



Líder de grupo de investigación y profesor en la Universidad Técnica de Darmstadt ([hack@geo.tu-darmstadt.de](mailto:hack@geo.tu-darmstadt.de))

## Soluciones basadas en la naturaleza para la restauración de ríos en áreas metropolitanas: El proyecto Visión Urbana del Agua en la cuenca Quebrada Seca-Río Burío, Costa Rica

..... || **Jochen Hack** .....

 Además del propio proceso de urbanización, la actual crisis climática y medioambiental resulta en diversos retos para las ciudades y sus habitantes. En tiempos pasados, los ríos eran el requisito principal para la fundación de asentamientos grandes, ya que suministraban agua potable, permitían la continua producción agrícola y proporcionaban la vía para el comercio. Con el desarrollo de las ciudades, los ríos han sido transformados aún más por el ser humano, por ejemplo, para aumentar su función como drenaje, receptor de residuos o para producir energía (Brown et al., 2009). Estas transformaciones han provocado efectos ecológicos no deseados a lo largo del tiempo, como el aumento de la erosión, la disminución y la contaminación de los recursos hídricos, el aumento de la probabilidad y magnitud de inundación, la disminución de la pesca y la biodiversidad en general, así como la pérdida de la estética y las funciones recreativas (Sabater et al., 2018). En consecuencia, los ríos son uno de los ecosistemas más afectados dentro de las ciudades. Lo anterior dificulta su adaptación a los cambios en el régimen fluvial y de inundaciones

debido a la crisis climática y ecológica (Pletterbauer et al., 2018). Hoy en día, la contaminación, la eutrofización, la salinización, la falta de tratamiento de las aguas residuales y la escasez de agua limpia constituyen grandes desafíos en las ciudades (Haase, 2015), con enormes impactos en la salud, el bienestar y los altos costos económicos para mantener la calidad de vida de las personas (Vörösmarty et al., 2010). Especialmente en las ciudades grandes del Sur Global, existe una forma insostenible de utilizar los recursos hídricos (Niemczynowicz, 2009), aunque los ríos a menudo representan los únicos ecosistemas restantes que proporcionan hábitat y servicios ecosistémicos dentro de las ciudades (Hack et al., 2020; Hack, 2021).

Las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) se consideran como medidas prometedoras para enfrentar problemas socio-ecológicos como la degradación de ríos debido a procesos de urbanización. Las SbN son “son acciones para proteger, gestionar y restaurar de manera sostenible los ecosistemas naturales o modificados que hacen frente a los desafíos sociales de manera efectiva y adaptativa, proporcionando simultáneamente beneficios para el bienestar humano y la biodiversidad” (UICN, 2016). El término se utiliza como un paraguas de conceptos existentes como, por ejemplo, restauración ecológica, ingeniería ecológica, infraestructura verde y azul, gestión o adaptación basada en los ecosistemas, reducción del riesgo

de desastres basada en los ecosistemas o construcción con la naturaleza.

Las SbN para la restauración de los ríos en respuesta a estos retos pueden distinguirse en medidas aplicadas dentro del corredor fluvial (en el cauce y las riberas del río) y medidas aplicadas en la cuenca hídrica (fuera del corredor fluvial, en toda el área de drenaje). Especialmente en las cuencas fuertemente urbanizadas, el restablecimiento de un balance hídrico más natural es necesario para lograr regímenes de caudales de ríos (reducción de los volúmenes de escorrentía y de los caudales máximos, aumento de los caudales base) que sean similares a un estado anterior al desarrollo (Walsh et al., 2005). Esto implica medidas que aumentan la retención, infiltración y evapotranspiración para reducir la escorrentía superficial a través de la reducción del sellado de la superficie, la introducción de vegetación, espacios de almacenamiento de agua y superficies permeables (Collentine y Futter, 2018). Los conceptos comunes que apoyan el restablecimiento de un balance hídrico y regímenes de caudales más naturales son el diseño urbano sensible al agua, las infraestructuras verdes urbanas, los sistemas de drenaje urbano sostenible o el desarrollo de bajo impacto. Además de estas medidas destinadas a un cambio hidrológico cuantitativo, también es necesario mejorar la escorrentía de las zonas urbanas desde el punto de vista cualitativo. No todas las medidas que mejoran los aspectos cuantitativos del balance hídrico urbano tienen también un

