

An aerial photograph showing a river on the left and a dense urban area on the right. A semi-transparent blue rectangular overlay covers the upper right portion of the image, containing the title and subtitle. The river flows from the top left towards the bottom left, with some vegetation along its banks. The urban area consists of numerous buildings and streets, with a blue overlay highlighting a specific section of the city.

SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA PARA LA MITIGACIÓN DE LAS INUNDACIONES

**DOCUMENTO PARA
POLÍTICA PÚBLICA**



CEDEUS

Centro de Desarrollo
Urbano Sustentable

Agosto 2023
Nº29

SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA PARA LA MITIGACIÓN DE LAS INUNDACIONES

© Centro de Desarrollo
Urbano Sustentable
CEDEUS

Autores

Carolina Rojas, Pontificia Universidad Católica
Octavio Rojas, Universidad de Concepción
Juan Munizaga, Universidad de Concepción
Felipe Jorquera, Pontificia Universidad Católica
Vanessa Novoa, Universidad de Tarapacá

Agradecimientos

Fondecyt N°1190251
Copyright Urbancost

Cómo citar este documento:

Rojas, C., et. al, (2023). *Soluciones basadas en la naturaleza para la mitigación de las inundaciones.* Documento para Política Pública N°29. Centro de Desarrollo Urbano Sustentable, Santiago.
<https://doi.org/10.7764/cedeus.dpp.29>



Atribución-NoComercial 4.0
Internacional (CC BY-NC 4.0)
Primera edición
Agosto 2023 / N°29

**SOLUCIONES
BASADAS EN LA
NATURALEZA PARA
LA MITIGACIÓN DE
LAS INUNDACIONES**

DOCUMENTO PARA
POLÍTICA PÚBLICA



CEDEUS

Centro de Desarrollo
Urbano Sustentable

PUNTOS CENTRALES

Las inundaciones pueden tener consecuencias desastrosas en las ciudades y asentamientos. Por ello, y sobre todo en años con el fenómeno del Niño, es relevante reducir las vulnerabilidades y aumentar la resiliencia mediante su mitigación y control. Por años esto se ha hecho mediante infraestructuras tradicionales o grises. El presente documento tiene por objetivo entregar recomendaciones de infraestructura adecuada para reducir los impactos que generan estos eventos por medio de soluciones basadas en la naturaleza para la zona central de Chile.

INTRODUCCIÓN

En los años con fenómenos del Niño, cada cierto tiempo ocurren eventos de precipitaciones persistentes e intensas, con consecuencias que pueden ser nefastas, por ello las comunidades, asentamientos y ciudades de Chile deben adaptarse para reducir nuestras vulnerabilidades ante el Cambio Climático. El fin de semana del 23 de Junio, hemos experimentado una de las inundaciones más intensas de las últimas décadas. Los registros históricos muestran que desde Valparaíso al Biobío, se presenta la más alta recurrencia de inundaciones asociadas a precipitaciones. En la costa, los ríos dependen del aporte pluvial, aumentando su caudal por el efecto de las precipitaciones intensas. En los ríos andinos, los caudales se explican por el aporte de las precipitaciones líquidas (lluvia) y sólidas (nieve), donde es relevante la altitud de la isoterma cero, definida como la altitud que separa la zona donde llueve o nieva. De esta forma, cuando asciende la isoterma cero, se produce el derretimiento de la nieve, lo que aumenta los caudales de forma rápida y provoca inundaciones violentas y rápida. Históricamente los daños se han concentrado en viviendas, vialidad, infraestructura pública, actividad agropecuaria e interrupción de comunicaciones. Este documento tiene como propósito hacer recomendaciones de infraestructura adecuada para reducir los impactos que generan estos eventos por medio de soluciones basadas en la naturaleza en la zona central del país (Sbn).



¿QUÉ SON LAS SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA (Sbn)?

Son acciones que utilizan a los ecosistemas naturales y los beneficios que proveen para abordar diversos desafíos ambientales como la sequía, marejadas, erosión, la crisis alimentaria y las inundaciones por eventos extremos. Estas soluciones se centran principalmente en la restauración, la protección y el uso sostenible de los ecosistemas para

brindar beneficios tanto para los seres humanos como para la naturaleza.

Las Sbn actúan de forma diversa para disminuir el impacto, frecuencia e intensidad de las inundaciones. Por ejemplo, pueden almacenar el agua, conducir el agua o favorecer los procesos de infiltración lenta, este conjunto de acciones disminuye o retrasa la llegada del agua a canales, ríos y sistemas de drenaje. La diversidad de soluciones

Figura 1. Soluciones basadas en la naturaleza para enfrentar desafíos sociales



Fuente: UICN, 2020.

permite realizar acciones a escala de cuenca, tramo de río, ciudades e incluso a nivel domiciliario.

