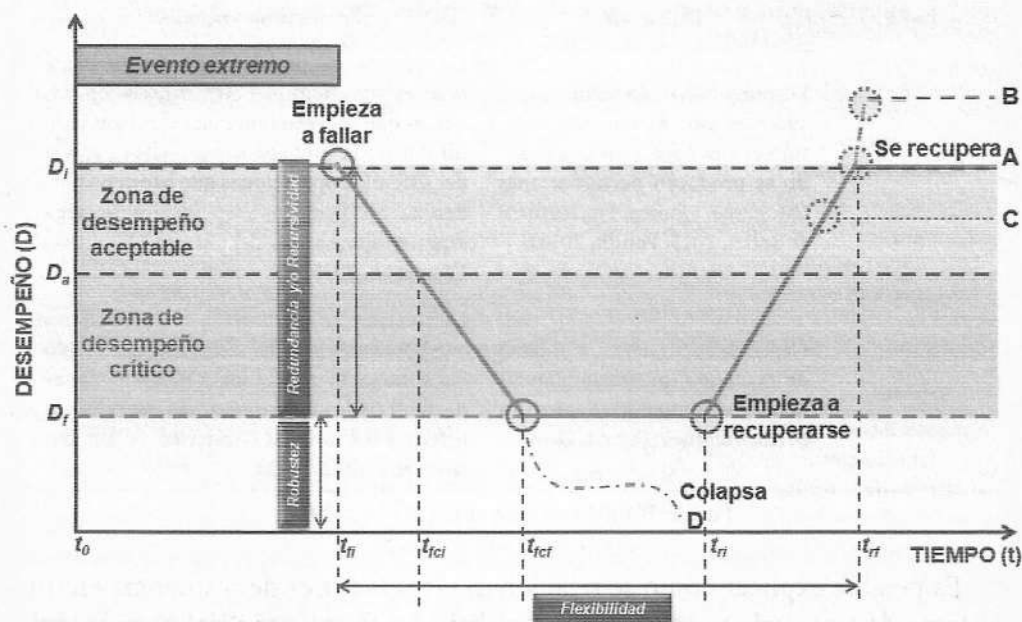


Figura 1.1 Curva de desempeño para determinar la resiliencia

Fuente: Adaptado de Bruneau et ál. (2003); Chang & Shinozuka (2004); Wang & Blackmore (2009); Mugume, Gomez et ál. (2015).

A partir del tiempo de inicio de la falla t_f , si el sistema es redundante y/o recursivo, los elementos redundantes y/o de recursividad del sistema permitirán controlar la falla haciendo que esta se detenga, con lo que se logra que el desempeño del sistema se estabilice. Cuando la falla en el sistema se detiene y la redundancia y/o recursividad han actuado, el sistema comienza a recuperarse. Si el sistema es muy flexible, se recupera rápidamente, retornando a su condición inicial, con lo que la duración de la falla (tiempo que transcurre desde el tiempo de inicio de la falla t_f hasta el tiempo de recuperación t_r) se reduce.

Se observa también en la Figura 1.1 que el sistema no necesariamente vuelve a su condición inicial (Caso A) después de un evento adverso. Podría incluso mejorar su desempeño a través de estrategias de mitigación, adaptación, afrontamiento o aprendizaje (Caso B). Por otra parte, también puede sufrir alguna pérdida permanente de su desempeño inicial (Caso C). En el peor de los casos sufrirá una destrucción casi total, lo cual requerirá de la reconstrucción de la infraestructura (Caso D). Es importante mencionar que este análisis de la relación de los factores de resiliencia es aplicable a infraestructuras que prestan un servicio público, y se enfoca en la reducción o pérdida de la calidad del servicio y en su subsecuente recuperación.

A partir de la Figura 1.1 es posible construir un ejemplo sencillo de cómo interviene cada factor durante un evento de inundación en un sistema de drenaje urbano, como se explica a continuación.

El volumen de agua que un sistema de drenaje urbano puede transportar durante un evento de precipitación, sin desbordarse, depende en primera instancia de: diámetro de las tuberías, área de los canales, presencia de compuertas, sistemas de bombeo y demás elementos que tiene el sistema; esta primera condición de funcionamiento es la robustez del sistema. Es decir, si el sistema es altamente robusto, podrá mantener un nivel de funcionamiento aceptable así se someta a eventos extremos. Pero la robustez es algo intrínseco del sistema; es decir, depende de cómo ha sido diseñado y construido, del mantenimiento de las estructuras y del conocimiento que se tenga de su funcionamiento.

Ahora bien, cuando la precipitación hace que el sistema comience a perder su robustez, este empieza a fallar gradualmente, lo que genera desbordamientos; a partir de ese momento se hace necesario que se activen elementos redundantes (p.e. tanques de almacenamiento, dobles sistemas de bombeo, etc.) y también que se movilicen recursos humanos y económicos asociados a la recursividad para mantener operando el sistema dentro de un nivel de servicio aceptable (p.e. planes de protección civil, alertas tempranas, etc.). Si la lluvia continúa y el sistema pierde más su robustez, se hace necesario activar más elementos redundantes o de recursividad para controlar la falla y evitar que se generen inundaciones críticas. Cuando las inundaciones se controlan, el sistema de drenaje comienza a recuperarse, tiempo en el cual el sistema de drenaje cambia, se adapta o reorganiza, permitiendo que el sistema se recupere y no colapse, para comenzar un nuevo ciclo.

