

## XIII Jornadas de Investigación CAEAU

### **CIUDADES ESPONJA** **Sistemas urbanos de desagüe sostenible<sup>1</sup>** Francisco L Toledo<sup>2</sup>

#### *Resumen*

Las ciudades esponja son un enfoque innovador y sostenible para el desarrollo urbano que se centra en la gestión eficiente del agua y la protección del medio ambiente. El término "ciudad esponja" se utiliza para describir una ciudad que puede absorber, almacenar y utilizar de manera eficiente el agua de lluvia imitando los procesos naturales de filtración y retención de agua que se encuentran en los ecosistemas naturales.

En lugar de canalizar el agua de lluvia y los desbordamientos de los sistemas de alcantarillado hacia los cuerpos de agua, las ciudades esponja buscan retener el agua en el lugar donde cae a través de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).

La planificación urbana también desempeña un papel fundamental en el desarrollo de una ciudad esponja, con una mayor consideración de los espacios abiertos, la infraestructura verde y la adaptación al cambio climático. Estas áreas verdes proporcionan espacios recreativos y promueven la biodiversidad en entornos urbanos con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los habitantes al crear entornos más saludables y resilientes.

Esta forma de reconstruir el ciclo hidrológico, a través de la naturalización del paisaje urbano contribuye, junto con otros muchos beneficios de innegable valor, a crear espacios saludables para sus habitantes y aumentar la calidad del entorno en su sentido más amplio.

El presente artículo identifica y documenta experiencias en torno a los SUDS en diversas ciudades a escala global con el objetivo de implantar y desarrollar SUDS a modo de meta proyecto en la Ciudad de Buenos Aires.

#### *Introducción*

##### Contexto del Problema

En el contexto actual, el manejo del agua en entornos urbanos se ha convertido en un desafío crucial debido a diversos factores. El crecimiento acelerado de las ciudades ha resultado en un aumento de la urbanización y la expansión de áreas urbanas. Esta expansión ha llevado a una mayor impermeabilización del suelo, lo que interfiere con

---

<sup>1</sup> Este ensayo es un avance de investigación del Proyecto 23 denominado *Ciudades Esponja*.

<sup>2</sup> Arquitecto, Doctor en Arquitectura&Urbanismo DAR y profesor de FA UAI Buenos Aires.

el ciclo natural del agua y contribuye a problemas como inundaciones y la pérdida de espacios verdes.

Además, el cambio climático es una preocupación importante en relación con el manejo del agua urbana. Se espera que el cambio climático incremente la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos, como lluvias torrenciales y tormentas, lo que a su vez aumenta el riesgo de inundaciones y desbordamientos de los sistemas de drenaje existentes.

En la ciudad de Buenos Aires, la cantidad anual de precipitación ha sufrido modificaciones sostenidas en el tiempo, con distinta intensidad y en distintas épocas del año. También, se han observado cambios muy significativos en la ocurrencia de eventos extremos de precipitación, tales como lluvias muy intensas en períodos cortos de tiempo, así como sequías prolongadas. En promedio, desde 1960 a la actualidad, el incremento ha sido de 47 mm por década. (1.078 mm - 1970/1979, 1.140 mm – 1990/1999 – 1.254 mm 2010/2018).

Adicionalmente, se manifestaron aumentos en la cantidad de lluvia acumulada en cinco días, o la cantidad de lluvia por día, lo que está mostrando que no solo aumentó la cantidad de lluvia total, sino que este incremento se refleja principalmente en el aumento de casos de lluvias extremas: muchos milímetros en corto tiempo que producen, en general, inundaciones importantes en las ciudades.

El régimen de inundaciones en la ciudad de Buenos Aires ha sido un desafío constante debido a su ubicación geográfica y su sistema de drenaje históricamente insuficiente. La ciudad está situada en una llanura costera y es atravesada por varios ríos y arroyos, como el Río de la Plata, el Riachuelo y el Matanza-Riachuelo. Además, la topografía plana de la zona dificulta el drenaje adecuado de las aguas pluviales.

Durante muchos años, la ciudad de Buenos Aires ha experimentado inundaciones recurrentes, especialmente durante las fuertes lluvias o tormentas. Las principales causas de estas inundaciones incluyen la falta de infraestructura adecuada para el drenaje de aguas pluviales, el crecimiento urbano descontrolado, la obstrucción de los sistemas de drenaje debido a la acumulación de basura y la falta de mantenimiento de los canales y arroyos.

Otro desafío en el contexto actual es la escasez de recursos hídricos. La ciudad de Buenos Aires enfrenta problemas de abastecimiento de agua, y la gestión sostenible del agua se ha vuelto fundamental para garantizar un suministro adecuado en el futuro. La falta de agua también implica la necesidad de reevaluar los sistemas de drenaje tradicionales que desperdician y descargan agua de lluvia de manera ineficiente.

Las vías de desarrollo no sostenibles han afectado la calidad y disponibilidad de los recursos hídricos, comprometiendo la capacidad de generar beneficios sociales y económicos al estar aumentando la demanda de agua dulce. Siendo condicionada por el crecimiento demográfico, la urbanización y demás; como consecuencia traen consigo una serie de cambios y alteraciones en las condiciones naturales al aumentar las superficies impermeables, generando problemas en el drenaje y la gestión de las aguas lluvias debido al aumento en los caudales de escorrentía, que se agudizan con

la limitada capacidad de los colectores existentes, y el aumento en las intensidades de lluvias, traducido en inundaciones y pérdidas económicas para las comunidades.

El ambiente, en una visión holística integral donde el ser humano y su entorno —natural como animal— es una unidad indivisible que afirma que la política de Estado debe ser fundamentalmente social. Porque donde lo humano se degrada, se degrada el ambiente; y solo cuando se dignifica lo humano se preserva y cuida la casa común que todos habitamos y de la que formamos parte.

### *Justificación de la Investigación*

El contexto actual de crecimiento urbano acelerado, cambio climático y escasez de recursos hídricos plantea desafíos significativos para el manejo del agua en entornos urbanos. La investigación en Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible se justifica por la necesidad de encontrar soluciones sostenibles y eficientes que aborden estos desafíos, así como por los beneficios ambientales, sociales y económicos que estos sistemas pueden ofrecer

Los sistemas de drenaje convencionales a menudo tienen un impacto negativo en el medio ambiente, como la contaminación del agua y la degradación de los ecosistemas acuáticos. Por el contrario, los SUDS se basan en principios de diseño ecológico que promueven la infiltración y el tratamiento natural del agua de lluvia, lo que contribuye a mejorar la calidad del agua y proteger los ecosistemas.

La implementación de los SUDS puede generar una serie de beneficios para las comunidades urbanas. Estos sistemas pueden reducir el riesgo de inundaciones, mejorar la calidad del agua, crear espacios verdes y promover la salud y el bienestar de los residentes. Además, los SUDS pueden ser económicamente viables a largo plazo al reducir los costos de mantenimiento de la infraestructura de drenaje y ahorrar recursos hídricos.

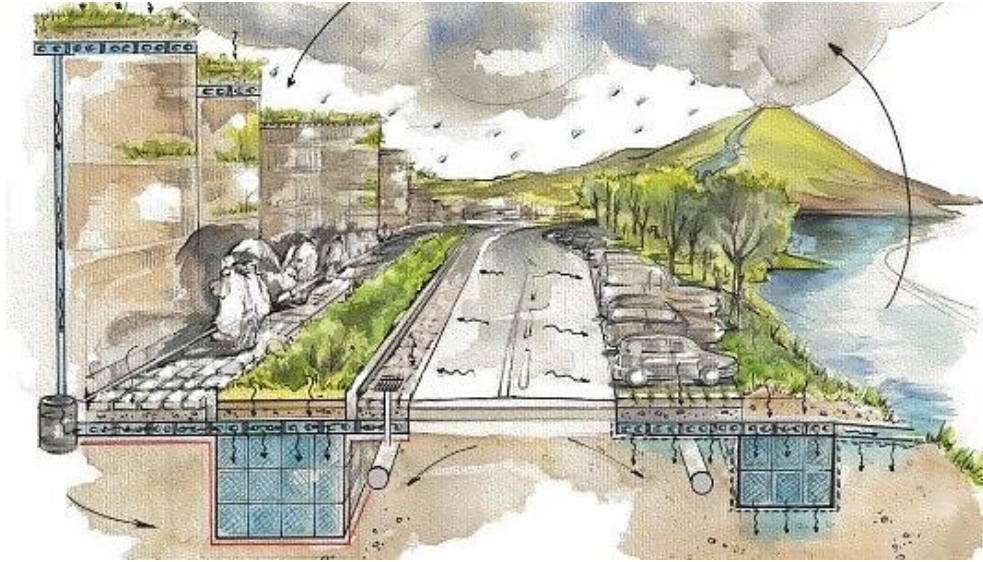


Imagen 1 Sección de SUDS.

El tema de estudio es el análisis de las perspectivas de los SUDS clasificándolos en dos grupos atendiendo a la tipología de actuación a realizar:

#### *Medidas estructurales*

Son aquellas que precisan de algún elemento constructivo para gestionar el agua de lluvia, prevenir su contaminación y/o reducir la generación de escorrentía. Entre ellas se encuentran: los pavimentos permeables, las cubiertas vegetales etc.

#### *Medidas no estructurales*

Son aquellas medidas que, sin precisar de una intervención física concreta sobre el sistema de drenaje, permiten una mejora en la gestión de las aguas de lluvia y una optimización de las infraestructuras existentes. Estas medidas incluyen actuaciones educativas, legislativas, de planificación y de gestión. Sus objetivos principales son optimizar el aprovechamiento de los sistemas de drenaje existentes, concienciar a la ciudadanía acerca de la importancia del drenaje urbano y favorecer el diseño adecuado de las futuras infraestructuras.

El tema de investigación se inscribe por una parte en la planificación de desarrollos urbanos con espacios ecológicos resilientes en los cuales se generan biodiversidad y reutilizan espacios residuales, y por otra, en el desarrollo de alternativas de drenaje sustentables.

La ciudad se extiende sobre el paisaje a costa de la naturaleza, como una matriz dentro de la cual quedan espacios verdes, a veces áreas bien delimitadas y a veces simplemente como espacios sin urbanizar (Clares Villa: 2017,12).

Este déficit en la cantidad y calidad de los espacios verdes urbanos, permite generar oportunidades de ocupación para la implantación de sistemas de drenaje sostenibles promoviendo intervenciones de transformación y readecuación de infraestructuras.

#### *Corpus de la Investigación*

La idea de conocer el concepto de sistema de urbano de desagüe sostenible desarrollado en el siglo XXI se presenta como una apuesta teórica y práctica para integrar elementos que se transfieren, mezclan y transponen en diferentes áreas y disciplinas de la ciencia, los cuales conforman un sistema de actividades cuyo objetivo común es la resiliencia y sostenibilidad urbana.

Estas acciones se desarrollan en espacios sociales marcados por condiciones económicas y políticas, de esta manera, se conforman espontáneamente encadenamientos y redes entre diferentes actores con diferente funcionalidad, estableciendo relaciones de cooperación y competencia, las que participan de las fuerzas sociales que caracterizan los territorios en los cuales coexisten esquemas culturales, políticos y económicos.

