

Revisión A Los Sistemas De Drenaje Urbano Sostenible

Maria Fernanda Gonzales Trigos

**Universidad De Pamplona
Facultad De Ingenierías Y Arquitectura
Departamento De Ingeniería Civil, Ambiental Y Química
Programa De Ingeniería Civil
Ing. Manuel Antonio Contreras M. M.Sc.**

**Pamplona, Colombia
03 de Julio 2024**

Dedicatoria

Este trabajo se dedicada, en primer lugar, a Dios, por guiarme y brindarme la fuerza para alcanzar este objetivo. A mis padres, Ana Trigos y Fernando Gonzales, por su respaldo absoluto y por darme aliento ante las dificultades, gracias por ser mi pilar y por creer siempre en mí. A mis hermanos, Valentina y Emanuel, por ser mi motor y fuente constante de inspiración. A mis tíos, Henry y Leidy, por su apoyo inestimable y por estar presentes en cada etapa de este viaje. A mi padrastro, Augusto, por su presencia y por acompañarme en este proceso, su apoyo ha sido fundamental. A mi novio y compañero, por depositar su confianza en mí y apoyarme en cada paso, gracias por ser mi refugio y mi fuerza.

Por último, expreso mi profunda gratitud a el ingeniero Manuel Contreras, cuya contribución de conocimientos fue fundamental para la realización de este trabajo.

A todos ustedes, dedico este logro con todo mi corazón.

Maria Fernanda Gonzales Trigos.

Resumen

Este documento examina los desafíos actuales del drenaje urbano (DU), centrándose en Sistemas de Drenaje Urbanos Sostenible (SUDS). Aquí se introducen fundamentos del drenaje urbano, explicando su importancia en gestión de aguas de lluvia y residuales sobre la base de contextos urbanos, también se destaca la importancia de una planificación completa que considere aspectos como el diseño, la construcción y el cuidado de estos sistemas.

Además se aborda la problemática del drenaje urbano, incluyendo la obsolescencia de los sistemas convencionales, el impacto del crecimiento poblacional y urbano, las repercusiones del cambio climático, manejo de residuos sólidos así como el incremento en las inundaciones urbanas, además el documento enfatiza en los SUDS, explicando sus principios fundamentales como lo son la calidad y cantidad del agua, y el fortalecimiento del ambiente urbano.

Así mismo, se identifican diversas tipologías de SUDS, incluyendo pavimentos permeables, techos y cunetas verdes, jardines de lluvias, estanques de retención y sistemas de biorretención y ejemplos de aplicación de SUDS, destacando el uso de modelos hidrológico-hidráulicos como SWMM y GSSHA para simular y evaluar la efectividad de estos sistemas en entornos urbanos.

Finalmente, se ofrecen consideraciones finales y recomendaciones, con relación a la importancia de implementar soluciones innovadoras en el drenaje urbano, la carencia una perspectiva holística de gestión de aguas urbanas, y el valor de la participación comunitaria.

Palabras clave: Drenaje urbano, sostenibilidad, aguas pluviales, SUDS, impacto ambiental, cambio climático.

Abstrac

This paper examines current urban drainage (UD) challenges, focusing on Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS). Here the fundamentals of urban drainage are introduced, explaining its importance in rainwater and wastewater management based on urban contexts. The importance of complete planning that considers aspects such as the design, construction and care of these systems is also highlighted.

In addition, the problem of urban drainage is addressed, including the obsolescence of conventional systems, the impact of population and urban growth, the repercussions of climate change, solid waste management as well as the increase in urban flooding. Furthermore, the document emphasizes the SUDS, explaining its fundamental principles such as the control of water quantity and quality, and the improvement of the urban environment.

Likewise, various SUDS typologies are identified, including permeable pavements, green roofs and gutters, rain gardens, retention ponds and bioretention systems and examples of SUDS application, highlighting the use of hydrological-hydraulic models such as SWMM and GSSHA to simulate and evaluate the effectiveness of these systems in urban environments.

Finally, final considerations and recommendations are offered, regarding the importance of implementing innovative solutions in urban drainage, the need for a holistic perspective of urban water management, and the value of community participation.

Finally, final considerations and recommendations are offered, regarding the importance of implementing innovative solutions in urban drainage, the lack of a holistic perspective of urban water management, and the value of community participation.

Keywords: Urban drainage, sustainability, rainwater, SUDS, environmental impact, climate change.