Evidentemente, las inundaciones de junio de 2023 dejaron en claro que existen brechas en inversión de infraestructuras entre las regiones de Chile y, a la vez, las infraestructuras existentes no siempre están preparadas para enfrentar este volumen de precipitaciones. Un ejemplo de ello son los colapsos del puente de Lircay (Talca), el puente Chupallar (Linares) y el puente ferroviario en Longaví de Chile Central. Además, en el ámbito urbano, nuestra visión se ha centrado en sacar el agua lo más rápido posible de la ciudad, como si fuese un desecho, lo que provoca el colapso de los sistemas de drenaje durante eventos intensos de lluvias.

LAS SBN PARA FORTALECER LA POLÍTICA PÚBLICA

Es importante señalar que las Sbn para el manejo de inundaciones y la resiliencia hídrica pueden considerar diferentes tipos de infraestructura como azul/verde/turquesa/café y gris (McPhillips et al., 2023). Aquí señalamos algunas que pueden priorizarse al momento de implementar políticas públicas para mitigar inundaciones por eventos extremos en asentamientos de Chile, éstas son:

Restauración de cuencas hidrográficas: La degradación de las cuencas hidrográficas aumenta el riesgo de inundaciones. Esto ocurre por una constante conversión de las coberturas naturales, como los matorrales, o áreas vegetadas hacia coberturas productivas e impermeables, como la urbanización, agricultura, silvicultura, entre otros. Esta transformación disminuye la infiltración del agua lluvia en el suelo e impide que el agua lluvia sea retenida en el suelo, lo que provoca que escurra rápidamente hacia los

cuerpos de agua cercanos, como ríos y lagos. Cuando las precipitaciones son intensas, el volumen de escorrentía aumenta, incrementando el riesgo de inundaciones. De esta manera, la reforestación, y la conservación de los bosques y la restauración de las áreas de ribera en las cuencas hidrográficas pueden desempeñar un papel crucial para ayudar a regular el flujo de agua, reducir la erosión del suelo y mejorar la capacidad de retención de agua del paisaje, lo que a su vez reduce el impacto de las inundaciones.

Restauración o protección de planicies de inundación y corredores fluviales: Nuestros ríos son corredores fluviales que atraviesan nuestras regiones y dan una identidad a nuestras ciudades. Durante muchos años, las ciudades chilenas han crecido presionando el espacio natural de los ríos en sus llanuras de inundación. Esto aumenta la exposición de la población y viviendas a desastres más violentos. Recuperar el espacio fluvial, o protegerlo, regresa la funcionalidad como llanura de inundación, que actúa atenuando las variaciones de caudal al generar espacios de almacenamiento y flujo de agua, disminuyendo el riesgo de inundación y regenerando los hábitats fluviales. Esto implica la limpieza de la basura y escombros de los ríos, la protección de las riberas, la reintroducción de vegetación ribereña y la creación de espacios de desbordamiento controlados.

Restauración de humedales: Los humedales costeros y de interior tienen una gran capacidad para retener y filtrar el agua. La porosidad de sus suelos permite almacenar una enorme cantidad de agua, impidiendo que escurra libremente. De esta manera, restaurar y conservar estos ecosistemas puede ayudar a regular el flujo de agua y reducir la intensidad de las inundaciones al actuar como

esponjas naturales que absorben el exceso de agua y lo liberan lentamente durante eventos extremos. Por supuesto, cuando funcionan a su capacidad máxima su nivel de saturación llega a lo más alto, como lo demostraron una serie de humedales el fin de semana del 23 de Junio en el Centro Sur de Chile (Figura 2).

Protección de las zonas costeras: las marismas son ecosistemas de transición entre ambientes marinos y