En este trabajo se aborda, a modo de aproximación no exhaustiva, aspectos descriptivos y analíticos, considerando aquellos relacionados con la estructura y el funcionamiento de las experiencias, las redes con las que se relacionan.

En una primera instancia se pretende analizar la interacción de las diversas funciones y combinaciones de elementos y aspectos teóricos y prácticos en el desarrollo de los SUDS y exponer sus causas y consecuencias (alcance). Por otra parte, procede a detectar, documentar y analizar las innovaciones teóricas y proyectuales e intervenciones más relevantes e identificables de los mismos a partir de la interacción de diversos factores desde lo urbano/territorial, lo ecológico/ambiental, lo sociocultural, lo político/económico, las tecnologías usadas, la escala y la temporalidad.

Finalmente, se busca generar una intervención integral a modo de meta proyecto para la implementación de SUDS en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires con el propósito de exponer una serie de herramientas y consideraciones al llevar a cabo dichas prácticas.

El objetivo básico de la investigación es analizar la implementación de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en entornos urbanos, centrándose en su eficacia para mitigar los problemas de manejo del agua de lluvia y promover la sostenibilidad en el entorno construido así como proponer un modelo de aplicación en un sector de la Ciudad de Buenos Aires.

Se trata así de (1) describir el potencial transformador de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, analizando los fundamentos teóricos, los principios de diseño y funcionamiento, y los beneficios asociados, (2) Identificar, estudiar y sistematizar los diferentes modelos de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible utilizados en contextos urbanos.,(3) Comparar experiencias a escala global y (4) Verificar la aplicabilidad de un estudio de caso en la ciudad de Buenos Aires.

El estudio sobre los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible es de gran importancia debido a los siguientes aspectos: (1) Manejo sostenible del agua: En un momento en que el agua se ha convertido en un recurso cada vez más escaso, es esencial desarrollar enfoques de manejo del agua que sean sostenibles y eficientes. Los SUDS representan una estrategia innovadora que integra principios de diseño ecológico y tecnologías de bajo impacto para gestionar el agua de lluvia de manera más sostenible

en entornos urbanos (2) Mitigación de riesgos: Los eventos climáticos extremos, como las lluvias torrenciales, están aumentando en frecuencia e intensidad debido al cambio climático. Esto plantea un mayor riesgo de inundaciones en las áreas urbanas. La implementación de SUDS puede ayudar a mitigar estos riesgos al permitir una gestión más efectiva del agua de lluvia, reduciendo así el impacto de las inundaciones en las comunidades y la infraestructura urbana, (3) Mejora de la calidad del agua: Los sistemas de drenaje convencionales a menudo generan problemas de contaminación del agua, ya que descargan agua de lluvia no tratada en cuerpos de agua naturales. Los SUDS incorporan técnicas de infiltración y tratamiento natural que ayudan a mejorar la calidad del agua al reducir la carga de contaminantes y permitir una filtración y purificación más efectiva antes de que el agua alcance los cuerpos de agua receptores y (4) Beneficios sociales y ambientales: Los SUDS no solo ofrecen soluciones técnicas para el manejo del agua, sino que también generan una serie de beneficios sociales y ambientales. Estos sistemas pueden crear espacios verdes y áreas recreativas, mejorar la calidad estética del entorno urbano, promover la biodiversidad y contribuir al bienestar y la salud de los residentes al proporcionar entornos más agradables y saludables.

Asimismo el estudio sobre los SUDS es relevante debido a los siguientes aspectos (1) Tendencias globales y demanda creciente: En todo el mundo, existe una creciente conciencia sobre la importancia de la gestión sostenible del agua en entornos urbanos. Los SUDS se están convirtiendo en una práctica cada vez más adoptada en muchos países debido a su eficacia y beneficios. Investigar y comprender su implementación y efectividad en un contexto específico, como [nombre de la ciudad], es relevante para seguir avanzando en esta dirección, (2) Políticas y regulaciones: Existe un marco normativo y político en evolución que promueve la adopción de prácticas sostenibles de manejo del agua en entornos urbanos. El estudio de los SUDS contribuye al cumplimiento de estas políticas y regulaciones al proporcionar información y recomendaciones basadas en la investigación y (3) Contribución al conocimiento científico: La investigación en SUDS contribuye al avance del conocimiento científico en el campo de la gestión del agua en entornos urbanos. Al investigar y analizar los diferentes aspectos de los SUDS, se generan conocimientos y se identifican áreas de mejora y oportunidades para futuras investigaciones.

### *Fundamentos teóricos de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)*

El concepto de drenaje urbano abarca un conjunto de técnicas, infraestructuras y estrategias diseñadas para manejar el flujo de agua en áreas urbanas. Su objetivo primordial radica en asegurar una gestión eficiente y segura de las aguas pluviales, reduciendo al mínimo los riesgos de inundación y salvaguardando tanto el entorno natural como los sistemas de saneamiento.

En contraposición, los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) representan un cambio significativo en la manera en que se aborda el problema del agua de lluvia en contextos urbanos. Estos sistemas se fundamentan en una serie de principios y

estrategias que imitan el ciclo hidrológico natural, con el propósito de gestionar el agua de lluvia de forma más sostenible y responsable en áreas urbanas. De esta manera, se promueve su infiltración, retención y reutilización en beneficio tanto de la comunidad como del medio ambiente.

Los SUDS fomentan la captación y utilización local de las aguas pluviales, favoreciendo su infiltración en el suelo, su almacenamiento en estructuras como estanques o depósitos, y su reutilización en actividades no potables, como el riego de áreas verdes o su empleo en sistemas de refrigeración.

Este enfoque conlleva una planificación integrada y holística del drenaje urbano, que no solo considera aspectos técnicos, sino también sociales, económicos y ambientales. Se busca así disminuir la escorrentía superficial, mitigar los impactos negativos de la urbanización en los ciclos hidrológicos y mejorar la calidad del agua en los cuerpos receptores.

#### Enfoque basado en el ciclo hidrológico

El principio fundamental de sostenibilidad en el manejo del agua urbana implica la integración de la dimensión ambiental, social y económica en todas las decisiones y acciones relacionadas con el agua. Esto implica considerar los aspectos ambientales, como la protección de los recursos hídricos, la conservación de la biodiversidad y la reducción de la contaminación. Además, se deben abordar los aspectos sociales, como la equidad en el acceso al agua, la participación ciudadana y la mejora de la calidad de vida de los habitantes urbanos. Por último, se deben evaluar los aspectos económicos, como la viabilidad financiera de las soluciones implementadas y el análisis costo-beneficio.

El ciclo hidrológico es un proceso natural que involucra la circulación del agua en la Tierra, incluyendo la evaporación desde superficies acuosas, la condensación en forma de nubes, la precipitación, la escorrentía, la infiltración en el suelo, la recarga de acuíferos y la transpiración de las plantas. Este ciclo es esencial para el equilibrio hídrico y los ecosistemas naturales. La urbanización y el crecimiento de las ciudades han interrumpido y modificado significativamente este ciclo hidrológico. La pavimentación extensiva, la eliminación de áreas verdes y la construcción de infraestructuras impermeables han aumentado la escorrentía superficial y reducido la infiltración de agua en el suelo. Esto ha llevado a problemas como inundaciones urbanas, degradación de la calidad del agua y disminución de los recursos hídricos disponibles.

En respuesta a estos desafíos, el enfoque basado en el ciclo hidrológico propone restaurar y replicar, en la medida de lo posible, los procesos naturales del ciclo hidrológico en entornos urbanos. Esto implica capturar, retener, infiltrar y reutilizar el agua de lluvia de manera que se sigan las etapas naturales del ciclo hidrológico, en lugar de simplemente recolectar y desviar el agua hacia los sistemas de drenaje convencionales. Para lograr esto, los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) utilizan una variedad de técnicas y elementos diseñados para imitar la infiltración

natural del agua en el suelo, reducir la escorrentía superficial y promover la recarga de acuíferos.

Algunos ejemplos de técnicas utilizadas en los SUDS incluyen techos verdes, pavimentos permeables, zanjas de infiltración, estanques de retención y áreas verdes. Estas soluciones se implementan estratégicamente en todo el entorno urbano para maximizar la captura y el uso sostenible del agua de lluvia. El enfoque basado en el ciclo hidrológico no solo contribuye a la gestión eficiente del agua de lluvia, sino que también proporciona una serie de beneficios adicionales. Al replicar los procesos hidrológicos naturales, los SUDS pueden reducir los riesgos de inundaciones al controlar la escorrentía y permitir una absorción gradual del agua en el suelo y también pueden mitigar el efecto de isla de calor urbano al proporcionar áreas verdes y superficies permeables que reducen la temperatura del entorno urbano. Además, los SUDS fomentan la biodiversidad y la creación de espacios verdes, mejorando la calidad de vida de los habitantes de la ciudad.

En resumen, el enfoque basado en el ciclo hidrológico se centra en restablecer los procesos naturales del ciclo hidrológico en entornos urbanos a través de la implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Este enfoque ofrece una perspectiva integral para abordar los desafíos del manejo del agua en las ciudades, promoviendo la sostenibilidad, la resiliencia y la calidad de vida de los habitantes urbanos.

### *Principios de diseño y funcionamiento de los SUDS*

**Gestión a nivel de fuente:** La gestión a nivel de fuente es uno de los principales principios de diseño de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). Este enfoque se basa en la captación, tratamiento y retención del agua pluvial en el lugar donde se genera, es decir, cerca de la fuente de origen, en contraposición al enfoque convencional que consiste en recolectar y transportar rápidamente el agua pluvial hacia sistemas de drenaje centralizados.

La gestión a nivel de fuente se logra a través de diversas técnicas y componentes de los SUDS, entre los cuales se incluyen:

**Techos verdes:** Los techos verdes son superficies vegetadas instaladas en la parte superior de los edificios. Estas superficies retienen y absorben el agua de lluvia, reduciendo el volumen de escorrentía y permitiendo que el agua se evapore o se infiltre gradualmente. Además, los techos verdes proporcionan beneficios adicionales como la reducción de la temperatura ambiente, la mejora de la calidad del aire y la creación de hábitats para la fauna urbana.

**Pavimentos permeables:** Los pavimentos permeables reemplazan los pavimentos convencionales, como el asfalto o el hormigón, por materiales porosos que permiten la infiltración del agua pluvial en el suelo. Estos pavimentos pueden ser utilizados en calles, estacionamientos, aceras y patios, permitiendo que el agua se filtre gradualmente y se recarguen los acuíferos subterráneos.



**Zanjas de infiltración:** Las zanjas de infiltración son trincheras excavadas llenas de material permeable, como grava, que captan el agua de lluvia y permiten su infiltración en el suelo. Estas zanjas se colocan a lo largo de áreas de escorrentía natural o cerca de superficies impermeables, actuando como barreras para captar y tratar el agua antes de que se dirija a los sistemas de drenaje convencionales.

**Jardines de lluvia:** Los jardines de lluvia son áreas ajardinadas especialmente diseñadas para captar y retener el agua de lluvia. Estos jardines están ubicados en depresiones del terreno y se llenan con sustratos permeables y plantas adaptadas a condiciones de humedad. El agua de lluvia recolectada en los jardines de lluvia se filtra gradualmente en el suelo, contribuyendo a la recarga de los acuíferos y mejorando la calidad del agua.