Tabla de Contenido

Introducción	8
Objetivos	9
<i>Objetivo General</i>	<i>9</i>
<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>9</i>
Capítulo 1: Drenaje Urbano	10
1.1. <i>Historia de los Sistemas de Drenaje Urbano (SDU).....</i>	<i>11</i>
1.2. <i>Fundamentos del Drenaje Urbano.....</i>	<i>13</i>
1.3. <i>Diseño de Sistema de Drenaje</i>	<i>14</i>
1.4. <i>Gestión de Aguas Pluviales.....</i>	<i>15</i>
Capítulo 2: Problemática del Drenaje Urbano	16
2.1. <i>Obsolescencia de Sistemas Convencionales.....</i>	<i>17</i>
2.2. <i>Desarrollo Poblacional y Crecimiento Urbano.....</i>	<i>18</i>
2.3. <i>Cambio Climático.....</i>	<i>19</i>
2.4. <i>Residuos Sólidos.....</i>	<i>20</i>
2.5. <i>Inundaciones Urbanas.....</i>	<i>21</i>
Capítulo 3: SUDS	23
3.1. <i>Historia de los SUDS</i>	<i>24</i>

3.2. Principios Fundamentales de los SUDS	27
3.2.1. Control de Cantidad y Calidad	27
3.2.2. Amenidad.....	28
3.3. Tipologías para la Implementación de SUDs.	28
3.3.1. Pavimentos Permeables	28
3.3.2. Techos Verdes	29
3.3.3. Jardines de Lluvia	31
3.3.4. Cunetas Verdes.....	33
3.3.5. Estanques de Retención	34
3.3.6. Sistemas de Biorretención	35
Capítulo 5: Consideraciones Finales y Recomendaciones	41
Capítulo 6: Conclusiones.....	43
Referencias.....	44

Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1 Imagen del canal de alcantarillado excavado en Mohenjo-Daro	12
Ilustración 2 Cloaca Maxima en Roma.	12
Ilustración 3 Alcantarillado de Paris.	13
Ilustración 4 Problemáticas del Drenaje Urbano.	16
Ilustración 5 Comparacion del Antes y Depsues de los Sistemas de Drenaje	17
Ilustración 6 Residuos Sólidos.	20
Ilustración 7 Inundaciones Urbanas.	22
Ilustración 8 Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible.....	23
Ilustración 9 Cronograma y año de origen de cada término (LID– BMP – WSUD– GI – SuD – NBS- (AbE)- (Eco-RRD) - (BGI) según su aparición en las publicaciones.	25
Ilustración 10. Pavimento permeable que permite la infiltración de agua y disminuye la escorrentia.	28
Ilustración 11. Cubierta Verde en un colegio.....	30
Ilustración 12 Modelo conceptual de jardín de lluvia en SWMM.	31
Ilustración 13. Jardín de Lluvia.	32
Ilustración 14. Cuneta Verde.....	33
Ilustración 15 Cuneta verde.....	34
Ilustración 16. Estanques de Retención.....	35
Ilustración 17. Áreas de biorretención.	36
Ilustración 18 Aplicación de SUDS	38

Introducción

El crecimiento acelerado de las áreas urbanas y el cambio del clima subrayan la necesidad de replantear los sistemas de drenaje convencionales. Los SUDS emergen como opción prometedora para enfrentar los retos relacionados con el manejo de aguas pluviales. (T. Fletcher et al., 2014) Esta monografía tiene como objetivo principal examinar la importancia de los SUDS en ciudades modernas, explorando su potencial para mitigar los problemas, mejorar la calidad del agua y promover un desarrollo urbano más sostenible.

La estructura de esta monografía se divide en cinco capítulos fundamentales: Comenzamos con una descripción general del drenaje urbano, sus principios fundamentales que rigen su diseño, seguido por un análisis de la problemática asociada a los sistemas convencionales incluyendo su capacidad limitada frente a eventos extremos, los problemas sobre la polución en cuerpos hidricos receptores y las consecuencias del clima en las redes del drenaje (Fratini et al., 2012); el tercer capítulo se enfoca en los SUDS, explorando diferentes técnicas, como jardines de lluvia, pavimentos permeables y sistemas de biorretención, evaluando su eficacia en la gestión sostenible del agua pluvial (Ballard, 2007). El cuarto capítulo, se proporcionan ejemplos concretos de la aplicación de SUDS en diferentes contextos urbanos mediante modelos de simulación, y finalmente, se ofrecen consideraciones y recomendaciones para la implementación efectiva de estos sistemas en futuros proyectos de desarrollo urbano.