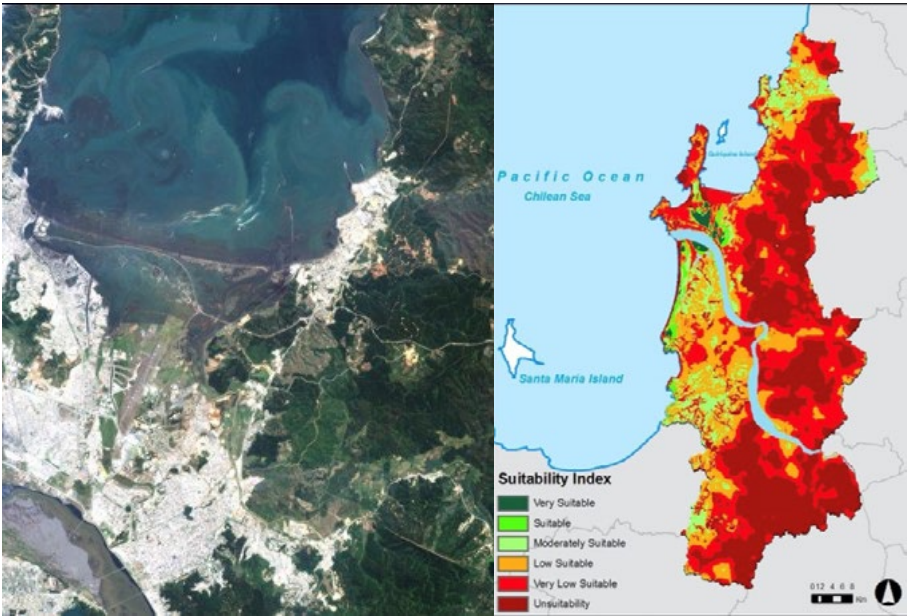
terrestres que actúan como barreras naturales contra las inundaciones costeras, al mismo tiempo que generan una biodiversidad única adaptada a condiciones de salinidad. Estos ecosistemas pueden absorber la energía de las olas y reducir la velocidad del agua durante las tormentas, lo que ayuda a prevenir daños y reducir la erosión de las costas. Esto lo hemos visto en inundaciones por Tsunamis como Febrero de 2010 (Figura 3) y marejadas.

Figura 2. Imágenes satelitales de humedales costeros saturados de agua durante el evento de Junio.



Fuente: Urbancost y Larrs basado en imágenes Sentinel 2, 2023.

Figura 3: En la imagen de la izquierda, el Humedal Rocuant Andalién está saturado de agua por efecto del Tsunami de febrero de 2010. En la imagen de la derecha hay un mapa que muestra un índice de adecuación o sustentabilidad para la urbanización, que muestra la zona del humedal en rojo o con baja adecuación (Very Low Suitable).



Fuente: Artículo. Rojas, C., Pino, J. & Jaque, E. (2013). Strategic Environmental Assessment in Latin America: a methodological proposal for Urban Planning in the Metropolitan Area of Concepción (Chile). Land Use Policy 30, 519-527.

Infraestructura verde: En lugar de confiar únicamente en infraestructuras grises, como diques, canales y presas, se pueden complementar con Sbn, que utilizan a los ecosistemas urbanos. Por ejemplo, la creación de corredores verdes, parques fluviales, parques de humedales y áreas de infiltración pueden ayudar a redirigir y absorber el agua de lluvia, reduciendo tanto la cantidad de agua que fluye hacia áreas urbanas, como el impacto de las inundaciones en las comunidades.

La infraestructura natural para la gestión del agua puede incluir diversas acciones en diferentes escalas: techos verdes para captar agua lluvia, espacios verdes para mejorar la infiltración, restauración de paisaje para estabilizar laderas y restauración de humedales, entre otras acciones (Figura 4).

Figura 4. Infografía sobre infraestructura natural o verde para la gestión del agua

Infraestructura Natural para la Gestión del Agua

Invirtiendo en ecosistemas para múltiples propósitos



Fuente: IUCN Water, 2020.

Figura 5. Parque Humedal Los Batros, una infraestructura verde-azul para la adaptación ante inundaciones. Imagen de izquierda en verano y derecha en junio, durante un evento de inundación.



En la actualidad contamos con muy pocos parques en humedales. Uno de ellos es el Parque Humedal Los Batros en San Pedro de la Paz (Región del Biobío), el cual demostró resistir bastante bien el aumento del volumen de agua (Figura 5).