**Filtración biológica:** La filtración biológica es un proceso de tratamiento del agua que utiliza microorganismos y vegetación para remover contaminantes y mejorar la calidad del agua. Se emplean medios filtrantes, como sustratos con material orgánico o plantas acuáticas, que actúan como filtros naturales. Este proceso es especialmente efectivo para eliminar sedimentos, nutrientes y sustancias químicas del agua pluvial.

**Humedales construidos:** Los humedales construidos son áreas diseñadas para simular y replicar las funciones de los humedales naturales. Estos sistemas utilizan plantas acuáticas y sustratos especiales para filtrar y tratar el agua pluvial. Los humedales construidos son capaces de retener y eliminar contaminantes, mejorando así la calidad del agua antes de que sea descargada al sistema de drenaje o cuerpos de agua circundantes.

**Filtros verdes:** Los filtros verdes son estructuras diseñadas para filtrar y tratar el agua pluvial a medida que fluye a través de ellos. Están compuestos por una combinación de sustratos, como arena, gravilla y medios de filtración biológica, así como plantas adaptadas a ambientes húmedos. Los filtros verdes ayudan a reducir la carga de contaminantes y a mejorar la calidad del agua antes de su descarga.

Estas tecnologías naturales se utilizan en combinación con otras técnicas de gestión del agua pluvial para lograr una mayor eficiencia y sostenibilidad en los SUDS.

La incorporación de tecnologías naturales en los SUDS es fundamental para lograr un manejo integrado y sostenible del agua pluvial en entornos urbanos. Estas soluciones basadas en la naturaleza contribuyen a la resiliencia de las ciudades frente al cambio climático y promueven un entorno urbano más saludable y habitable para todos.

La gestión a nivel de fuente mediante estas técnicas permite reducir el volumen de escorrentía y la carga de contaminantes transportados por el agua pluvial, disminuyendo así el riesgo de inundaciones y la contaminación de cuerpos de agua. Además, fomenta la recarga de los acuíferos y el mantenimiento de un ciclo hidrológico más equilibrado en entornos urbanos.

### *Enfoque multidimensional*

Este enfoque reconoce que los SUDS no solo se centran en el manejo del agua pluvial, sino que también tienen como objetivo proporcionar una serie de beneficios adicionales a nivel ambiental, social y económico.

*Mejora de la calidad del aire:* Los SUDS pueden incluir vegetación abundante, como áreas verdes, techos verdes y jardines de lluvia, que ayudan a purificar el aire al absorber contaminantes atmosféricos y generar oxígeno. Esto contribuye a reducir la contaminación del aire y mejorar la calidad de vida de los habitantes de las ciudades.

*Reducción del efecto de isla de calor urbano:* Los SUDS pueden utilizar superficies permeables y vegetación para aumentar la cobertura vegetal y disminuir la temperatura en áreas urbanas. La vegetación proporciona sombra y ayuda a reducir la absorción y emisión de calor, lo que contribuye a mitigar el efecto de isla de calor urbano, donde las áreas urbanas tienden a ser más calientes que las áreas rurales circundantes.

*Incremento de la biodiversidad:* Los SUDS pueden incluir elementos de vegetación, hábitats acuáticos y áreas verdes que fomenten la diversidad de especies de plantas y animales en entornos urbanos. Estos espacios pueden convertirse en refugios para la vida silvestre, promoviendo la conservación de la biodiversidad y la conectividad ecológica dentro de la ciudad.

*Mejora del paisaje urbano y la calidad visual:* Los SUDS pueden ser diseñados de manera estética, utilizando elementos naturales como plantas, fuentes de agua y materiales permeables que embellezcan el entorno urbano. Esto contribuye a mejorar la calidad visual de los espacios públicos y promover un entorno urbano más atractivo y agradable para los residentes.

*Aprovechamiento de recursos hídricos:* Los SUDS pueden incluir sistemas de recolección y almacenamiento de agua pluvial para su posterior reutilización en aplicaciones como riego de áreas verdes, lavado de vehículos y usos no potables en edificios. Esto ayuda a conservar los recursos hídricos y reducir la dependencia de fuentes de agua convencionales.

*Beneficios socioeconómicos:* Los SUDS pueden generar beneficios económicos y sociales al crear empleos locales en su construcción y mantenimiento, aumentar el valor de las propiedades cercanas, mejorar la calidad de vida de los residentes y promover la participación comunitaria en la planificación y mantenimiento de estos sistemas.

El enfoque multifuncional de los SUDS permite maximizar los beneficios y las sinergias entre diferentes componentes y funciones en la planificación y diseño de soluciones de drenaje sostenible. Al integrar estos aspectos adicionales, los SUDS se convierten en elementos más completos y valiosos para el entorno urbano, mejorando la calidad de vida de los residentes y la sostenibilidad de las ciudades.

### *Integración con el entorno*

Este enfoque reconoce la importancia de adaptar y diseñar los SUDS de manera armoniosa con el entorno natural y construido, aprovechando las características y recursos existentes en el área.

*Análisis del contexto:* Antes de diseñar los SUDS, es crucial realizar un análisis detallado del entorno local, teniendo en cuenta aspectos como el clima, la topografía, la vegetación, los cuerpos de agua y las características urbanas. Esto proporciona una comprensión profunda del contexto y las necesidades específicas del área, permitiendo adaptar los SUDS de manera eficiente y respetuosa con el entorno.

*Diseño basado en el paisaje:* La integración de los SUDS con el paisaje existente es esencial para lograr una armonía visual y funcional. Se busca diseñar los SUDS de manera que se adapten a la topografía y las características naturales del terreno, utilizando elementos como áreas verdes, zonas de vegetación nativa y cursos de agua naturales. Esto contribuye a la conservación y mejora del paisaje urbano, así como a la creación de espacios atractivos y habitables para los residentes.

*Conexión ecológica:* Se busca diseñar y ubicar los SUDS de manera que actúen como corredores verdes, permitiendo el flujo de especies y promoviendo la biodiversidad en áreas urbanas fragmentadas. Además, se pueden incorporar elementos como hábitats acuáticos, refugios para la fauna y corredores de vegetación que favorezcan la presencia de especies y promuevan la salud de los ecosistemas locales.

*Uso de materiales y tecnologías naturales:* La integración con el entorno también implica utilizar materiales y tecnologías que sean compatibles con el entorno natural y construido. Se busca utilizar materiales permeables y de bajo impacto ambiental, como gravilla, arena y vegetación, que se mezclen armoniosamente con el entorno existente. Además, se pueden emplear técnicas naturales de tratamiento del agua, como la filtración biológica y la fitodepuración, que imitan los procesos naturales y contribuyen a mejorar la calidad del agua.

*Participación comunitaria:* La integración con el entorno también implica involucrar a la comunidad local en la planificación, diseño y mantenimiento de los SUDS. Se promueve la participación activa de los residentes, organizaciones comunitarias y partes interesadas en la toma de decisiones y la implementación de los SUDS. Esto ayuda a garantizar que los SUDS se adapten a las necesidades y aspiraciones locales, promoviendo un sentido de apropiación y cuidado por parte de la comunidad.

Al adaptar los SUDS al contexto local, se logra una armonía visual y funcional con el entorno natural y construido, promoviendo la conservación del paisaje, la conectividad ecológica y la participación comunitaria. Esta integración contribuye a la eficiencia y la sostenibilidad de los SUDS, así como al bienestar y la calidad de vida de los residentes en entornos urbanos.

*Beneficios ambientales, sociales y económicos de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS).*

#### *Beneficios ambientales*

*Gestión sostenible del agua:* Los SUDS promueven una gestión sostenible del agua pluvial al reducir la cantidad de escorrentía y la carga de contaminantes que ingresan a los cuerpos de agua receptores. Al recolectar, tratar y retener el agua pluvial, los

SUDS contribuyen a la conservación de los recursos hídricos y a la protección de los ecosistemas acuáticos.

*Mejora de la calidad del agua:* Los SUDS incorporan técnicas de tratamiento y retención que permiten mejorar la calidad del agua pluvial antes de su liberación o reutilización. Estas técnicas ayudan a eliminar o reducir la carga de contaminantes, como sedimentos, nutrientes, metales pesados y contaminantes orgánicos, lo que contribuye a mantener la calidad del agua en los cuerpos de agua receptores.

*Reducción de inundaciones y erosión:* Los SUDS ayudan a mitigar los efectos de las inundaciones al reducir la cantidad y velocidad de la escorrentía superficial. Mediante la implementación de técnicas de retención y control de caudales, los SUDS permiten la absorción y la infiltración del agua pluvial en el suelo, evitando la saturación del sistema de drenaje y reduciendo el riesgo de inundaciones. Además, al disminuir la escorrentía, se reduce la erosión del suelo y la sedimentación en los cuerpos de agua.

*Mejora del microclima urbano:* Los SUDS, especialmente aquellos que incorporan áreas verdes, contribuyen a la mejora del microclima urbano. La vegetación y la presencia de áreas permeables ayudan a reducir la temperatura ambiente, promover la circulación del aire y mejorar la calidad del aire al capturar partículas y contaminantes.

#### *Beneficios sociales*

*Mejora de la calidad de vida:* Los SUDS pueden tener un impacto positivo en la calidad de vida de los habitantes urbanos al crear entornos más saludables y agradables. La presencia de áreas verdes y espacios abiertos en los SUDS proporciona oportunidades para la recreación, el esparcimiento y la conexión con la naturaleza, mejorando así el bienestar general de la comunidad.

*Participación comunitaria:* Los SUDS fomentan la participación activa de la comunidad en la planificación, diseño e implementación de los sistemas. Esto promueve la colaboración entre los residentes, las autoridades locales y otros actores relevantes, fortaleciendo el sentido de comunidad y la toma de decisiones colectivas.

*Sensibilización ambiental:* Los SUDS pueden servir como herramientas educativas para concienciar a la población sobre la importancia de la gestión sostenible del agua y la protección del medio ambiente. Mediante programas de educación y divulgación, se puede informar a la comunidad sobre los beneficios de los SUDS y fomentar prácticas ambientalmente responsables.

#### Beneficios económicos

*Reducción de costos de infraestructura:* Los SUDS pueden proporcionar ahorros significativos en términos de costos de infraestructura. Al integrar técnicas de retención y tratamiento en lugar de depender únicamente de sistemas de drenaje convencionales, se reducen los costos de construcción y mantenimiento de infraestructuras hidráulicas.

*Aumento del valor de la propiedad:* La implementación de los SUDS, especialmente aquellos que incluyen características estéticas y áreas verdes, puede aumentar el valor de la propiedad en áreas urbanas. La presencia de espacios verdes bien diseñados y sistemas de drenaje sostenible puede ser un factor atractivo para los compradores de viviendas y contribuir al desarrollo de comunidades más deseables.

*Creación de empleo:* La planificación, diseño, construcción y mantenimiento de los SUDS generan oportunidades de empleo en sectores como la ingeniería civil, la arquitectura paisajista, la construcción y el mantenimiento de espacios verdes. La implementación de proyectos de SUDS puede impulsar la economía local y contribuir al desarrollo de habilidades y conocimientos especializados.