Esta monografía busca contribuir al creciente cuerpo de conocimiento sobre SUDS y fomentar su adopción como elemento fundamental en las tácticas de manejo de aguas urbanas. Se espera que este trabajo sirva como recurso valioso para planificadores urbanos, ingenieros civiles, tomadores de decisiones y académicos interesados en la promoción de ciudades más sostenibles y resilientes frente a los desafíos hidrológicos del siglo XXI.

Objetivos

Objetivo General

Realizar una revisión de los sistemas de drenaje convencional y su problemática actual.

Analizar la importancia de los SUDS, evaluando su contribución con la gestión eficiente a las aguas pluviales, en la mitigación de las inundaciones, la disminución en la contaminación hídrica así como la promoción en entornos urbanos más sostenibles y resilientes ante los desafíos de cambio climático y urbanización creciente.

Objetivos Específicos

Realizar una revisión de los sistemas de drenaje urbanos, abarcando sus componentes principales y funciones esenciales en el entorno urbano.

Identificar los principales desafíos asociados a la obsolescencia del DU y los retos que surgen de condiciones externas como el crecimiento poblacional y el cambio climático.

Realizar una revisión del concepto de los (SUDS) y explorar diversas tipologías que conforman esta tecnología, así como revisar aplicaciones realizadas.

Proponer recomendaciones y consideraciones producto del análisis de lo estudiado en los anteriores objetivos considerando la situación actual de los sistemas de DU y de la enseñanza del concepto de SUDS.

Capítulo 1: Drenaje Urbano

El drenaje urbano incluye estructuras y métodos para gestionar las aguas pluviales y residuales en las ciudades, su objetivo principal es evitar inundaciones y manejar el agua de lluvia de manera efectiva, usando sistemas de alcantarillado, redes de recolección, dispositivos de retención y otras medidas para llevar el exceso de agua fuera de las zonas urbanas de manera segura y ambientalmente amigable. (Butler et al., 2018)

Las infraestructuras de drenaje urbano, como los sistemas de tuberías, sumideros, canales y otros elementos, son fundamentales para recolectar y gestionar las aguas superficiales, estas infraestructuras previenen inundaciones y protegen la salud pública, es por esto que el drenaje urbano es crucial para la protección en la calidad del agua y el funcionamiento adecuado en las ciudades, especialmente ante desafíos del cambio climático, el aumento poblacional y el acelerado crecimiento urbano. (Bahrami, 2024)

En el drenaje urbano se implican varios factores y etapas, tales como:

- Planificación del territorio.
- Diseño hidráulico.
- Construcción adecuada del sistema.
- Operación del sistema.
- La conservación de obras.

Las características del escurrimiento de aguas lluvias y las intervenciones en cauces y quebradas pueden tener consecuencias aguas abajo y arriba, afectando a la población urbana y la calidad de vida, además aumenta el riesgo para las actividades diarias.

La planificación del drenaje urbano se basa en principios fundamentales y debe abordar la mitigación en áreas urbanas consolidadas, el manejo en nuevas urbanizaciones, la integración de

diversas áreas de drenaje y su evaluación socioeconómica y estructural, cruciales en etapas iniciales para una gestión integrada y territorial efectiva. (Ministerios De Obras Publicas De Chile, 2013)

1.1. Historia del Sistemas de Drenaje Urbano (SDU).

El SDU es testimonio en la evolución del ingenio humano en la manejo de aguas residuales y pluviales a lo largo de los siglos. Desde los sistemas rudimentarios de las civilizaciones antiguas, que utilizaban canales para transportar agua hacia rios, hasta los avanzados sistemas propuestos por Hobrecht en Berlín en 1884, se observa un progreso notable en las técnicas de recolección y tratamiento de aguas en entornos urbanos.

En Mohenjo-Daro, los canales construidos permitían la evacuación de aguas residuales y pluviales, evidenciando los primeros esfuerzos por gestionar el agua en las ciudades. Con el tiempo, se desarrollaron sistemas más sofisticados, como el de Hobrecht en Berlín, que incluía un sistema de recolección mediante brazos radiales que llevaban el agua a puntos centrales, desde donde era bombeada hacia campos de riego fuera de la ciudad. (Bonnet et al., s. f.)

Gracias a (Burian & Edwards, 2002) podemos tener una vision general de la historia del drenaje urbano y su evolución a lo largo del tiempo, lo cual se remonta a las Civilizaciones Antiguas desde al menos el 3000 a.C., varias civilizaciones antiguas construyeron ciudades con infraestructuras sofisticadas que incluían sistemas de drenaje de aguas integrados. Estos sistemas incluían edificación de alcantarillados, cloacas, acueductos y sistemas de canalización con el fin recolectar y transportar las aguas fuera de las ciudades. A través de métodos ingeniosos y avanzados para su época.