CONCLUSIONES

El concepto de resiliencia ha evolucionado durante más de 40 años, con una diversidad de criterios, algunos con una visión estrecha y con aplicaciones puntuales (resiliencia ingenieril) y otros con una visión más amplia (resiliencia socio-ecológica) que abarcan un entorno de aplicación más general, lo que ha permitido su empleo en diferentes contextos durante el tiempo. Aplicar este concepto en la gestión de sistemas de agua urbana es fundamental para afrontar las amenazas del siglo XXI.

La redundancia y la recursividad están fuertemente interrelacionadas y es a través ellas que se puede mejorar la resiliencia de un sistema. Cambios en la redundancia y en la recursividad afectan la forma de la curva de desempeño y el tiempo de duración de la falla, mejorando de esta manera su resiliencia.

Es recomendable ver la robustez y la flexibilidad como factores que se desean tener para lograr que un sistema sea resiliente, y la redundancia y la recursividad como los medios para alcanzar estas metas. Por lo tanto, la recursividad y la redundancia son factores que ayudan a la flexibilidad y la robustez; es decir, entre más recursivo y redundante sea un sistema, este es más flexible y robusto.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero de Colciencias (Convocatorias 617 de 2013 para financiación de estudios de doctorado nacionales y 745 de 2016-modalidad 1 para financiación de proyectos de ciencia, tecnología e innovación y su contribución a los retos del país, con recursos provenientes del Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación “Francisco José de Caldas”) y a la Universidad del Valle.

REFERENCIAS

- Anderies, J. M., Folke, C., Ostrom, E., & Walker, B. (2013). Aligning Key Concepts for Global Change Policy: Robustness, Resilience, and Sustainability: Center for the Study of Institutional Diversity. *Ecology and Society*, 18(2), 8, doi: 10.5751/ES-05178-180208
- Blanco-Londoño, S. A., Torres-Lozada, P., & Galvis-Castaño, A. (2017). Identification of resilience factors, variables and indicators for sustainable management of urban drainage systems. *DYNA*, 84(203), 126-133. doi: 10.15446/dyna.v84n203.58116
- Bruneau, M., Chang, S. E., Eguchi, R. T., Lee, G. C., O'Rourke, T. D., Reinhorn, A. M., Shinozuka, M., Tierney, K., Wallace, W. A., & von Winterfeldt, D. (2003). A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities. *Earthquake Spectra*, 19(4), 733-752. doi: 10.1193/1.1623497
- Bruneau, M., & Reinhorn, A. (2007). Exploring the Concept of Seismic Resilience for Acute Care Facilities. *Earthquake Spectra*, 23(1), 41-62. doi: 10.1193/1.2431396
- Butler, D., Farmani, R., Fu, G., Ward, S., Diao, K., & Astaraie-Imani, M. (2014). A new approach to urban water management: Safe and Sure. *Procedia Engineering*, 89, 347-354. doi: 10.1016/j.proeng.2014.11.198
- Chang, S. E. & Shinozuka, M. (2004). Measuring Improvements in the Disaster Resilience of Communities. *Earthquake Spectra*, 20(3), 739-755. doi: 10.1193/1.1775796

- da Silva, J., Kernaghan, S. & Luque, A. (2012). A systems approach to meeting the challenges of urban climate change. *International Journal of Urban Sustainable Development*, 4(2), 125-145. doi: 10.1080/19463138.2012.718279
- Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, 16(3), 253-267. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002
- Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 4, 1-23. doi: /10.1146/annurev.es.04.110173.000245
- Holling, C. S. (1996). Engineering resilience versus ecological resilience. In N. Academy (ed.), *Engineering within Ecological Constraints* (pp. 31-44). Washington, D. C.: P. Schulze.
- Hosseini, S., Barker, K., & Ramirez-Marquez, J. E. (2016). A review of definitions and measures of system resilience. *Reliability Engineering & System Safety*, 145, 47-61. doi: 10.1016/j.res.2015.08.006
- Mugume, S. N., Diao, K., Astaraie-Imani, M., Fu, G., Farmani, R. & Butler, D. (2015). Enhancing resilience in urban water systems for future cities. *Water Science and Technology: Water Supply*, 15(6), 1343-1352. doi: 10.2166/ws.2015.098
- Mugume, S. N., Gomez, D. E., Fu, G., Farmani, R. & Butler, D. (2015). A global analysis approach for investigating structural resilience in urban drainage systems. *Water Res*, 81, 15-26. doi: 10.1016/j.watres.2015.05.030
- Novotny, E. V. (2008). A new paradigm of sustainable urban drainage and water management. Paper presented at the *Oxford Roundtable Workshop on Sustainability*, Oxford University, UK.
- ONU (2015). Sustainable Development Goals. Recuperado de <http://sustainabledevelopment.un.org/sdgs>
- Pandit, A. (2014). *Resilience of Urban Water Systems: An 'Infrastructure Ecology' approach to Sustainable and Resilient (SuRe) Planning and Design*. (PhD. Thesis), Georgia Institute of Technology, Georgia.
- Seeliger, L. & Turok, I. (2013). Towards Sustainable Cities: Extending Resilience with Insights from Vulnerability and Transition Theory. *Sustainability*, 5(5), 2108-2128. doi: 10.3390/Su5052108
- Walker, B., Hollin, C. S., Carpenter, S. R., & Kinzig, A. (2004). Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society*, 9(2). Recuperado de <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5/>
- Wang, C. H. & Blackmore, J. M. (2009). Resilience concepts for water resource systems. *Journal of Water Resources Planning and Management-Asce*, 135(6), 528-536. doi: 10.1061/(Asce)0733-9496(2009)135:6(528)