#### *Marco normativo y políticas relacionadas con los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)*

Estas medidas establecen los estándares, lineamientos y directrices que guían la planificación, diseño, construcción y operación de los SUDS en entornos urbanos.

##### *Marco normativo:*

*Normas y reglamentos de construcción:* Los SUDS están sujetos a normas y reglamentos de construcción que establecen los requisitos técnicos y de seguridad para la implementación de estas infraestructuras.

*Regulaciones ambientales:* Las regulaciones ambientales son fundamentales para garantizar la protección del medio ambiente en la implementación de los SUDS.

*Normativas urbanísticas y de uso del suelo:* La planificación y el desarrollo urbano desempeñan un papel crucial en la implementación efectiva de los SUDS

#### *Políticas relacionadas con los SUDS*

*Políticas de gestión del agua:* Las políticas de gestión del agua establecen las estrategias y los objetivos para la gestión sostenible del agua en entornos urbanos. hídricos, la promoción de la reutilización del agua pluvial y la protección de los ecosistemas acuáticos.

*Políticas de desarrollo sostenible:* Las políticas de desarrollo sostenible promueven la integración de prácticas sostenibles en la planificación y el desarrollo urbano.

*Incentivos y programas de apoyo:* Las políticas también pueden incluir incentivos económicos, programas de financiamiento y apoyo técnico para promover la adopción de los SUDS.

#### *Referencias casuísticas*

##### *Copenhague*

El desarrollo e implementación de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en Copenhague se ha visto respaldado por un sólido marco normativo y político que fomenta su adopción en toda la ciudad.

Este marco ha sido fundamental para establecer directrices claras, regulaciones y políticas que promueven la planificación y la implementación de los SUDS en los proyectos de desarrollo urbano.

*Ley de Gestión del Agua de Lluvia:* Copenhague cuenta con una Ley de Gestión del Agua de Lluvia que establece los requisitos y las responsabilidades para la gestión sostenible de las aguas pluviales. Esta ley establece la obligación de implementar soluciones de drenaje sostenible en nuevos proyectos de construcción y en la renovación de áreas urbanas existentes. Además, promueve la infiltración y la retención del agua de lluvia en el lugar de origen, priorizando el uso de soluciones basadas en la naturaleza, como techos verdes, pavimentos permeables y zonas de infiltración.

*Directrices de Diseño de SUDS:* El municipio de Copenhague ha desarrollado directrices de diseño específicas para los SUDS. Estas directrices proporcionan orientación detallada sobre la planificación, el diseño y la implementación de los SUDS en diferentes contextos urbanos. Establecen criterios técnicos, como las tasas de infiltración requeridas, los volúmenes de almacenamiento, las dimensiones y especificaciones de los elementos de drenaje sostenible, así como pautas para la integración de los SUDS en el paisaje urbano.

*Plan de Agua y Clima de Copenhague:* El Plan de Agua y Clima de Copenhague es una estrategia integral que aborda los desafíos relacionados con el agua y el cambio climático en la ciudad. Este plan establece metas ambiciosas en términos de gestión sostenible del agua, incluyendo la implementación de los SUDS como una medida clave. Proporciona una visión de largo plazo y un marco estratégico para guiar las acciones relacionadas con la gestión del agua de lluvia, la adaptación al cambio climático y la creación de una ciudad más sostenible.

*Colaboración entre entidades gubernamentales y actores relevantes:* El marco normativo y político en Copenhague se basa en una estrecha colaboración entre entidades gubernamentales a nivel local, regional y nacional, así como la participación activa de actores relevantes, como autoridades locales, desarrolladores inmobiliarios, profesionales de la construcción y la comunidad en general. Esta colaboración ha sido fundamental para establecer políticas coherentes, garantizar la implementación adecuada de los SUDS y fomentar la participación de todas las partes interesadas en el proceso de toma de decisiones.

*Incentivos económicos y apoyo financiero:* Copenhague ha implementado diversos incentivos económicos y programas de apoyo financiero para fomentar la adopción de los SUDS. Estos incluyen subsidios para la implementación de soluciones de drenaje sostenible, exenciones fiscales para los proyectos que incorporan elementos de los SUDS y la asignación de recursos financieros para la investigación y el desarrollo de tecnologías y prácticas relacionadas con los SUDS.

En conclusión, el marco normativo y político en Copenhague ha sido un elemento clave para promover y regular la implementación de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). A través de leyes, directrices y estrategias integrales, se ha establecido un marco que fomenta la planificación y el diseño sostenible, y proporciona

orientación técnica y financiera para la implementación de los SUDS en la ciudad. Esta combinación de instrumentos normativos y políticos ha sido fundamental para impulsar la adopción generalizada de los SUDS en Copenhague y promover una gestión del agua más sostenible y resiliente en el entorno urbano.

*Enfoque de planificación urbana sostenible en Copenhague*

**Integración de áreas verdes y espacios abiertos:** Copenhague ha priorizado la creación y preservación de áreas verdes y espacios abiertos en su planificación urbana. Estos espacios no solo proporcionan beneficios ambientales, como la mitigación del calor urbano y la mejora de la calidad del aire, sino que también desempeñan un papel esencial en la gestión sostenible del agua. Los parques y áreas verdes actúan como zonas de infiltración natural, permitiendo que el agua de lluvia se infiltre en el suelo de manera gradual y reduciendo la carga en los sistemas de drenaje convencionales.

El parque Superkilen, un proyecto emblemático de regeneración urbana en Copenhague. Este parque cuenta con características de diseño sostenible, como senderos permeables y áreas de vegetación que actúan como SUDS al permitir la infiltración y retención del agua de lluvia en el lugar.

**Conservación del paisaje natural y promoción de la biodiversidad:** Copenhague ha reconocido la importancia de conservar y proteger su paisaje natural y promover la biodiversidad en su planificación urbana. La ciudad ha incorporado elementos como corredores verdes y áreas naturales en su diseño urbano para mejorar la conectividad ecológica y brindar hábitats para la vida silvestre.

El parque Amager, que ha sido desarrollado como un espacio de recreación y conservación ambiental. Este parque cuenta con sistemas de drenaje sostenible que permiten la infiltración del agua de lluvia en áreas de humedales y estanques, promoviendo la conservación de la biodiversidad y la protección de los recursos hídricos.

**Diseño de infraestructuras verdes y azules:** La planificación urbana sostenible en Copenhague ha priorizado el diseño de infraestructuras verdes y azules. Esto implica la incorporación de elementos como techos verdes, jardines pluviales y sistemas de captación y reutilización de agua de lluvia. Estas infraestructuras no solo proporcionan soluciones sostenibles para la gestión del agua, sino que también mejoran la calidad del entorno urbano y contribuyen a la adaptación al cambio climático.

El Proyecto Cloudburst Management, que se centra en la implementación de infraestructuras verdes y azules para gestionar las precipitaciones intensas y prevenir inundaciones. Este proyecto ha dado lugar a la creación de jardines pluviales y embalses de retención que capturan y retienen el agua de lluvia, reduciendo la carga en los sistemas de alcantarillado y protegiendo las áreas urbanas de las inundaciones.

*Participación de los actores relevantes en la implementación de los (SUDS)*

La implementación exitosa de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en Copenhague ha requerido la participación activa y la colaboración de diversos actores, incluyendo entidades gubernamentales, autoridades locales, profesionales de la construcción, desarrolladores inmobiliarios y la comunidad en general.

*Entidades gubernamentales y autoridades locales:* Las entidades gubernamentales, como el Municipio de Copenhague y la Agencia Danesa de Medio Ambiente, han desempeñado un papel crucial en la promoción y el respaldo de los SUDS. Estas entidades han establecido políticas, regulaciones y directrices que respaldan la implementación de los SUDS en proyectos de desarrollo urbano.

El Municipio de Copenhague ha creado la Estrategia de Gestión del Agua de Lluvia, que establece los objetivos y las directrices para la gestión sostenible del agua de lluvia en la ciudad. Además, ha invertido en infraestructuras y proyectos de SUDS, como la construcción de jardines pluviales y embalses de retención.

El Municipio ha asumido el liderazgo en el desarrollo de estrategias y planes relacionados con la gestión del agua de lluvia y la planificación urbana sostenible. A través de su departamento de medio ambiente y servicios técnicos, ha establecido la Estrategia de Gestión del Agua de Lluvia, que proporciona directrices y metas para la gestión sostenible del agua de lluvia en Copenhague.

Se ha invertido en la construcción de infraestructuras de SUDS, como jardines pluviales, zonas de infiltración y embalses de retención, en diferentes áreas de la ciudad. Estas acciones han contribuido a mejorar la gestión del agua de lluvia, reducir el riesgo de inundaciones y crear entornos urbanos más sostenibles.

En el distrito de Frederiksberg, que es una municipalidad independiente dentro de Copenhague, se ha implementado un enfoque específico para la gestión sostenible del agua de lluvia. Se han creado parques urbanos que funcionan como jardines pluviales y zonas de infiltración, capturando y reteniendo el agua de lluvia de manera efectiva.

La participación activa de las entidades gubernamentales y autoridades locales en Copenhague ha sido fundamental para establecer un marco normativo claro, impulsar la implementación de los SUDS y garantizar su integración efectiva en la planificación y gestión urbana. Su colaboración ha sentado las bases para una ciudad más sostenible y resiliente en términos de gestión del agua de lluvia.

*Profesionales de la construcción y desarrolladores inmobiliarios*

Han sido responsables de integrar soluciones de drenaje sostenible en el diseño y la construcción de edificios y áreas urbanas.

Un ejemplo notable es el proyecto Lynetteholm, una isla artificial que se está desarrollando en Copenhague. Este proyecto incorpora ampliamente los principios de los SUDS, como techos verdes, pavimentos permeables y sistemas de captación y reutilización de agua de lluvia. Los profesionales de la construcción y los desarrolladores inmobiliarios han trabajado en estrecha colaboración con las autoridades para garantizar que los SUDS se implementen de manera efectiva en esta nueva área urbana.

*Integración de soluciones de SUDS en proyectos de construcción:* Estas soluciones incluyen la implementación de techos verdes, jardines pluviales, pavimentos permeables y sistemas de captación y reutilización de agua de lluvia.

Según datos recopilados por el Municipio de Copenhague, se estima que más del 80% de los edificios nuevos en la ciudad han incorporado características de SUDS en su diseño y construcción. Esto demuestra un compromiso significativo por parte de los



profesionales de la construcción y los desarrolladores inmobiliarios para integrar prácticas de gestión sostenible del agua en los proyectos de construcción.

Ejemplo: Proyecto de viviendas Nordhavn: Un ejemplo destacado es el proyecto de desarrollo urbano de Nordhavn en Copenhague. Este proyecto, que busca transformar un antiguo puerto industrial en un área residencial y comercial, ha incorporado de manera integral los SUDS en su diseño y construcción.

En el caso del desarrollo de viviendas en Nordhavn, los profesionales de la construcción y los desarrolladores inmobiliarios han implementado techos verdes en los edificios para mejorar la absorción de agua de lluvia y reducir la escorrentía. Además, se han diseñado espacios abiertos con pavimentos permeables que permiten la infiltración del agua de lluvia en el suelo.