Ilustración 1

Imagen del canal de alcantarillado excavado en Mohenjo-Daro



Nota. La imagen representa el alcantarillado en las civilizaciones antigua. **Fuente.** <https://lc.cx/0aEouG>

Durante el Imperio Romano, se desarrollaron avanzados sistemas de alcantarillado y drenaje en ciudades como Roma, que incluían cloacas y acueductos para gestionar las aguas residuales y pluviales. Los romanos implementaron métodos innovadores, como la captación de aguas lluvias en cisternas destinadas al uso local, y construyeron una extensa red de alcantarillado y drenaje para mantener las ciudades limpias y saludables.

Ilustración 2

Cloaca Maxima en Roma.



Nota. La imagen representa la Cloaca Máxima en Roma. **Fuente.** PcQro. (2019, August 20).

<https://pcqro.com.mx/recomendaciones/historia-del-drenaje/>

Tras la caída del Imperio Romano, el enfoque en el drenaje urbano disminuyó en Europa, y las ciudades medievales a menudo descuidaban los sistemas de drenaje, lo que llevaba a problemas de salud pública. Durante el siglo XIX, especialmente en Europa, se produjo un resurgimiento en el diseño y aplicación de los SDU más avanzados, como el alcantarillado de París.

Ilustración 3

Alcantarillado de Paris.



Nota. La imagen representa el Alcantarillado de Paris. **Fuente.** Museo del Alcantarillado | Buendía. (n.d.). BuendíaTours.

Retrieved July 15, 2024, from <https://buendiatours.com/es/guias/paris/museo-alcantarillado>

A partir de mediados siglo XX, se promulgaron regulaciones para Estados Unidos, Europa y otros sitios para abordar los problemas del drenaje urbano. Se mejoró la comprensión de las características de cantidad y calidad del drenaje urbano a través de esfuerzos de monitoreo extensivos y herramientas de modelado por computadora.

1.2. Fundamentos del Drenaje Urbano

Los fundamentos del drenaje urbano se basan en la interacción entre las actividades humanas y el ciclo hidrológico, abarcando dos categorías principales: aguas residuales y aguas pluviales; Las aguas residuales provienen del uso humano e industrial y, sin un drenaje

adecuado, pueden causar contaminación y riesgos de salud, y las aguas pluviales, si no se drenan correctamente, pueden provocar inundaciones y contener contaminantes, también es importante mencionar que el drenaje urbano tiene dos interfaces principales: con el público y con el medio ambiente. (Butler et al., 2018)

1.3. Diseño de Sistema de Drenaje

Según (Butler et al., 2018), la planificación de los SDU implica considerar varios aspectos para garantizar su eficacia y sostenibilidad, a continuación, se mencionarán algunos aspectos fundamentales del diseño de SDU incluyen:

- **Considerar el gestion sostenible del agua:** Es significativo diseñar SDU que promuevan el uso eficiente y sostenible del agua, incluyendo la captación y procesamiento adecuado de las aguas residuales así como gestionar eficientemente las aguas pluviales.
- **Integrar soluciones naturales:** Debe considerarse la integración de soluciones naturales en el diseño de SDU, tanto la infiltración como el almacenamiento de agua lluvia, para minimizar el impacto ambiental y promover la sostenibilidad.
- **Evaluar el impacto ambiental:** Es fundamental evaluar el impacto ambiental de los sistemas de drenaje propuestos, considerando cómo afectarán a los cuerpos acuáticos receptores y ecosistemas circundantes.
- **Implementar tecnologías innovadoras:** El uso de tecnologías innovadoras, como modelos computarizados para la planificación y manejo de SDU, puede incrementar la efectividad en dichos sistemas.
- **Considerar la participación pública:** Incluir a la comunidad en el diseño de SDU puede contribuir a garantizar que las soluciones propuestas sean socialmente aceptables y cumplan con las necesidades locales.