impacto cualitativo. Las medidas deben ser diseñadas específicamente para tener un impacto positivo en la calidad del agua. Para mejorar la calidad de la escorrentía antes de que se infiltre en el suelo o se descargue en un cuerpo de agua se utilizan diferentes sistemas de filtración y de vegetación como la SbN. Además de las SbN en el área de drenaje de un río, las medidas dentro del corredor fluvial son esenciales para la restauración de los ríos en las zonas urbanas. Estas medidas están relacionadas con el restablecimiento de la conectividad longitudinal y lateral —por ejemplo, mediante la eliminación de presas, el establecimiento de pasos para peces o la reconexión de llanuras de inundación—, así como con una mejora general de la morfología y las comunidades ecológicas de los ríos y sus corredores. Las SbN son a menudo más beneficiosas que las soluciones puramente técnicas, ya que minimizan los efectos secundarios negativos y, en su lugar, crean cobeneficios para las personas y la naturaleza (UICN, 2016), ya que pueden servir para diferentes propósitos (multifuncionalidad) y repercutir en varios retos, como la regulación del clima, la conservación de la biodiversidad, la mejora de la seguridad alimentaria y la mejora del bienestar común (Watkins et al., 2019). Además, las SbN se consideran importantes para combatir el cambio climático, salvaguardar la biodiversidad, avanzar en la restauración de los ecosistemas y permitir una recuperación ecológica tras la pandemia de SARS-COV-2 (Albert et al., 2021).

Mediante un proyecto de investigación transdisciplinaria *Visión Urbana del Agua* (SEE-URBAN-WATER en inglés) financiado por 5 años por el Ministerio Federal de Educación e Investigación de Alemania se promueve la implementación de las SbN como prototipos en un laboratorio del mundo real en la Gran Área Metropolitana (GAM) de San José, Costa Rica (SEE-URBAN-WATER, 2021; [www.tu-darmstadt.de/see-urban-water](http://www.tu-darmstadt.de/see-urban-water)). El laboratorio del mundo real proporciona un espacio físico y un contexto socioeconómico representativo para probar las SbN que resultan de un proceso participativo y cooperativo de planificación y diseño. Sirve para la generación conjunta de conocimientos y la síntesis, así como una base para la transferencia de conocimientos y la ampliación de las SbN ya probadas. El proyecto se inició en 2018 seleccionando la cuenca Quebrada Seca-Río Burío, una cuenca altamente urbanizada de la GAM con graves problemas de inundaciones urbanas, contaminación y degradación de los ríos (Neumann y Hack, 2020). Esta cuenca forma parte de la cuenca del río Tárcoles, el cual drena la mayor parte de la GAM. Es de especial importancia política ya que la Corte Constitucional de Costa Rica ordenó a las municipalidades y otras instituciones relevantes que consideraran estrictamente la mitigación de las inundaciones urbanas y la restauración de los ríos en el futuro desarrollo urbano.

Con el fin de seleccionar un vecindario residencial representativo como laboratorio del mundo real para el estudio



**Figura 1.** Vista aérea de la parte baja del laboratorio del mundo real del proyecto Visión Urbana del Agua: Zona residencial limitando con el río Quebrada Seca-Río Burío en el distrito Llorente, Municipio de Flores, Costa Rica. (Fuente: SEE-URBAN-WATER)

detallado del potencial de implementación de las SbN y la implementación de prototipos, se pidió a las cinco municipalidades que comparten la cuenca (Barva, San Rafael, Heredia, Flores y Belén) que presentaran en un proceso participativo propuestas de SbN potenciales para los sitios de restauración del río, incluyendo especificaciones sobre el tipo de SbN. Sobre la base de la calidad de la propuesta, el interés y el apoyo garantizado por la municipalidad para apoyar

la implementación de prototipos, se estableció un laboratorio del mundo real en el Distrito de Llorente del Municipio de Flores (Chapa et al., 2020).

El laboratorio del mundo real representa una zona residencial ya urbanizada de 25 hectáreas con unos 2 500 habitantes, en su mayoría hogares de bajos ingresos con menos de 175 dólares al mes (**Figura 1**). Por lo tanto, se persigue un reequipamiento con SbN como adaptación de la infraestructura existente y

usos alternativos del espacio público. Con un enfoque participativo de codiseño, se pretendía el desarrollo de prototipos de SbN adaptados al contexto y el establecimiento de una visión compartida para la transformación sostenible. La evaluación inicial del potencial de las SbN urbanas, basada en una serie de trabajos de campo, consistió en cuatro pasos: (1) un análisis detallado del emplazamiento y un proceso de codiseño que incluía consultas a los líderes de la comunidad local, mercadillos, talleres con los residentes y entrevistas que condujeron a la identificación de tipos adecuados de SbN, ubicaciones y dimensiones generales, así como aspectos de diseño vegetativo; (2) El establecimiento de criterios de diseño y estrategias de colocación para lograr un alto grado de multifuncionalidad; (3) El desarrollo de tipologías espaciales basadas en la red vial y en las características de los espacios públicos disponibles que permitan la ampliación mediante la réplica de las SbN en otras áreas de la cuenca con características espaciales similares, es decir, un potencial de aplicación de las SbN similar, como el espacio público disponible y los patrones de uso del suelo. Y, basándose en los pasos anteriores, (4) una evaluación de la idoneidad espacial de los elementos de las SbN para revelar el potencial específico de implementación de las Sb004E en el laboratorio del mundo real (Fluhrer et al., 2021).