*Colaboración con autoridades y profesionales del medio ambiente:* Los profesionales de la construcción y los desarrolladores inmobiliarios en Copenhague trabajan en estrecha colaboración con las autoridades locales y los profesionales del medio ambiente para garantizar la implementación adecuada de los SUDS.

Por ejemplo, el Municipio de Copenhague ha establecido directrices y regulaciones claras que especifican los requisitos de diseño y construcción relacionados con los SUDS. Los profesionales de la construcción y los desarrolladores inmobiliarios deben cumplir con estas directrices y trabajar en colaboración con las autoridades para obtener los permisos necesarios.

Además, existen asociaciones y grupos profesionales en Copenhague, como la Asociación Danesa de Constructores y la Asociación Danesa de Desarrolladores Inmobiliarios, que promueven la implementación de prácticas sostenibles, incluidos los SUDS, en el sector de la construcción.

La participación activa de los profesionales de la construcción y los desarrolladores inmobiliarios en Copenhague ha sido fundamental para integrar los SUDS en la planificación y construcción de edificios y desarrollos urbanos. Su adopción de soluciones sostenibles ha contribuido a la mejora de la gestión del agua de lluvia en la ciudad y a la creación de entornos urbanos más resistentes y sostenibles.

*Comunidad local y ciudadanos:* La conciencia y la comprensión de la importancia de la gestión sostenible del agua de lluvia han sido promovidas a través de campañas de sensibilización y programas educativos.

Además, la comunidad local ha estado involucrada en la planificación y el diseño de proyectos de SUDS, aportando sus perspectivas y preocupaciones.

Por ejemplo, en el proyecto de renovación urbana de Enghaveparken, los ciudadanos fueron consultados y participaron activamente en la incorporación de elementos de los SUDS, como la creación de áreas verdes y la mejora de la gestión del agua de lluvia en el parque.

Estos ejemplos demuestran que la participación de diversos actores relevantes ha sido fundamental para la implementación exitosa de los SUDS en Copenhague. La colaboración entre entidades gubernamentales, profesionales de la construcción, desarrolladores inmobiliarios y la comunidad local ha permitido que los SUDS se integren de manera efectiva en la planificación y el desarrollo urbano, promoviendo una

gestión sostenible del agua de lluvia y una mayor resiliencia ante los desafíos del cambio climático.

*Participación en la planificación y diseño de proyectos:* La comunidad local y los ciudadanos han tenido la oportunidad de participar activamente en la planificación y diseño de proyectos que incorporan los SUDS. A través de reuniones comunitarias, talleres y consultas públicas, se les ha invitado a aportar sus ideas, preocupaciones y perspectivas relacionadas con la gestión del agua de lluvia y los proyectos de SUDS. En el proyecto de renovación urbana de Enghaveparken, se llevaron a cabo reuniones con los residentes y usuarios del parque para discutir la incorporación de elementos de SUDS, como la creación de áreas verdes que actúen como jardines pluviales. Las opiniones de la comunidad local fueron tomadas en cuenta durante el proceso de diseño, lo que permitió adaptar las soluciones a las necesidades y expectativas de los ciudadanos.

*Campañas de sensibilización y programas educativos:* Se han llevado a cabo campañas de divulgación que destacan la necesidad de reducir la escorrentía y promueven la captación y reutilización del agua de lluvia a nivel individual y comunitario. Además, se han organizado talleres y capacitaciones para enseñar a los ciudadanos cómo pueden implementar soluciones de SUDS en sus propias propiedades, como la instalación de barriles de recolección de agua de lluvia.

*Mantenimiento y monitoreo ciudadano:* Se han establecido programas de participación ciudadana que fomentan la colaboración entre los ciudadanos y las autoridades locales en la gestión y supervisión de los SUDS.

Un ejemplo es el programa de monitoreo ciudadano de la calidad del agua en los jardines pluviales. Los ciudadanos participan en la toma de muestras y análisis del agua de lluvia recolectada en los jardines pluviales para evaluar su calidad y detectar posibles problemas. Esta participación ciudadana contribuye a garantizar el buen funcionamiento de los SUDS y a mantener la calidad del agua en la ciudad.

### *Curitiba*

#### *Parques lineales y corredores verdes*

Curitiba ha desarrollado una extensa red de parques lineales y corredores verdes a lo largo de los ríos y arroyos de la ciudad. Estos espacios verdes no solo mejoran la calidad ambiental, sino que también funcionan como áreas de infiltración y retención de agua de lluvia.

*Parque Barigui:* Ubicado a lo largo del río Barigui, este parque lineal es uno de los parques más grandes y populares de Curitiba. Cuenta con amplias áreas verdes, senderos para caminar y correr, y un lago que se forma con el río. Además de su valor recreativo, el parque actúa como un espacio de retención natural para las aguas pluviales, ayudando a prevenir inundaciones en las áreas circundantes.

*Parque São Lourenço:* Situado a orillas del río Belém, este parque lineal ofrece una amplia variedad de actividades recreativas y cuenta con áreas de césped, lagos y senderos para caminar. Además de su función recreativa, el parque actúa como un

área de retención y filtración de agua, ayudando a controlar las inundaciones y mejorar la calidad del agua.

*Parque Linear do Atuba:* Este parque se encuentra a lo largo del río Atuba y comprende una amplia franja de áreas verdes y senderos. Además de proporcionar espacios recreativos para los residentes, el parque también juega un papel importante en la mitigación de inundaciones al actuar como una zona de retención natural para el agua de lluvia.

#### *Áreas de infiltración y bio-retención*

La ciudad ha incorporado áreas de infiltración y bio-retención en su diseño urbano. Estos espacios permiten que el agua de lluvia se infiltre en el suelo de manera natural y se filtre a través de vegetación y capas de sustrato antes de llegar a los cuerpos de agua cercanos.

*Jardín Botánico de Curitiba:* Este icónico parque cuenta con una extensa área de bio-retención en su diseño. Se han creado zonas de vegetación y paisajes acuáticos que ayudan a filtrar y retener el agua de lluvia. Estas áreas no solo contribuyen a la gestión de aguas pluviales, sino que también brindan un ambiente natural y atractivo para los visitantes.

*Parque das Pedreiras:* Ubicado en la cantera de una antigua mina de piedra, este parque se ha transformado en un espacio recreativo y de bio-retención. El diseño incorpora elementos de filtración y retención del agua de lluvia a través de la vegetación, la creación de humedales y la incorporación de materiales permeables en los senderos y áreas de descanso.

*Parque Tanguá:* Este parque cuenta con un impresionante conjunto de cascadas y lagos artificiales que no solo embellecen el paisaje, sino que también actúan como áreas de infiltración y retención de agua. El diseño inteligente permite que el agua de lluvia se infiltre y se filtre a través de los suelos y la vegetación circundante.

*Viviendas y desarrollos urbanos sostenibles:* En varios proyectos de viviendas y desarrollos urbanos en Curitiba, se han implementado áreas de infiltración y bio-retención a nivel de vecindario. Estas áreas incluyen zonas de vegetación nativa, jardines de lluvia y superficies permeables, que ayudan a controlar la escorrentía y reducir la carga sobre los sistemas de drenaje convencionales.

#### *Techos verdes y paredes vegetales*

Los techos verdes y las paredes vegetales se han promovido como medidas de drenaje sostenible en Curitiba. Estas estructuras cubiertas de vegetación ayudan a retener el agua de lluvia, reducir la escorrentía y mejorar la calidad del aire.

*Jardín Botánico de Curitiba:* El jardín botánico cuenta con techos verdes en varios de sus edificios. Estos techos están cubiertos de vegetación, lo que ayuda a retener y filtrar el agua de lluvia, reduciendo así la carga en los sistemas de drenaje convencionales. Además, los techos verdes brindan aislamiento térmico y mejoran la eficiencia energética de los edificios.

*Estadio Arena da Baixada:* El estadio de fútbol Arena da Baixada en Curitiba ha incorporado techos verdes en su diseño. Estos techos cubiertos de vegetación no solo

brindan un aspecto visualmente atractivo, sino que también actúan como áreas de retención y filtración de agua de lluvia. Además, contribuyen a reducir el efecto de isla de calor urbano y mejoran la calidad del aire en el entorno del estadio.

*Edificios residenciales y comerciales:* En Curitiba, se han implementado techos verdes en varios edificios residenciales y comerciales. Estos techos no solo brindan beneficios estéticos y medioambientales, sino que también ayudan a gestionar las aguas pluviales al retener y filtrar el agua de lluvia. Algunos ejemplos incluyen

condominios, hoteles y centros comerciales que han adoptado techos verdes como parte de su diseño sostenible.

*Paredes vegetales en infraestructuras viales*

En algunas carreteras y estructuras de infraestructura vial en Curitiba, se han instalado paredes vegetales. Estas paredes cubiertas de vegetación ayudan a retener y filtrar el agua de lluvia, reduciendo la escorrentía y mejorando la calidad del agua. Además, proporcionan beneficios estéticos y contribuyen a la reducción del ruido y la contaminación del aire en entornos urbanos.

*Calles permeables:* En algunas áreas de la ciudad, se han instalado pavimentos permeables que permiten que el agua de lluvia se filtre directamente en el suelo. Esto reduce la escorrentía y contribuye a la recarga de los acuíferos subterráneos.

*Calle Rua São Francisco:* En el barrio de Batel, Curitiba ha implementado una calle permeable en la Rua São Francisco. Esta calle cuenta con un pavimento permeable que permite que el agua de lluvia se infiltre en el suelo, evitando la formación de charcos y reduciendo la escorrentía superficial. Además, se han incorporado áreas ajardinadas y zonas de vegetación para ayudar en la absorción del agua.

*Calle Rua da Cidadania Matriz:* En el centro de Curitiba, la calle Rua da Cidadania Matriz ha sido renovada con una solución de pavimento permeable. Este tipo de pavimento permite que el agua de lluvia se filtre a través de sus capas, evitando la acumulación de agua en la superficie y mejorando la calidad del agua subterránea. Además, se han creado áreas verdes y jardineras para aumentar la capacidad de absorción.

*Proyecto de revitalización de calles en el barrio Rebouças:* Curitiba ha llevado a cabo un proyecto de revitalización en el barrio Rebouças que incluye la implementación de calles permeables. Estas calles están compuestas por pavimentos permeables que permiten la infiltración del agua de lluvia en el suelo. Además, se han creado áreas verdes y jardineras a lo largo de las calles para aumentar la absorción y mejorar la gestión de las aguas pluviales.

*Barrio Cidade Industrial:* En el barrio Cidade Industrial, Curitiba ha implementado un programa de pavimento permeable en varias calles residenciales. Este enfoque ha permitido reducir la escorrentía y la acumulación de agua en la superficie, evitando problemas de inundaciones y mejorando la calidad del agua en la zona.

*Reutilización del agua de lluvia*

Curitiba ha promovido la reutilización del agua de lluvia en edificios y espacios públicos. Se han implementado sistemas de recolección y almacenamiento de agua de lluvia para su uso en riego de jardines, limpieza de calles y otros fines no potables.