1.4. Gestión de Aguas Pluviales

La utilización de aguas de lluvia ha sido esencial en las sociedades agrícolas de zonas semiáridas, ayudando a conservar suelo y agua y a mitigar inundaciones. Desde los años 60, el abandono de estas técnicas y los cambios en el uso del territorio han aumentado riesgos como las inundaciones y es crucial analizar el uso de aguas pluviales desde la perspectiva en la economía circular y Soluciones Basadas en la Naturaleza (NBS), especialmente ante los cambios climáticos, teniendo en cuenta que estas prácticas tradicionales aumentan la resiliencia en áreas semiáridas y más allá. (Hernández et al., 2020)

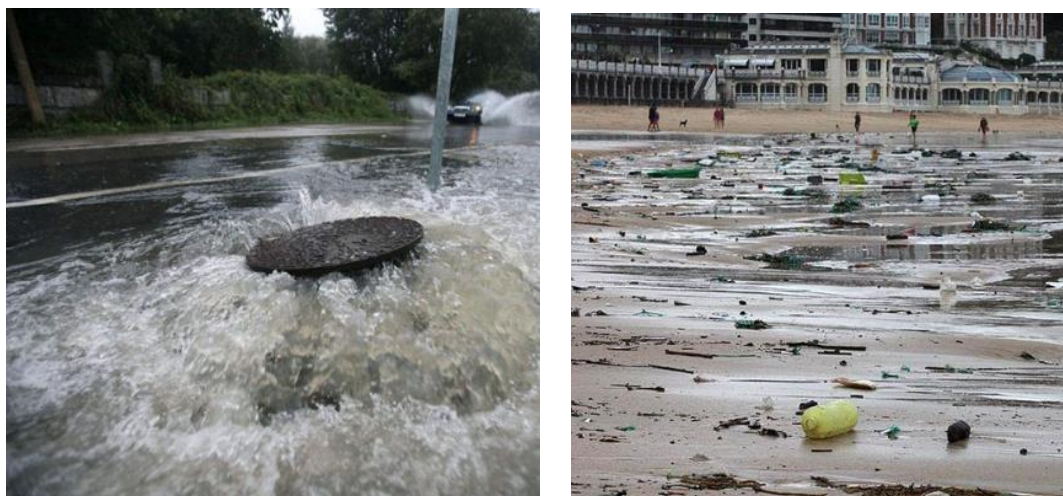
La Gestión Integral de Aguas Urbanas (GIAU) busca coordinar servicios de agua en áreas urbanas, la expansión urbana y manejo de los sistemas hidrográficos para optimizar beneficios económicos, sociales y ambientales de forma equitativa, esta gestión surge como respuesta a desafíos modernos como riesgos ambientales y dificultades financieras, ofreciendo ahorros significativos al aumentar la eficiencia de los servicios de agua, reducir vulnerabilidades ante desastres y minimizar costos económicos asociados a una gestión deficiente del agua.

El enfoque de esta gestión integral aborda la desconexión histórica entre planificación urbana y servicios de agua, que ha resultado en intervenciones fragmentadas y contradictorias, es por esto que la GIAU busca superar estas limitaciones promoviendo una visión unificada del ciclo del agua urbana, conduciendo a ciudades más sostenibles, eficientes y resilientes, mejorando el bienestar de los habitantes y fomenta un crecimiento urbano más ecológico e inclusivo. (Blue Water Green Cities, 2012)

Capítulo 2: Problemática del Drenaje Urbano

Ilustración 4

Problemáticas del Drenaje Urbano.



Nota. La imagen representa las problemáticas del drenaje urbano. **Fuente.** PROBLEMÁTICA, URBANISMO Y AGUAS PLUVIALES • SUDS. (n.d.). SUDS. Retrieved July 15, 2024, from <https://drenajesostenible.com/problematica-urbanismo-y-aguas-pluviales/>

La obsolescencia de los SDU está emergiendo como una preocupación creciente sobre el manejo del agua en ambientes urbanos, los métodos tradicionales, que se basan en infraestructuras grises para transportar rápidamente el agua de lluvia, han demostrado ser inadecuados para abordar los desafíos actuales de urbanización, cambio climático y sostenibilidad. El incremento de los caudales máximos, la reducción sobre las tasas de infiltración y la redistribución del balance hídrico son algunas de las consecuencias negativas de estos sistemas obsoletos, y la transición hacia enfoques más sostenibles, como el desarrollo de bajo impacto, se presenta como una alternativa crucial para mitigar los impactos negativos del drenaje convencional y promover el manejo más eficiente y resiliente de las aguas de lluvia en áreas urbanas. (Eckart et al., 2017)