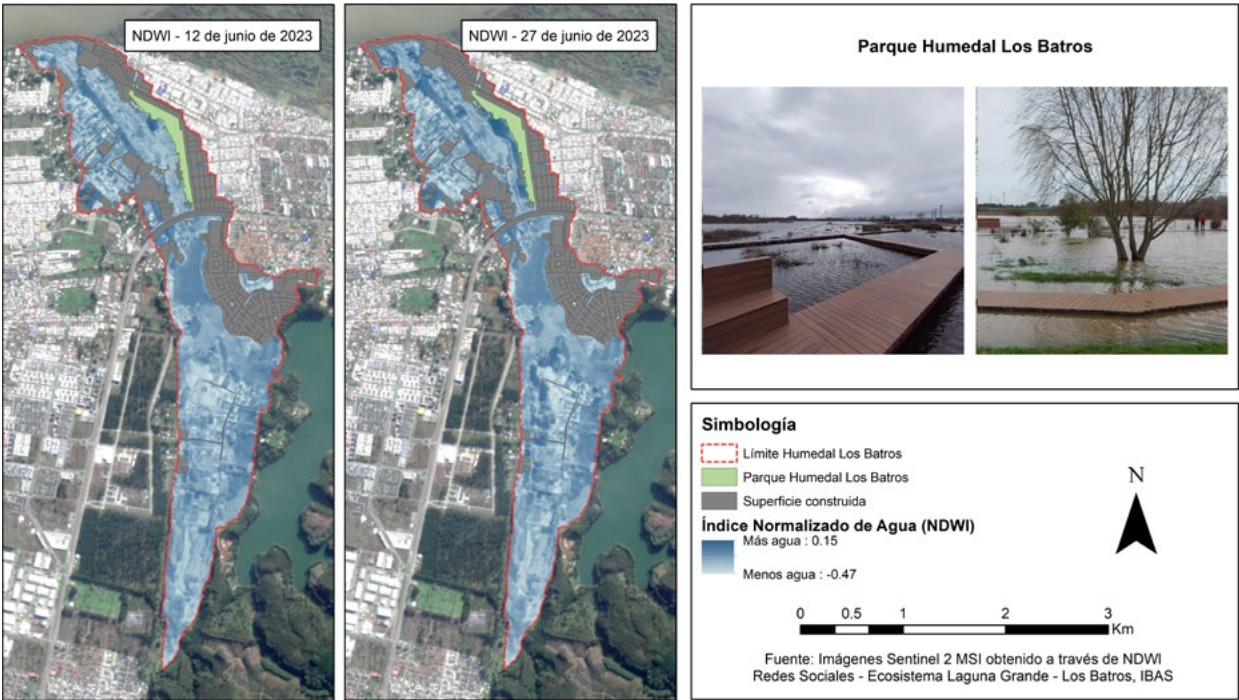
Además, este tipo de infraestructura verde, y también azul, favorece la integración de los espacios naturales en las ciudades. Por ejemplo, valorando los atributos estéticos de los ecosistemas o en el servicio de recreación para las personas, atributo directamente relacionado con la salud mental.

Para el caso particular del humedal Los Batros, se pudo registrar un fenómeno de precipitación intensa entre el 21 de junio hasta el 26 de junio alcanzando 115 milímetros, de acuerdo con los registros de la Dirección Meteorológica de Chile. El agua recogida en la zona aledaña escurrió de forma natural hacia el humedal, incluyendo el parque, en donde se pudo apreciar la enorme concentración de agua y sedimento suspendido, el que posteriormente fue decantando lentamente hasta volver a su nivel natural. Los niveles de agua fueron calculados utilizando el indicador de agua normalizado de vegetación (NDWI) a partir de imágenes satelitales Sentinel-2 (ver Figura 6).

Manejo del drenaje: Las Sbn también incluyen prácticas de manejo del agua urbana a nivel local, como la construcción de jardines de lluvia, humedales construidos, zanjas vegetadas y sistemas de almacenamiento y reutilización de agua. Estas medidas ayudan a capturar y tratar el agua de lluvia de manera natural, evitando la acumulación y el desbordamiento de agua en áreas urbanas.

Fuente: Boca Sur Informa - Felipe Jorquera, Urbancost, 2023.

Figura 6. Contenido de agua en la vegetación en el humedal Los Batros.



Fuente: Urbancost y Larrs basado en imágenes Sentinel 2, 2023.

Figura 7. Barrio con DUS (Drenaje Urbano Sustentable) con jardines de lluvia, zanjas filtrantes, pavimentos filtrantes y humedales en City of Gresham Portland USA.



Fuente: Carolina Rojas, Portland Marzo 2023.

En lugar de depender exclusivamente de sistemas de drenaje convencionales, las ciudades pueden incorporar características de drenaje natural, como humedales y zanjas vegetadas. Una de las ciudades pioneras en implementar estos diseños y exigirlos en la planificación urbana es Portland (Estados Unidos). Por supuesto, en Chile no todas las ciudades cuentan con sistemas de evacuación de aguas lluvias, lo que hace compleja la implementación de DUS, pero no por ello menos necesaria o urgente. Estas características ayudan a filtrar y retener el agua, reduciendo la velocidad del flujo, permitiendo una infiltración gradual en el suelo o una liberación lenta a la red de drenaje. Además, para los entornos urbanos las Sbn desempeñan un papel crucial en la gestión de inundaciones, pues estas han ido perdiendo su capacidad de infiltración (Figura 8), sumando que cada vez se ven más afectadas por la cantidad de basura presente en ríos y humedales.