*Edificio comercial con sistema de reutilización del agua de lluvia:* El edificio comercial EcoOffice Corporate en Curitiba ha implementado un sistema de recolección y reutilización del agua de lluvia. El agua recolectada se trata y se utiliza para fines no potables, como el riego de jardines, el lavado de pisos y la descarga de inodoros. Esto reduce el consumo de agua potable y promueve la sostenibilidad del edificio.

*Proyectos de viviendas con sistemas de reutilización del agua de lluvia:* En algunos proyectos de viviendas en Curitiba, se han instalado sistemas de recolección y reutilización del agua de lluvia a nivel comunitario. El agua recolectada se utiliza para riego de jardines, lavado de autos y tareas domésticas que no requieren agua potable, reduciendo así la dependencia de los recursos hídricos convencionales.

*Estadios deportivos con sistemas de reutilización del agua de lluvia:* El Estadio Couto Pereira, sede del club de fútbol Coritiba en Curitiba, ha implementado un sistema de recolección de agua de lluvia para su reutilización en actividades relacionadas con el mantenimiento del estadio. El agua recolectada se utiliza para el riego del campo de juego y la limpieza de las instalaciones, contribuyendo así a la conservación del agua potable.

*Parques con sistemas de reutilización del agua de lluvia*

Algunos parques en Curitiba han implementado sistemas de recolección y reutilización del agua de lluvia para mantener sus áreas verdes. El agua recolectada se utiliza para el riego de césped, árboles y plantas, reduciendo la necesidad de utilizar agua potable y promoviendo la conservación del recurso hídrico.

### *SUDS y Buenos Aires*

La expansión de las ciudades conlleva una serie de desafíos significativos en términos de gestión del agua y drenaje urbano. A medida que las áreas urbanas crecen, se desarrollan nuevas superficies impermeables que alteran el ciclo natural del agua. Estas superficies, como calles, aceras y edificios, impiden la infiltración natural del agua de lluvia en el suelo, lo que resulta en un aumento de la escorrentía superficial.

Para abordar este aumento en la escorrentía, se instalan redes de drenaje que a menudo se conectan a infraestructuras preexistentes. Sin embargo, la expansión y mejora de estas infraestructuras son costosas y técnicamente desafiantes, especialmente en áreas urbanas consolidadas. Si las redes de drenaje existentes no tienen suficiente capacidad para manejar el aumento de la escorrentía, la ampliación puede no ser una solución viable desde el punto de vista económico y técnico.

Además, la escorrentía urbana tiende a estar altamente contaminada debido a la acumulación de sustancias como hidrocarburos y sedimentos en las superficies urbanas durante los periodos secos. Esto significa que el agua de lluvia, que en su origen es relativamente limpia, se contamina a medida que atraviesa la ciudad, requiriendo tratamiento previo antes de su vertido. Los costos asociados con este tratamiento representan una carga adicional para los sistemas de drenaje urbano.

En el caso de redes unitarias que transportan tanto aguas pluviales como aguas residuales, los eventos extremos de lluvia pueden sobrecargar el sistema, resultando

en vertidos directos de aguas sin tratar al medio receptor. Estos vertidos, conocidos como Descargas de Sistemas Unitarios (DSU), representan un grave problema medioambiental que ha sido ampliamente documentado y reconocido.

El cambio climático agrava aún más estos desafíos al aumentar la frecuencia e intensidad de los eventos de lluvia torrencial. Según los informes más recientes del IPCC, se ha observado un incremento significativo en la ocurrencia y severidad de las inundaciones, lo que tiene serias repercusiones socioeconómicas. Además, el cambio climático también contribuye al fenómeno de la "isla de calor" en las ciudades, donde las temperaturas elevadas se retienen durante períodos prolongados, exacerbando aún más los problemas asociados con el drenaje urbano. En resumen, la gestión del agua y el drenaje urbano se enfrentan a múltiples desafíos complejos que requieren soluciones innovadoras y sostenibles para garantizar la resiliencia de las ciudades frente a los impactos del cambio climático y el crecimiento urbano.

#### *Inundaciones y topografía*

La ciudad de Buenos Aires se enfrenta a importantes desafíos relacionados con la vulnerabilidad ante inundaciones debido a diversos factores geográficos y climáticos. Mediante el análisis detallado de la topografía de la ciudad, utilizando datos de altitud y modelos digitales de elevación, se pueden identificar áreas de mayor riesgo. Por ejemplo, las zonas con pendientes más bajas y las ubicadas cerca de cuerpos de agua, como ríos y arroyos, son propensas a inundaciones debido a la acumulación de agua durante eventos de lluvias intensas.



Imagen 1 Inundación en el barrio de Saavedra, CABA.

La topografía de Buenos Aires, mayormente plana, presenta desafíos particulares en el drenaje de las aguas pluviales. La falta de pendientes pronunciadas dificulta el flujo natural del agua, lo que puede resultar en acumulación de agua y posibles problemas de inundaciones en áreas bajas. Es esencial considerar estrategias de drenaje que aprovechen al máximo las características topográficas de la zona, como la implementación de elementos de retención y almacenamiento de agua, así como el diseño de rutas de flujo adecuadas. Es crucial considerar estrategias de drenaje efectivas que se adapten a esta particularidad topográfica. La implementación de elementos de retención y almacenamiento de agua, como estanques de retención y zonas verdes permeables, puede ayudar a mitigar los efectos de las precipitaciones intensas y permitir una absorción gradual del agua en el terreno. Además, el diseño de rutas de flujo adecuadas, mediante la creación de canales de drenaje y la optimización de la red de pluviales existente, es fundamental para garantizar el desalojo eficiente del agua de lluvia hacia puntos de descarga seguros.

La comprensión detallada de la topografía de la zona de estudio permitirá identificar las áreas de mayor riesgo y definir estrategias específicas para minimizar el impacto de las inundaciones y optimizar la gestión del agua de lluvia en Buenos Aires. La comprensión detallada de estos patrones de precipitación es esencial para

dimensionar y diseñar adecuadamente los SUDS, asegurando su efectividad en la gestión de las aguas pluviales. (mapa lluvias históricas)

### *Infraestructura de drenaje existente y desafíos asociados*

La configuración del sistema de drenaje existente en Buenos Aires desempeña un papel crucial en la implementación de los SUDS. La ciudad cuenta con una infraestructura de drenaje consolidada, que incluye alcantarillado y desagües pluviales. Las rutas de flujo de agua en la ciudad de Buenos Aires se establecen mediante una combinación de sistemas de pluviales construidos y cuerpos de agua naturales. La topografía plana de la ciudad y la configuración de los sistemas de drenaje existentes determinan cómo el agua de lluvia se recoge, transporta y descarga. La integración de estrategias de gestión del agua de lluvia, como la creación de áreas verdes permeables, contribuye a optimizar estas rutas de flujo y reducir los riesgos de inundación en la ciudad.

Es importante evaluar y comprender la capacidad y eficiencia de esta infraestructura existente para identificar posibles puntos débiles y oportunidades de mejora en el manejo del agua de lluvia. La integración de los SUDS con la infraestructura existente permitirá maximizar su efectividad y contribuir a un sistema de drenaje más sostenible y resiliente.

#### *Cuerpos de agua naturales*

El río de la Plata y los arroyos como el Maldonado, Medrano y Vega son ejemplos de cuerpos de agua naturales que actúan como rutas de flujo de agua en la ciudad. Estos cuerpos de agua recogen el agua de lluvia de áreas circundantes y la transportan hacia el océano.

#### *Canales de drenaje*

Buenos Aires cuenta con una serie de canales de drenaje construidos que ayudan a dirigir el agua de lluvia hacia puntos de descarga seguros. Estos canales pueden ser naturales o artificiales y se utilizan para regular el flujo de agua en áreas propensas a inundaciones.

#### *Parques y áreas verdes permeables*

Los parques y áreas verdes permeables desempeñan un papel importante en la gestión del agua de lluvia. Estas zonas actúan como esponjas naturales, permitiendo que el agua se filtre lentamente en el suelo y reduciendo la carga en los sistemas de drenaje. Algunos ejemplos de estas áreas en Buenos Aires incluyen el Parque Tres de Febrero y el Parque de los Niños.

#### *Sistemas de retención y almacenamiento*

En ciertas áreas de la ciudad, se han implementado sistemas de retención y almacenamiento de agua, como estanques de retención y balsas de tormenta. Estos sistemas ayudan a capturar y retener el agua de lluvia, evitando así la sobrecarga de los sistemas de drenaje y reduciendo el riesgo de inundaciones.



La ciudad cuenta con una compleja infraestructura de drenaje y una variedad de elementos naturales que influyen en la gestión del agua de lluvia y el establecimiento de estas rutas.

#### *Sumideros y rejillas*

Los sumideros son aberturas en la superficie de las calles y áreas pavimentadas que permiten que el agua de lluvia ingrese al sistema de pluviales subterráneos. Están diseñados para capturar el agua de forma eficiente, evitando que se acumule en la superficie y cause inundaciones. Los sumideros suelen tener una forma rectangular o cuadrada, con una estructura de hierro fundido que los protege de daños y obstrucciones.

Las rejillas, por otro lado, se colocan sobre los sumideros y cumplen una función adicional de filtrado y retención de sedimentos y desechos sólidos. Están diseñadas con una estructura en forma de panal de abeja o con barras horizontales, lo que permite que el agua fluya a través de ellas mientras retiene los materiales sólidos. Esto ayuda a prevenir la obstrucción de las tuberías y asegura un flujo constante de agua hacia el sistema de pluviales subterráneos.

#### *Tuberías de drenaje*

Estas tuberías se encargan de transportar el agua de lluvia desde los sumideros y rejillas hasta los conductos principales del sistema. Están diseñadas con el tamaño adecuado para manejar el flujo de agua y garantizar una evacuación eficiente.

La red de tuberías de drenaje se organiza en forma de una red interconectada, que abarca toda la ciudad y se extiende desde los sumideros y rejillas hasta los puntos de descarga, como ríos, arroyos o cuerpos de agua cercanos. La disposición y el diseño de la red de tuberías se realizan teniendo en cuenta la topografía del área de estudio y las necesidades de drenaje de la ciudad.

Además de las tuberías principales que transportan el flujo de agua desde los sumideros y rejillas, también existen tuberías secundarias y conexiones laterales que se ramifican en diferentes direcciones para recoger el agua de lluvia de áreas específicas. Estas tuberías secundarias se conectan a la red principal y aseguran que el agua se dirija hacia los puntos de descarga de manera adecuada.

#### *Cámaras de inspección y derivación*

Estas cámaras se encuentran estratégicamente ubicadas a lo largo del sistema de pluviales subterráneos. Permiten el acceso para inspeccionar, limpiar y realizar mantenimiento en el sistema. Además, las cámaras de derivación brindan la flexibilidad de redirigir el flujo de agua en caso de obstrucciones o trabajos de mantenimiento.

Estas cámaras son especialmente útiles para identificar posibles obstrucciones, fugas o daños en las tuberías. Mediante la utilización de equipos de inspección como cámaras de video y sensores, se pueden realizar inspecciones visuales y recolectar datos relevantes sobre el estado de las tuberías y la calidad del flujo de agua. Esto permite detectar y solucionar problemas de manera oportuna, evitando el deterioro del sistema y posibles riesgos para la infraestructura y la comunidad.