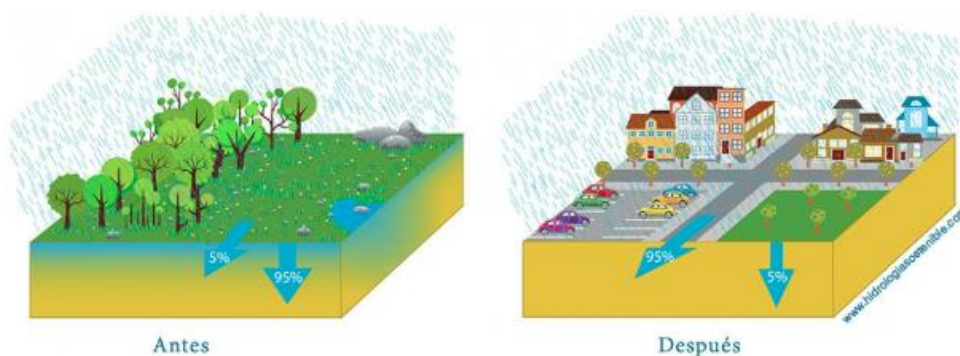
La migración hacia áreas urbanas ha llevado a que gran parte de la población mundial resida en entornos urbanos. En España, especialmente en el litoral mediterráneo, se observa un crecimiento poblacional notable, lo cual requiere importantes inversiones en infraestructuras como vías, áreas verdes, hospitales y redes de suministro de fluidos, estos desafíos subrayan el requerimiento de un compromiso político firme para abordar los problemas de drenaje en ciudades en rápido crecimiento, dado que expandir estas infraestructuras en zonas densamente pobladas conlleva costos económicos y sociales significativos. (Dolz & Gómez, 1994)

2.1. Obsolescencia de Sistemas Convencionales

La obsolescencia de sistemas convencionales de drenaje se debe al crecimiento urbano del último siglo, que ha descuidado el ciclo del agua y aumentado la impermeabilización del suelo, esto ha generado volúmenes de agua de escorrentía que las redes tradicionales no pueden gestionar adecuadamente, aunque han sido ampliadas, además esta situación ha llevado a un modelo insostenible sobre el manejo del drenaje urbano, el cual requiere un enfoque renovado y más ambientalmente consciente para el tratamiento del agua pluvial en las ciudades. (Rodríguez et al., 2015)

Ilustración 5

Comparación del Antes y Después de los Sistemas de Drenaje



Nota. La imagen representa la problemática del antes y después de los SDU. **Fuente..** (2013, May 30)..

<https://www.hidrologiasostenible.com/sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible-suds/>

2.2. Desarrollo Poblacional y Crecimiento Urbano

El incremento de población representa retos cruciales en la viabilidad de las infraestructuras urbanas, con un pronóstico de crecimiento significativo a nivel mundial y una mayor concentración urbana; este crecimiento implica adaptaciones urgentes en las infraestructuras para satisfacer las crecientes demandas de servicios esenciales como agua, energía, transporte y saneamiento.

La expansión urbana puede intensificar la carga sobre los recursos naturales, la producción de residuos y la contaminación, afectando el ecosistema y el bienestar de los habitantes, temiendo la necesidad urgente de desarrollar estrategias de planificación urbana sostenible que puedan manejar eficazmente estos desafíos y garantizar la sostenibilidad en las infraestructuras urbanas. (Bahrami, 2024)

El crecimiento poblacional ha generado una urbanización descontrolada que afecta los SDU, pérdida de áreas verdes y también la impermeabilización del suelo han aumentado la escorrentía superficial, presionando las infraestructuras de drenaje existentes que no están adecuadamente dimensionadas, por lo que este desarrollo urbano ha contribuido a la contaminación del agua pluvial y ha aumentado la vulnerabilidad de las ciudades ante eventos climáticos extremos como inundaciones. (Perales-Momparler et al., 2021)

Una alta concentración de aproximadamente ciento seis millones de personas habitaban en sectores urbanos del Caribe y América Latina hasta el 2005, reflejando una densidad poblacional intensa en entornos urbanos, esta situación ha impulsado una expansión urbana hacia áreas periféricas que carecen de infraestructura adecuada, como servicios esenciales de agua y saneamiento, exacerbando la vulnerabilidad en la población de áreas agrícolas, lacustres y forestales situadas en los valles dentro de las cuencas hidrográficas.

2.3.Cambio Climático

El cambio climático ha impulsado la creación de escenarios climáticos locales y regionales debido a la necesidad de proyectar los posibles impactos en ecosistemas y sectores socioeconómicos, estos escenarios son fundamentales para la planificación de obras públicas, políticas de uso del agua, adaptación de infraestructuras y toma de decisiones en diferentes áreas, donde la generación de escenarios climáticos se basa en modelos globales que permiten analizar los efectos esperados en el cambio climático en diferentes escenarios, brindando así información crucial para la adaptabilidad y respuesta adecuada a los posibles cambios futuros. (Oviedo & León, 2010)