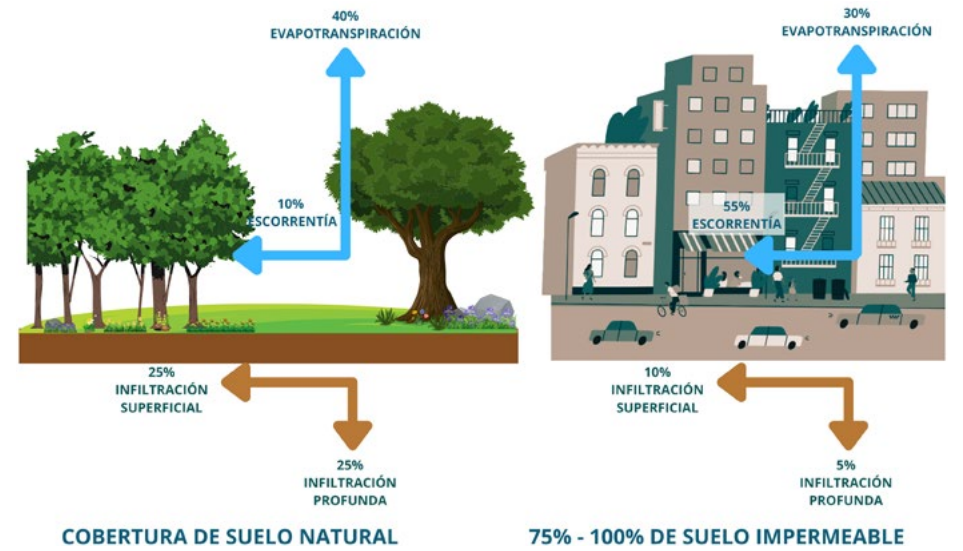
Las ciudades sensibles al agua tienen en las Sbn la esperanza de adaptarse al cambio climático y sus impactos, como las inundaciones. Las ciudades deben incorporar elementos de infraestructura verde como parques urbanos, jardines pluviales, techos verdes y corredores ecológicos. A propósito de la COP 25, un conjunto de académicos elaboramos el Informe de Ciudades y Cambio Climático, donde planteamos 10 soluciones de infraestructura verde. Luego, en el Informe sobre Soluciones Basadas en la Naturaleza, reiteramos una vez más el rol de los humedales en la mitigación de inundaciones. Esto implica, además, desarrollar planes de acción para enfrentar sequías e inundaciones, así como fortalecer la resiliencia de la infraestructura ante eventos climáticos extremos. La implementación de estrategias de captación de agua de lluvia y la restauración de ecosistemas

acuáticos como los humedales son medidas importantes para asegurar un suministro sostenible y conservación del agua en el futuro.

Estas medidas podrían ayudar a absorber y filtrar el agua de lluvia, reduciendo la carga en los sistemas de drenaje y previniendo inundaciones. Además, la infraestructura verde mejora la calidad del aire, proporciona hábitats para la vida silvestre y crea espacios verdes que mejoran la calidad de vida de los residentes urbanos. Por supuesto, de ahora en adelante debemos poner más atención en nuestros ríos, lagunas y corredores fluviales.

Un segundo punto es que las Sbn, que proporcionan una serie de co-beneficios —muchos descritos en el Informe específico del Comité Científico de Cambio Climático (Marquet et al., 2021)— solo se pueden implementar con Planificación Territorial, en la cual hay una brecha importante y desactualización, sobre todo para el ámbito rural.

Figura 8. Capacidad de infiltración en ciudades.



Fuente: URBANCOST en base a US. EPA <https://theconversation.com/stormwater-innovations-mean-cities-dont-just-flush-rainwater-down-the-drain-40129>.

Figura 9: 10 medidas de Infraestructura y espacio verde COP25.



Fuente: Basado en Muñoz, J. C., J. Barton, D. Frías, A. Godoy, W. Bustamante Gómez, S. Cortés, M. Munizaga, C. Rojas y E. Wagemann (2019). Ciudades y cambio climático en Chile: Recomendaciones desde la evidencia científica. Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.