Las cámaras de derivación son especialmente importantes en situaciones de emergencia, como durante lluvias intensas o eventos climáticos extremos. Permiten

redirigir el flujo de agua hacia áreas menos afectadas o hacia sistemas de almacenamiento temporal, evitando así posibles inundaciones y minimizando los riesgos para la infraestructura y la seguridad de los habitantes.

## Conductos principales y secundarios

El sistema de pluviales subterráneos está compuesto por una red de conductos que recogen y transportan el agua de lluvia. Los conductos principales son los encargados de recibir el agua de varios conductos secundarios, y se dimensionan para garantizar una capacidad de flujo adecuada.

Los conductos principales son las estructuras más grandes y de mayor capacidad dentro del sistema de drenaje. Estos conductos se encargan de transportar grandes volúmenes de agua de lluvia desde áreas extensas de la ciudad hacia los puntos de descarga, como ríos, arroyos o cuerpos de agua cercanos.

Los conductos secundarios son estructuras más pequeñas que se ramifican desde los conductos principales para recoger el agua de lluvia de áreas específicas y dirigirla hacia los conductos principales. Estos conductos secundarios se diseñan para recoger el agua de las calles, aceras, plazas u otras superficies pavimentadas, y luego conducirla hacia los conductos principales.

## Puntos de descarga

El agua captada por el sistema de pluviales subterráneos se dirige hacia los puntos de descarga designados, como ríos, arroyos o cuerpos de agua cercanos. Estos puntos de descarga ayudan a mantener un equilibrio hidrológico saludable en el entorno urbano.

Estos puntos son los lugares donde el agua recogida por el sistema de drenaje es finalmente liberada hacia los cuerpos de agua naturales, como ríos, arroyos o el mar.

Estos puntos pueden ser tanto naturales como artificiales, y su diseño y funcionamiento están estrechamente vinculados a la topografía y la configuración del terreno.

Es importante destacar que estos son solo ejemplos de componentes comunes en un sistema de pluviales subterráneos. La configuración y diseño exactos pueden variar dependiendo de las características específicas del área de estudio y de las necesidades de drenaje de la ciudad.

## Enfoque Azul

Imagen 2 Enfoque Azul (WSUD)

La problemática del drenaje urbano tradicional se manifiesta en su incapacidad para hacer frente a eventos meteorológicos extremos, exacerbados por el cambio climático. Estos eventos, como inundaciones, representan una amenaza para la infraestructura y la seguridad de los residentes, mientras que el drenaje pluvial contaminado afecta la calidad de ríos y cuerpos de agua y la erosión del suelo deteriora la biodiversidad y su calidad. Ante este panorama, resulta imperativo adoptar sistemas de drenaje sustentables que no solo gestionen eficazmente el agua de lluvia, sino que también protejan el medio ambiente.

Un enfoque azul, que integra sistemas técnicos basados en la naturaleza como la vegetación y la gestión del agua urbana, emerge como una solución prometedora. Este enfoque tiene efectos beneficiosos en el clima urbano, la salud pública, la biodiversidad y el balance hídrico. Estos sistemas buscan gestionar de manera sostenible y responsable el agua de lluvia en entornos urbanos, promoviendo su infiltración, retención y reutilización en beneficio de la comunidad y el medio ambiente.

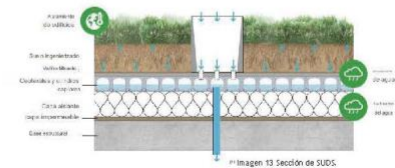
El objetivo principal de una ciudad esponja es mitigar los efectos negativos de las inundaciones, la escasez de agua y la contaminación, al tiempo que se promueve un entorno urbano más saludable y sostenible. Una de las características clave de una ciudad esponja es la gestión integrada del agua. Esto implica la captación de agua de lluvia a través de sistemas de drenaje, como techos verdes, pavimentos permeables y áreas verdes, que permiten que el agua se filtre en el suelo y se recarguen los acuíferos subterráneos.



## ESTUDIOS DE CASO TECHOS VEGETALES, MALMÖ



A través del establecimiento de cubiertas verdes en los edificios se replican diferentes servicios de las capas de vegetación natural. Las cubiertas verdes utilizan el proceso de acción capilar (también el proceso que utilizan las plantas para mover el agua desde sus raíces y tallos al resto de la planta) para transferir lentamente agua desde una capa de almacenamiento a la capa del suelo, poniéndola a disposición de la vegetación.



La construcción básica, de abajo hacia arriba, comienza con una capa protectora y una membrana impermeable, seguida de aislantes, capas de drenaje y almacenamiento de agua a través de capas geotextiles cilíndricos capilares. Luego se remata con un sustrato liviano y vegetación. Se debe incluir un sistema de desbordamiento de emergencia.

Imagen 3 Techos vegetales en Malmo

Se promueve una mejora en la proyección urbanística considerando nuevas técnicas de drenaje que gestionen de forma eficiente las aguas de escorrentía urbana, con lo que se busca imitar los procesos naturales previos a la urbanización para lo cual se proponen diferentes topologías y técnicas que permiten controlar y aminorar los picos de crecientes. El conocimiento del ambiente natural, luego su transformación y aprovechamiento motivó e impulsó el conocimiento científico y éste, la tecnología. Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) representan una transformación en la gestión del agua de lluvia en entornos urbanos. Basados en principios y estrategias que imitan el ciclo hidrológico natural. Este enfoque holístico no solo aborda los desafíos del drenaje urbano, sino que también promueve la creación de entornos urbanos más resilientes, saludables y sostenibles para las generaciones futuras. Los (SUDS) son una herramienta para alcanzar el aprovechamiento de las aguas pluviales, debido a que manejan sistemas de captación, infiltración y almacenamiento generando un beneficio ambiental. La reducción de la de contaminantes que alberga el ecosistema urbano, en este caso la universidad, ya que dentro de la misma hay residuos ordinarios que desembocan en la cuenca del río salitre; al igual reduce el volumen de aguas lluvias que llegan al drenaje convencional, previniendo problemas de inundación.

En efecto, el desafío planteado es articular el medio natural y el medio urbano, contribuyendo al desarrollo de espacio público bajo condiciones ambientales sustentables y de seguridad e higiene, privilegiando las condiciones de inclusión, de equidad y de respeto por la diversidad.

La iniciativa analizada busca establecer un equilibrio entre la economía y la calidad ambiental, reconociendo la interdependencia entre ambos aspectos. Se plantea la importancia de recuperar, ordenar y mantener el espacio público con miras a promover la convivencia ciudadana y el bienestar colectivo. Esto implica considerar tanto las necesidades de la comunidad como los imperativos ambientales, asegurando condiciones de seguridad e higiene.

Uno de los principales desafíos identificados es la articulación entre el medio natural y el medio urbano. Se propone una estrategia que privilegie la creación de espacios públicos bajo condiciones ambientales sustentables, incorporando prácticas de diseño y gestión que minimicen el impacto ambiental y maximicen los beneficios sociales. Asimismo, se destaca la importancia de garantizar la accesibilidad universal, permitiendo que todos los ciudadanos puedan disfrutar de los espacios públicos en igualdad de condiciones.

La importancia de integrar el cuidado del ambiente en la planificación y gestión urbana, reconociendo su papel fundamental en la construcción de ciudades más inclusivas, equitativas y sustentables representa un paso hacia adelante en la búsqueda de un equilibrio entre el desarrollo económico y la preservación del entorno natural, priorizando el bienestar de la comunidad en su conjunto.

La implementación de los SUDS constituye la promoción de la vitalidad social, el fortalecimiento de identidades barriales y la incorporación de sistemas hídricos de absorción.

### *Metaproyecto Saavedra*

Las soluciones actuales para los desafíos del drenaje urbano buscan transformar su diseño y gestión, emulando los procesos naturales de absorción y retención para tratar el agua pluvial desde su origen. Estas iniciativas suelen incluir la reactivación de arroyos y la restauración de cuerpos de agua en diferentes escalas.

Uno de los principales obstáculos es la creación de planes de gestión de la calidad del agua de lluvia a nivel de cuenca, que logren simultáneamente prevenir inundaciones y asegurar la calidad del agua. Los elementos de Infraestructura Verde/Azul abarcan desde corredores ecológicos, parques y áreas naturales, hasta ríos, arroyos, lagos y embalses, así como sistemas de biorretención y parques diseñados para inundaciones. Estas características van desde soluciones urbanas tradicionales, como boulevares verdes y jardines comunitarios, hasta enfoques más innovadores y de bajo costo, como áreas vegetadas que capturan y filtran el agua de lluvia.



Imagen 4 Area de aplicación del Metaproyecto Saavedra

Una de las ventajas más significativas de estas estrategias es su capacidad para ofrecer servicios ecosistémicos, tales como la mitigación del efecto de isla de calor, la regulación térmica, la mejora de la calidad del aire a través de la fitorremediación, la captación de carbono, la reducción del ruido y la restauración de corredores de biodiversidad. Además, se enfocan en un control más efectivo de la escorrentía y la calidad del agua. La integración de Infraestructura Verde/Azul en redes de infraestructura gris existentes aumenta la resiliencia del sistema, creando redundancias que proporcionan alternativas en situaciones de crisis, un enfoque clave en investigaciones recientes sobre resiliencia.

No obstante, uno de los principales desafíos en la aplicación de soluciones de Infraestructura Verde/Azul en áreas urbanas contemporáneas es el alto grado de impermeabilización en entornos densamente poblados. Por lo tanto, el reto consiste en diseñar superficies más permeables y aumentar la capacidad de retención de agua en las ciudades, lo que requiere espacio, mientras se mantiene o incrementa la densidad urbana y sus aspectos positivos.

El presente estudio se centra en el análisis del diseño de Infraestructura Verde/Azul (IVA) y su interrelación con la morfología urbana, con el objetivo de maximizar la superficie absorbente en la cuenca, incrementar la capacidad de retención de agua mediante diversas estrategias de IVA y optimizar la conducción del flujo hídrico a través de un diseño que favorezca la apertura de arroyos. Este enfoque no solo busca mejorar la gestión del agua, sino también aportar beneficios socioambientales significativos, como la mejora de la calidad del agua y la creación de nuevos espacios públicos. Los resultados preliminares indican que la implementación de IVA puede aumentar la superficie absorbente y la capacidad de retención durante eventos pluviales, al tiempo que optimiza el diseño de cursos de agua para facilitar procesos de filtración natural. La interrelación entre el diseño de IVA y la morfología urbana es crucial para mitigar inundaciones y restaurar el equilibrio ecológico, promoviendo la salud y el bienestar comunitario. Este estudio subraya la importancia de integrar la Infraestructura Verde/Azul en el diseño urbano contemporáneo, recomendando políticas que fomenten su adopción en la planificación urbana para un desarrollo sostenible de las ciudades.