El cambio climático se refiere a los impactos observados y proyectados en ecosistemas, sociedades humanas, ciudades, infraestructuras y sistemas industriales debido a la actividad humana que altera el clima global, estos impactos incluyen disminución de la biodiversidad, degradación del suelo, inseguridad alimentaria, urbanización rápida, desigualdad social y otros desafíos. (Alegría et al., 2021)

El cambio climático es un gran reto en el siglo XXI, con un aumento del forzamiento radiativo del dióxido de carbono y un incremento de la temperatura media global, alterando el ciclo hidrológico. El IPCC prevé más eventos de precipitaciones intensas, impactando significativamente las infraestructuras urbanas y las inundaciones urbanas debido a lluvias torrenciales han sido frecuentes y se espera que aumenten, causando mayores daños a personas y propiedades, para mitigar estos riesgos, es crucial modelar el impacto de los cambios en precipitación y temperatura sobre los sistemas de drenaje urbano e implementar alternativas de adaptación efectivas para mejorar la resiliencia en las infraestructuras urbanas frente al cambio climático. (Olofsson, 2007)

2.4. Residuos Sólidos

El transporte de residuos a través de sistemas de drenaje urbano ha sido un desafío histórico. Durante la Edad Media en Europa, las zanjas abiertas se usaban para drenar agua pluvial y transportar desechos domésticos, pero estos sistemas primitivos frecuentemente se obstruían, causando problemas de salubridad y aumentando el riesgo de enfermedades; en tiempos modernos, la gestión de residuos ha evolucionado hacia enfoques más integrales que incluyen eliminación, reciclaje y reutilización de desechos, y los sistemas actuales de drenaje urbano deben integrar tecnologías avanzadas y estrategias para minimizar el impacto ambiental, como técnicas de gestión de agua lluvia para capturarla y usarla de manera eficiente, esta evolución responde a la necesidad de proteger la salud pública, mantener la higiene y fomentar entornos urbanos sostenibles y habitables. (Burian & Edwards, 2002)

Otra problemática es la creciente generación de residuos sólidos urbanos como resultado del crecimiento población y el consumo, esto ha llevado a una mayor presión sobre los sistemas de gestión de residuos, que en muchos casos no son suficientes para manejar el volumen generado, esta situación no solo genera consecuencias adversas sobre el medio ambiente, como contaminación del suelo, agua y aire, sino que también representa riesgos en la salud pública debido a la proliferación de vectores de enfermedades. (T. D. Fletcher & Andrieu, 2013)

Ilustración 6

Residuos Sólidos.



Nota. La imagen representa los residuos sólidos en el drenaje urbano. **Fuente.** Patricia. (2021, September 28).

<https://aseca.com/la-basura-causa-inundaciones/>

2.5. Inundaciones Urbanas

Las inundaciones contribuyen un riesgo importante en el transporte por carretera, debido a que pueden causar interrupciones importantes en la movilidad de personas y bienes, así como generar impactos económicos y sociales significativos. En el documento "The impact of flooding on road transport: A depth-disruption function", se destaca que las inundaciones, derivadas de las lluvias, son el principal motivo de interrupciones relacionadas con el clima en el sector del transporte, allí se señalan que los enfoques existentes para evaluar el impacto disruptivo de las inundaciones en el transporte por carretera suelen asumir que una carretera está completamente operativa o completamente bloqueada, lo cual no se ajusta a las observaciones reales, así que es importante comprender la relación entre la profundidad del agua estancada y la velocidad de los vehículos se vuelve crucial para mejorar la estimación de los retrasos inducidos por las inundaciones y priorizar las decisiones de inversión en gestión del riesgo de inundaciones. (Pregnotato et al., 2017)

Las inundaciones representan un desafío significativo en todo el mundo, especialmente en áreas urbanas y fluviales, destacando la importancia de mejorar las estrategias existentes para abordar las incertidumbres asociadas con la variación climática, el desarrollo urbano y las modificaciones en el uso del suelo, en el Reino Unido como en China, se están implementando programas y soluciones de ingeniería para controlar los riesgos de inundaciones y reducir desastres, lo que subraya la importancia de optimizar el manejo y control en las inundaciones urbanas y fluviales para garantizar la resiliencia ante eventos extremos. (Rubinato et al., 2019)

Ilustración 7

Inundaciones Urbanas.



Nota. La imagen representa la problemática de las inundaciones urbanas. **Fuente.** Planas, V. R. N. (2019, December 11)..