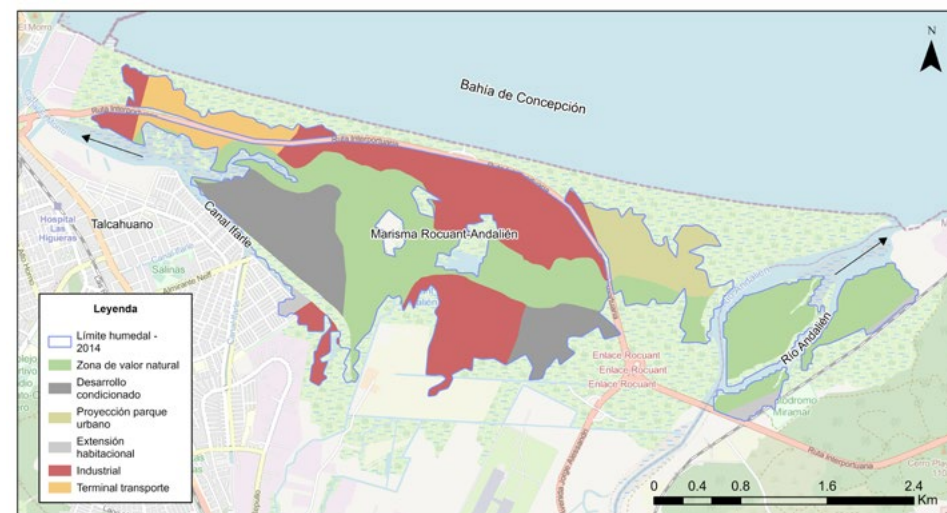
PLANIFICACIÓN URBANA TERRITORIAL

Lamentablemente la planificación urbana y territorial ha permitido el desarrollo urbano sobre humedales, estuarios, lagunas, riberas de ríos, terrazas, entre otros. Las zonas delimitadas de riesgo de inundación no han sido suficientes, pues aún existen problemas de subestimación de las zonas de inundación o directamente el peligro de inundación no es incorporado adecuadamente en los instrumentos. De hecho, para el caso de los humedales hay ejemplos que evidencian que han sido planificados como zonas residenciales y de transporte y cuya pérdida además se válida y proyecta por el instrumento de planificación (Rojas et al., 2019). El crecimiento de las infraestructuras de transporte e infraestructuras grises también ha causado efectos, como la pérdida de conectividad ecológica e hidrológica por consecuencia de la fragmentación. Entonces, la planificación urbana y territorial debe integrar la gestión del agua como un elemento clave en el desarrollo de las ciudades. Además, por lo general el agua se ve como un desecho que hay que eliminar rápidamente y canalizarlo con infraestructuras grises. Sin embargo, por medio de la infraestructura verde-azul, como parques fluviales y áreas de infiltración, podemos ayudar a la recarga de acuíferos y la reducción del impacto de las inundaciones. Sin embargo, esto debe ir acompañado de sistemas de drenaje urbanos sostenibles para las precipitaciones de menor intensidad, que minimicen el riesgo de inundaciones y mejoren la calidad del agua.

Sumado a lo descrito, el problema se incrementa en áreas rurales donde la planificación del territorio es deficiente o inexistente, quedando relegada a instrumentos de emergencia, como los planes de emergencia comunales.

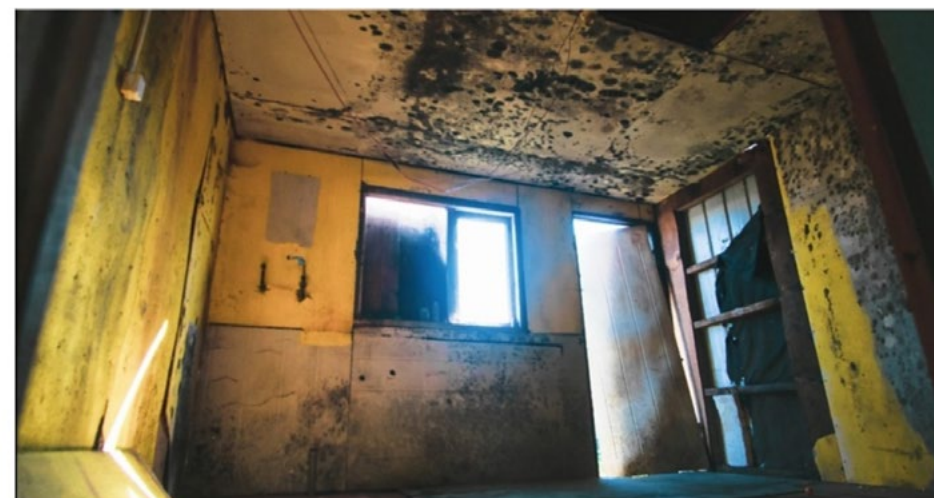
Educación y participación comunitaria: Las Sbn también incluyen la educación y participación activa de la comunidad. Al fomentar la conciencia sobre los desafíos de las inundaciones y promover la participación de los residentes en la implementación de soluciones, se pueden lograr resultados más efectivos y sostenibles. Cada vez que hemos hecho alguna encuesta, las personas reconocen los servicios ecosistémicos de regulación de las inundaciones por los humedales. Además, las personas que viven en los entornos de los ecosistemas son muy sensibles y los valoran positivamente. La participación de las personas puede implicar la creación de programas de acción, planes de conservación y la colaboración con las autoridades locales en la planificación urbana y territorial. Un ejemplo de ello ha sido el proyecto GEF humedales costeros.