Los resultados de esta evaluación permitieron elaborar un modelo hidrológico

detallado de alta resolución sobre el efecto de mitigación de las inundaciones (Towsif Khan et al., 2020) y el impacto de regulación micro-climática de las SbN en esta zona concreta (Wiegels et al., 2021). Además, permitió identificar los lugares adecuados y guiar la implementación de cuatro prototipos de SbN ejemplares para abordar los desafíos socio-ecológicos predominantes de la contaminación del río por la descarga de aguas grises no tratadas, las inundaciones urbanas y la falta general de espacios verdes. A principios de 2020, se construyeron tres prototipos para el tratamiento de aguas grises de los hogares de diferentes grados de descentralización (frente al hogar bajo la responsabilidad del propietario de la casa, bloque de la calle y el nivel de barrio bajo la responsabilidad del municipio), así como un prototipo para el almacenamiento de aguas pluviales (Figura 2). El rendimiento de estos prototipos todavía está siendo supervisado y evaluado, sin embargo, el proceso de planificación y construcción ya reveló varios desafíos en relación con la implementación de las SbN en áreas densamente urbanizadas (Chapa et al., 2020). Por ejemplo, la participación de múltiples actores y la asignación de nuevas responsabilidades para lograr un diseño adaptado al contexto y multifuncional de las SbN es necesaria, pero ha resultado difícil, ya que las demandas y los objetivos varían entre los actores. Además, las SbN representan nuevas soluciones que requieren voluntad, flexibilidad y apertura por parte de



**Figura 2.** Ilustración del diseño de planificación de un prototipo de SbN para el tratamiento de aguas residuales y pluviales (derecha) e imágenes durante su construcción en el laboratorio del mundo real del proyecto *Visión Urbana del Agua* (Fuente: SEE-URBAN-WATER).

las autoridades municipales. El funcionamiento y mantenimiento de los prototipos de SbN da lugar a nuevas tareas relacionadas con el control de la obstrucción y la sedimentación de las entradas de aguas residuales y pluviales, así como con el cuidado de la vegetación. Sin embargo, la realización de los prototipos de SbN inició un importante proceso de aprendizaje sobre los retos de implementación y mantenimiento para una transformación socio-ecológica más amplia (desde el nivel de vecindario hasta el de cuenca).

La evaluación del potencial de las SbN, la implementación y el funcionamiento de los prototipos también proporcionaron

información importante para la evaluación del potencial de ampliación en forma de réplicas de las medidas en sitios similares dentro de la cuenca. El potencial de las SbN identificado en el laboratorio del mundo real se utilizó para desarrollar y modelar escenarios de ampliación basados en las similitudes de las tipologías espaciales en otras partes de la cuenca, y así identificar su potencial (Chen et al., 2021). La modelación de los escenarios de ampliación apoya la identificación de los tipos de SbN más efectivos a nivel de cuenca y la contribución de las SbN readaptadas en áreas ya desarrolladas a la restauración del río. Además de las SbN adaptadas a una infraestructura

existente, se han identificado sitios potenciales para las SbN multifuncionales como medidas de retención de inundaciones a lo largo del corredor fluvial a escala de cuenca. Dado que el espacio es muy limitado en las zonas ya urbanizadas, también se necesitarán zonas no construidas para las SbN a fin de restaurar los ríos del Gran Área Metropolitana.

Recientemente, el diseño y la implementación de las SbN han ganado atención para hacer que las ciudades sean más sostenibles y resistentes. Ya existen o se están desarrollando varias iniciativas e instrumentos, por ejemplo, las zonas de protección como los corredores biológicos interurbanos, el ensayo de prototipos en laboratorios del mundo real o el desarrollo de un Código Hidrológico para Costa Rica. Si se hace hincapié en el potencial de cobeneficios de las SbN y se involucra al público en el diseño, su implementación puede ayudar a superar algunos obstáculos estructurales en la región como la exclusión social, las desigualdades económicas, la injusticia ambiental y las relaciones de poder desiguales. En este sentido, América Latina, y Costa Rica en particular, tiene el potencial de convertirse en pionera de las SbN para la restauración de ríos urbanos en el Sur Global.