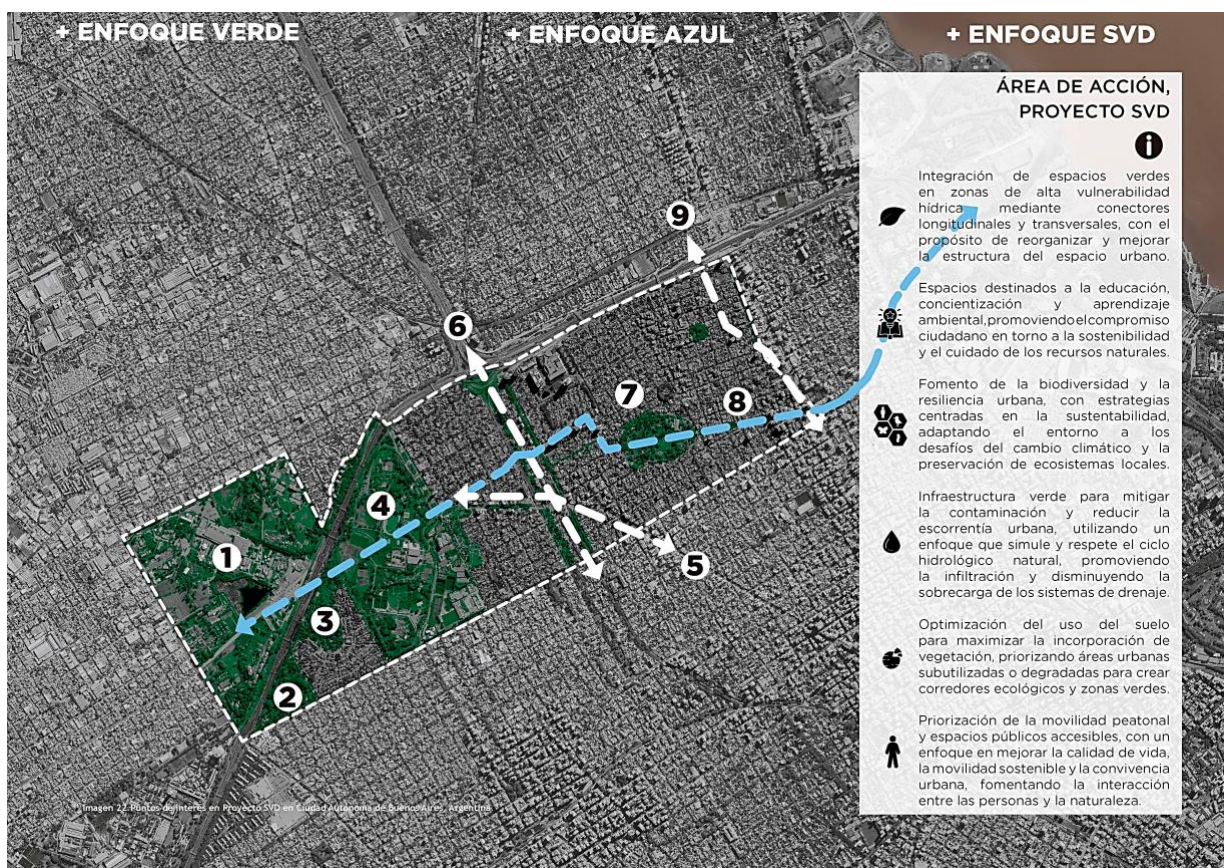


Imagen 5 Directrices de implementación Metaproyecto Saavedra

Transformaciones de esta magnitud en el espacio público pueden fomentar cambios en el entorno construido circundante, influyendo en el uso del suelo y en las tipologías

arquitectónicas, así como en el valor del terreno. Estas transformaciones deben ser guiadas por ajustes en las normativas de planificación y en los códigos de construcción, orientados a mejorar la resiliencia de la cuenca y el bienestar de sus habitantes.

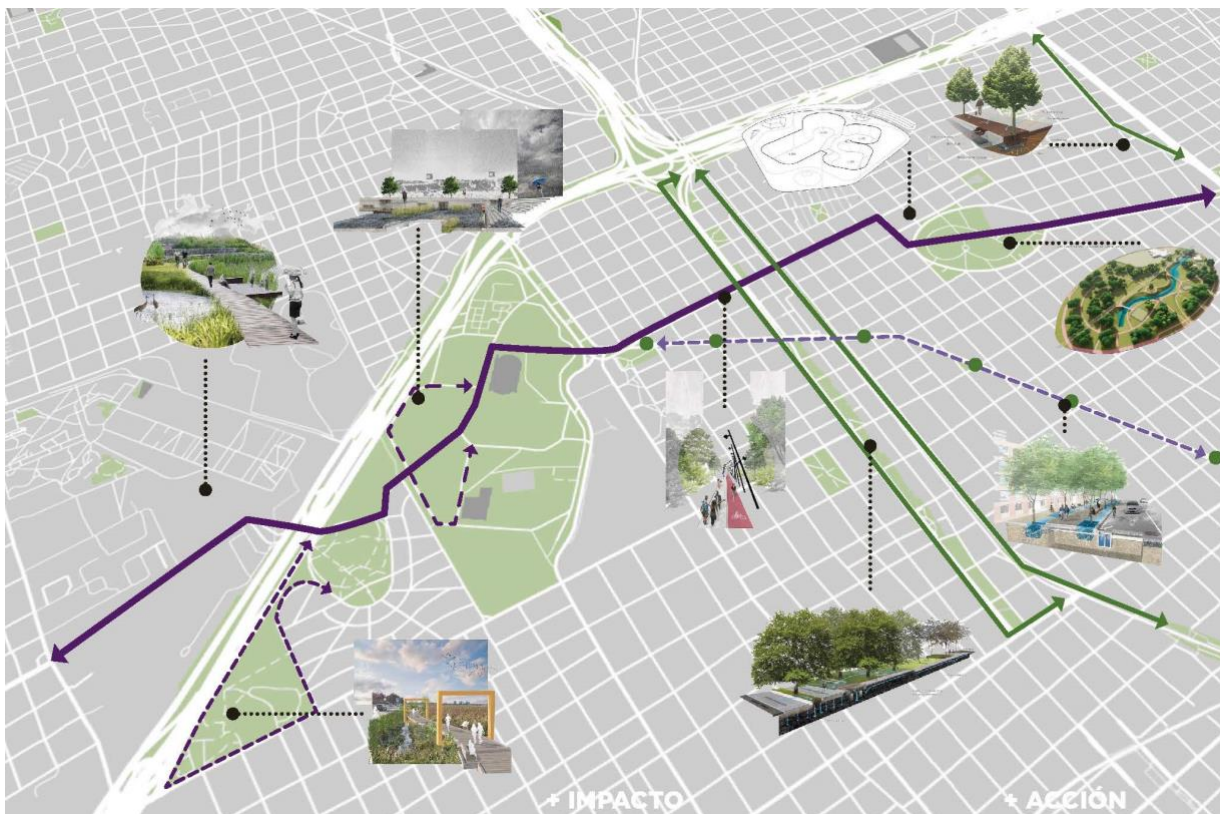


Imagen 6 Espacios urbanos adaptados para integrar SUDS en modo lineal sobre la traza del arroyo Medrano

Se toma como modelo el estudio realizado por Daniel Kozak, Hayley Henderson, Alejandro de Castro Mazarro, Demián Rotbart y Rodolfo Aradas titulado Infraestructura Azul/Verde en cuencas urbanas densas. El caso de la Cuenca del Arroyo Medrano en Buenos Aires.

### *Conclusiones*

Los resultados presentados en este estudio evidencian la necesidad de establecer planes integrales en el desarrollo urbano que aborden aspectos fundamentales como la salud, la educación y la infraestructura, al tiempo que promuevan sistemas de desagües y captación de aguas con sostenibilidad económica y ambiental. En un contexto donde la escasez de recursos es una realidad, es imperativo mejorar



continuamente la gestión para el desarrollo sostenible, optimizando la precisión y efectividad en las decisiones y la participación de los actores locales.

La sostenibilidad se entiende como un proceso dinámico que demanda la integración de diversos elementos interrelacionados. En el contexto de sistemas de desagües sostenibles, este enfoque implica la consideración de aspectos fundamentales como la gestión del agua, la planificación urbana, la conservación de ecosistemas acuáticos, la participación comunitaria y el desarrollo económico local.

Para lograr sistemas de desagües sostenibles, es necesario establecer políticas y regulaciones adecuadas a nivel gubernamental, así como fomentar la colaboración entre diferentes actores, incluyendo autoridades locales, organizaciones civiles y el sector privado. Esto implica la implementación de tecnologías innovadoras para el tratamiento de aguas residuales, la promoción de prácticas de recolección y reutilización de agua, y la mejora de la infraestructura de drenaje urbano.

Además, se requiere una inversión significativa en investigación y desarrollo de soluciones adaptadas a las necesidades específicas de cada comunidad, así como la capacitación de personal especializado en el diseño, operación y mantenimiento de sistemas de desagües sostenibles. Todo esto, en conjunto, contribuirá a garantizar la disponibilidad y calidad del agua, promover la resiliencia frente a eventos climáticos extremos y mejorar la calidad de vida de los habitantes urbanos, en línea con los principios de desarrollo sostenible.

En un contexto donde la densidad de áreas verdes por habitante en Buenos Aires es de 6,09 m<sup>2</sup>/hab, la implementación de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) emerge como una estrategia eficaz para aumentar la cobertura verde urbana y mejorar la gestión del agua. Esta estrategia aprovecha los vacíos urbanos disponibles y busca incrementar la densidad de áreas verdes de acuerdo con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud, que sugiere un mínimo de 9 m<sup>2</sup> de espacio verde por individuo, con un valor ideal de 50 m<sup>2</sup> por persona.

El diseño y la gestión de los sistemas de pluviales subterráneos presentan diversos desafíos que deben abordarse de manera eficiente para garantizar un funcionamiento óptimo del sistema y lograr los objetivos de drenaje sostenible.

Uno de los desafíos clave es el mantenimiento regular de estos sistemas, fundamental para su eficiencia. Sin embargo, el acceso a los conductos y estructuras subterráneas puede ser complicado, lo que dificulta las labores de inspección, limpieza y reparación, y la acumulación de sedimentos y obstrucciones puede comprometer su capacidad.

Determinar la capacidad de almacenamiento necesaria para gestionar los caudales de agua de lluvia es otro desafío crucial. Para ello, es necesario considerar factores como el tamaño de la cuenca hidrográfica, la intensidad y duración de las precipitaciones, y las características del terreno y la infraestructura urbana.

La coordinación intersectorial es esencial en el diseño y la gestión de estos sistemas, implicando la colaboración entre diferentes actores como planificación urbana, servicios públicos, medio ambiente y organismos reguladores. La falta de coordinación puede dar lugar a decisiones inadecuadas y una gestión ineficiente del sistema.

Asimismo, la participación ciudadana y la sensibilización son fundamentales para el éxito de estos sistemas. Los ciudadanos deben comprender su papel en la gestión del agua de lluvia y adoptar prácticas sostenibles.

Consideraciones ambientales, como la protección del medio ambiente y los recursos hídricos, también son cruciales. Se deben implementar medidas para minimizar la descarga de contaminantes y proteger los cuerpos de agua receptores.

Por último, aspectos económicos y financieros como la financiación adecuada y la recuperación de costos son importantes para la implementación y mantenimiento de estos sistemas.

En conclusión, abordar eficazmente estos desafíos es esencial para lograr un manejo sostenible del agua de lluvia y reducir el riesgo de inundaciones en entornos urbanos.



Imagen 7. Reservorio en el Parque Sarmiento, barrio de Saavedra, CABA.