Figura 10: Ecosistema Planificado como Zona Residencial Mixta, Desarrollo Condicionado, Transporte, entre otras. Un ejemplo de las deficiencias de la planificación.



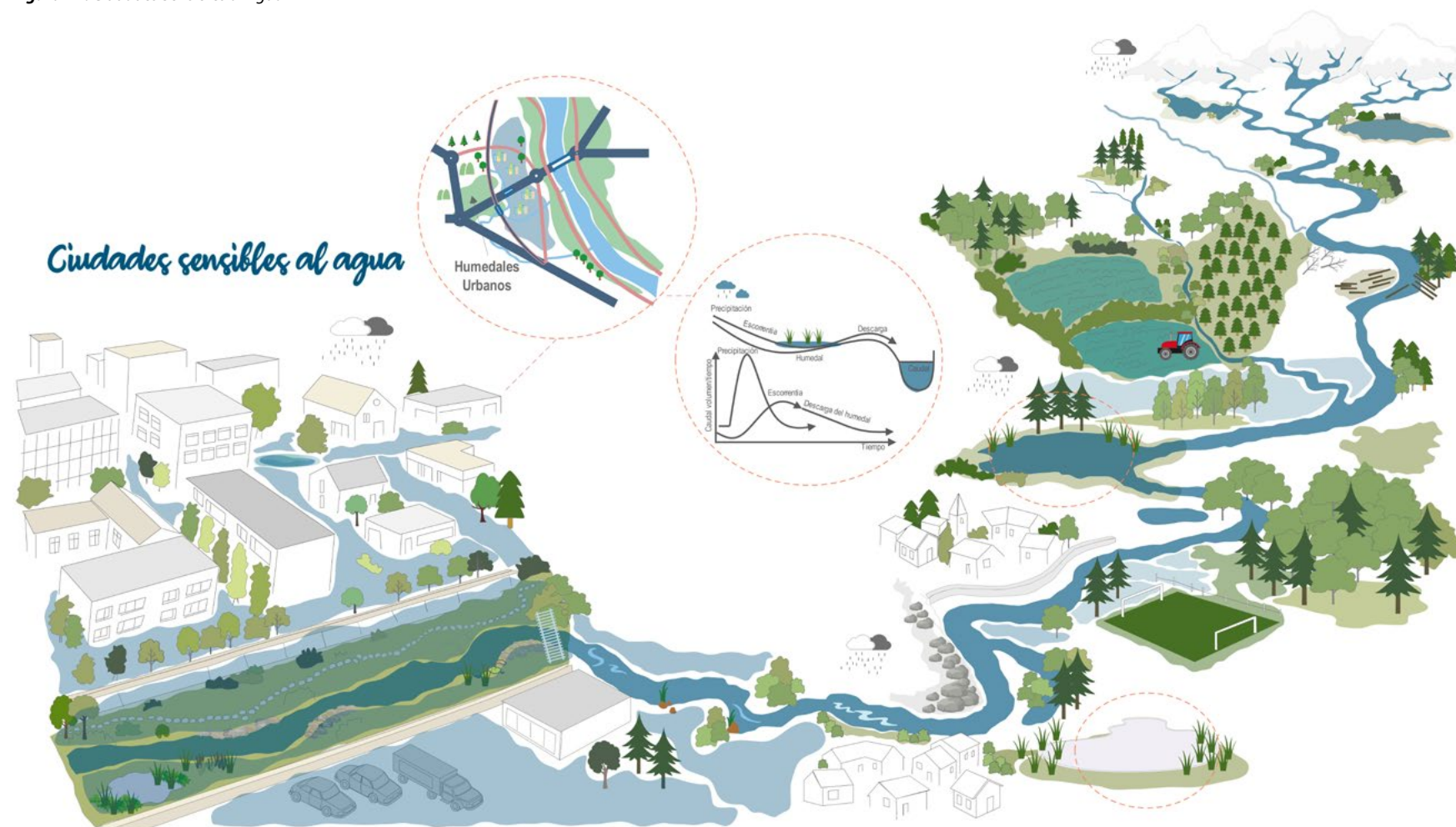
Fuente: Modificada de Artículo. Rojas, C., Pino, J. & Jaque, E. (2013). Strategic Environmental Assessment in Latin America: a methodological proposal for Urban Planning in the Metropolitan Area of Concepción (Chile). *Land Use Policy* 30, 519-527.

Figura 11: Vivienda construida sobre humedal con claras evidencias de humedad en Población San Pedro, Valdivia.



En estas condiciones se encuentra la casa. Crédito: Cedida.