## Referencias

- Albert, C., Hack, J., Schmidt, S., & Schröter, B. (2021). Planning and governing nature-based solutions in river landscapes: Concepts, cases, and insights. *Ambio*, 50, 1405-1413. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01569-z>
- Brown, R. R., Keath, N., & Wong, T. H. F. (2009). Urban water management in cities: historical, current and future regimes. *Water Science and Technology*, 59(5), 847-855. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.029>
- Chapa, F., Pérez, M., & Hack, J. (2020). Experimenting Transition to Sustainable Urban Drainage Systems—Identifying Constraints and Unintended Processes in a Tropical Highly Urbanized Watershed. *Water*, 12(12), 3554. <https://doi.org/10.3390/w12123554>
- Chen, V., Bonilla Brenes, J. R., Chapa, F., & Hack, J. (2021). Development and modelling of realistic retrofitted Nature-based Solution scenarios to reduce flood occurrence at the catchment scale. *Ambio*. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01493-8>
- Collentine, D., & Futter, M. N. (2018). Realising the potential of natural water retention measures in catchment flood management: trade-offs and matching interests. *Journal of Flood Risk Management*, 11(1), 76-84. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12269>
- Fluhrer, T., Chapa, F., & Hack, J. (2021). A Methodology for Assessing the Implementation Potential for Retrofitted and Multifunctional Urban Green Infrastructure in Public Areas of the Global South. *Sustainability*, 13(1), 384. <https://doi.org/10.3390/su13010384>
- Haase, D. (2015). Reflections about blue ecosystem services in cities. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 5, 77-83. <https://doi.org/10.1016/j.swaqe.2015.02.003>
- Hack, J. (2021). Preserving biodiverse river corridors for sustainable city development. *Research Outreach*, (122). <https://doi.org/10.32907/RO-122-1289360226>

- Hack, J., Molewijk, D., & Beißler, M. R. (2020). A Conceptual Approach to Modeling the Geospatial Impact of Typical Urban Threats on the Habitat Quality of River Corridors. *Remote Sensing*, 12(8), 1345. <https://doi.org/10.3390/rs12081345>
- Neumann, V. A., & Hack, J. (2020). A Methodology of Policy Assessment at the Municipal Level: Costa Rica's Readiness for the Implementation of Nature-Based-Solutions for Urban Stormwater Management. *Sustainability*, 12(1), 230. <https://doi.org/10.3390/su12010230>
- Niemczynowicz, J. (2009). Megacities from a Water Perspective. *Water International*, 21(4), 198–205. <https://doi.org/10.1080/02508069608686515>
- Pletterbauer, F., Melcher, A., & Graf, W. (2018). Climate Change Impacts in Riverine Ecosystems. In S. Schmutz & J. Sendzimir (Eds.), *Riverine Ecosystem Management: Science for Governing Towards a Sustainable Future* (pp. 203–223). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-73250-3\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-73250-3_11)
- Sabater, S., Bregoli, F., Acuña, V., Barceló, D., Elosegí, A., Ginebreda, A., Ferreira, V. (2018). Effects of human-driven water stress on river ecosystems: a meta-analysis. *Scientific Reports*, 8(1), 11462. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29807-7>
- SEE-URBAN-WATER (2021). Página web del proyecto SEE-URBAN-WATER. <https://www.tu-darmstadt.de/see-urban-water>
- Towsif Khan, S., Chapa, F., & Hack, J. (2020). Highly Resolved Rainfall-Runoff Simulation of Retrofitted Green Stormwater Infrastructure at the Micro-Watershed Scale. *Land*, 9(9), 339. <https://doi.org/10.3390/land9090339>
- UICN [Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza]. (2016). Resolución 69 sobre la Definición de soluciones basadas en la naturaleza (WCC-2016-Res-069). Resoluciones, Recomendaciones y otras decisiones de la UICN. Congreso Mundial de la Naturaleza, Honolulu, Hawaii, Estados Unidos. [https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/resrecfiles/WCC\\_2016\\_RES\\_069\\_ES.pdf](https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/resrecfiles/WCC_2016_RES_069_ES.pdf)
- Vörösmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., ... Davies, P. M. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467(7315), 555–561. <https://doi.org/10.1038/nature09440>
- Walsh, C. J., Roy, A. H., Feminella, J. W., Cottingham, P. D., Groffman, P. M., & Morgan, R. P. (2005). The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure. *Journal of the North American Benthological Society*, 24(3), 706–723. <https://doi.org/10.1899/04-028.1>
- Watkins, G., Silva, M., Rycerz, A., Dawkins, K., Firth, J., Kapos, V., ... Amin, A.-L. (2019). *Nature-Based Solutions: Increasing Private Sector Uptake for Climate-Resilience Infrastructure in Latin America and the Caribbean Climate Change Division*. <https://doi.org/10.18235/0002049>
- Wiegels, R., Chapa, F., & Hack, J. (2021). High resolution modeling of the impact of urbanization and green infrastructure on the water and energy balance. *Urban Climate*, 39, 100961. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100961>