Fuente: *Diario de Valdivia Online*.

Figura 12: Ciudades Sensibles al Agua

Fuente: Urbancost, 2023.

RECOMENDACIONES

Es importante dejar claro que las Sbn no evitan las inundaciones, pero sí ayudan a mitigar sus impactos para favorecer la resiliencia. Como recomendaciones consideramos que:

1. Debemos conciliar los cambios normativos y de planificación urbana y territorial para poder implementar las Sbn. En ese sentido, la cooperación entre los diferentes actores involucrados en la gestión del agua es fundamental para avanzar hacia ciudades sensibles al agua con una gestión integrada del riesgo de inundación (Figura 12).

2. Las Sbn además generan co-beneficios que en definitiva contribuyen a contar con asentamientos humanos más sustentables y resilientes. Por ejemplo: un parque, que es una solución de infraestructura verde, tendrá como co-beneficio la recreación para las personas y la función de reducir el efecto del calor urbano.

3. Las Sbn son una forma relativamente económica, eficiente y sustentable para enfrentar las inundaciones y solucionar las deficiencias en infraestructuras para la resiliencia.

En este contexto, un primer intento de cambio y valoración

del rol de los ecosistemas ha sido la Ley de Protección de Humedales Urbanos 21.202, aún en evolución para poder determinar si sus efectos serán positivos para la implementación de soluciones basadas en humedales, pero que sin duda ha sido una contribución a ciudades más sensibles al agua. Otra oportunidad de implementación son los futuros planes comunales de acción climática explicados en la Ley 21455 de Cambio Climático y que deben realizar los Municipios del país.

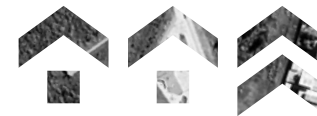
Por supuesto, para consolidar el rol de las Sbn en el control de inundaciones, ya sea para reducir el caudal máximo y/o reducir el volumen de la escorrentía, entre otros efectos, se requieren esfuerzos tecnológicos, eco-

nómicos y de gobernanza. De esta forma, se logrará la colaboración entre gobiernos, empresas, organizaciones no gubernamentales y la sociedad civil, que es necesaria para establecer políticas y estrategias efectivas. Este documento es un soporte a esa discusión, relevando las evidencias científicas.

En este sentido, además es fundamental contar con una gobernanza sólida y transparente, que promueva la participación ciudadana en la toma de decisiones relacionadas con el agua.

REFERENCIAS

- Marquet, Pablo A., Maisa Rojas, Alejandra Stehr, Laura Fariás, Humberto González, Juan Carlos Muñoz, Elizabeth Wagemann, Carolina Rojas, Ignacio Rodríguez y Jorge Hoyos (2021).** *Soluciones basadas en la naturaleza. Coordinado por Pablo A. Marquet y Maisa Rojas. Santiago: Comité Científico de Cambio Climático; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.* doi: 10.5281/zenodo.5736938
- McPhillips, L., Wu, H., Rojas, C., Rosenzweig, B., Sauer, J. R., & Winfrey, B. (2023).** "Chapter 7: Nature-based solutions as critical urban infrastructure for water resilience". In *Nature-Based Solutions for Cities*. Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781800376762.00017>
- Muñoz, J. C., J. Barton, D. Frías, A. Godoy, W. Bustamante Gómez, S. Cortés, M. Munizaga, C. Rojas y E. Wagemann (2019).** *Ciudades y cambio climático en Chile: Recomendaciones desde la evidencia científica.* Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.
- Rojas, C., Pino, J. & Jaque, E. (2013).** *Strategic Environmental Assessment in Latin America: a methodological proposal for Urban Planning in the Metropolitan Area of Concepción (Chile).* Land Use Policy 30, 519-527. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837712000798>
- Rojas, C.** Columna de opinión Diario Sustentable <https://www.diariosustentable.com/2023/06/avanzando-hacia-ciudades-sensibles-al-agua-en-chile-y-latinoamerica/>
- Rojas, O.** Columna de opinión cápsula informativa <https://capsulainformativa.cl/el-retorno-de-las-inundaciones/>
- Rojas, O., Mardones, M., Arumí, J. L., y Aguayo, Mauricio. (2014).** *Una revisión de inundaciones fluviales en Chile, período 1574-2012: causas, recurrencia y efectos geográficos.* Revista de geografía Norte Grande, (57), 177-192. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022014000100012>
- UICN (2020).** *Estándar Global de la UICN para soluciones basadas en la naturaleza. Un marco sencillo para la verificación, el diseño y la extensión de SbN.* Primera edición. Gland, Suiza: UICN.



DOCUMENTO PARA
POLÍTICA PÚBLICA