IAgua. <https://www.iaqua.es/blogs/vicente-r-navarro-planas/soluciones-hacer-frente-inundaciones-urbanas-cambio-climatico>

Capítulo 3: SUDS

Los SUDS son una forma innovadora de abordar el drenaje urbano, utilizando técnicas naturales y basadas en el paisaje para administrar los recursos pluviales con un enfoque más ecológico y duradero, estos sistemas buscan imitar los mecanismos naturales de recepción y acumulación de lluvia, promoviendo la reposición de acuíferos, disminución de la contaminación y el desarrollo de zonas verdes en áreas urbanas. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio; Departamento Nacional de Planeación, 2022)

Ilustración 8

SDUS.



a) Cuenca de infiltración-detención en el parque Alfonso XIII (Madrid)



b) Trinchera de infiltración en Ribarroja



c) Sistemas de biorretención y pavimento permeable en Sevilla.



d) Pavimento cerámico permeable en Benicàssim.

Nota. Las imágenes representan algunos de los SDUS. **Fuente.** Andrés-Doménech-I. (2021). <https://doi.org/10.3390/su130527>

3.1. Historia de los SUDS

Los SUDS se remonta a las últimas décadas del siglo XX, con un enfoque creciente en la manejo sostenible del agua en zonas urbanas. En el Reino Unido, los esfuerzos para modificar el modo en que se gestiona el agua de lluvia comenzaron en la década de 1980, y en 1992 se publicaron pautas que brindaban orientación sobre diversas opciones de control técnico. En Escocia, se produjo un avance significativo en el manejo del agua de lluvia durante la década de 1990, con una fuerte presión regulatoria para la implementación de prácticas del manejo de aguas en nuevos proyectos. El término "Sistemas de Drenaje Sostenible Urbano" fue acuñado por primera vez en 1997 para explicar la tecnología utilizada en la gestión de aguas de lluvia, y desde entonces se ha convertido en un enfoque integral para replicar procesos naturales de drenaje y incrementar la calidad del agua en entornos urbanos.(Fletcher et al., 2014)

Los SUDS surgieron para resolver problemas del drenaje urbano convencional, que suelen causar contaminación del agua, inundaciones urbanas y pérdida de recursos hídricos. A lo largo de la historia, el manejo del agua en áreas urbanas ha evolucionado hacia enfoques sostenibles, como los SUDS.

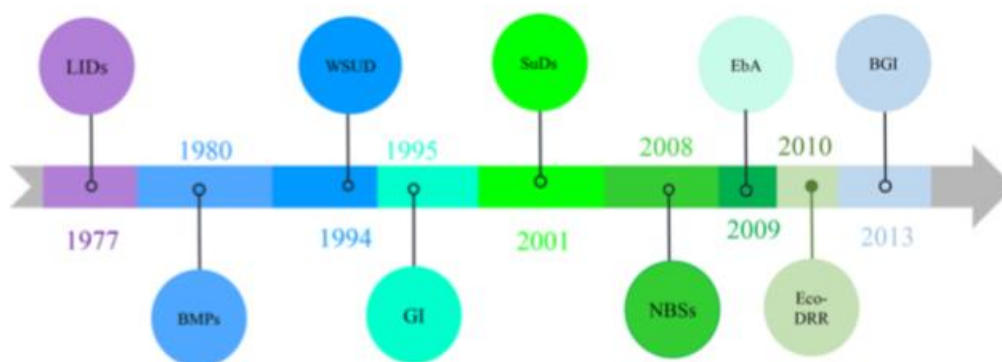
Tradicionalmente, el abastecimiento de agua urbana dependía de recursos agua superficiales y subterráneos, ignorando el agua de lluvia de escorrentía urbana. Esto provocaba la pérdida significativa de agua de lluvia, agravando la escasez de esta y la contaminación. Con el tiempo, se ha comprendido la necesidad de métodos más sostenibles, y los SUDS se han convertido en una solución efectiva para problemas como inundaciones urbanas, disminución del agua subterránea y contaminación del agua. En países como el Reino Unido, los SUDS utilizan tecnologías innovadoras como tanques de sedimentación y pavimentos permeables para controlar

la escorrentía y mejorar el estado del agua, apoyando así los recursos hídricos subterráneos.

(YANG, 2020)

Ilustración 9

Cronograma y año de origen de cada término (LID– BMP– WSUD– GI– SuD– NBS - (AbE)- (Eco-RRD) -(BGI) según su aparición en las publicaciones.



Nota. La imagen representa la cronología del desarrollo de los SUDS. **Fuente.** Ruangpan, Vojinovic, Di Sabatino, Leo, Capobianco, Oen, McClain, & Lopez-Gunn. (2020, January 20). <https://nhess.copernicus.org/articles/20/243/2020/>

Las Low-Impact Developments (LIDs) son enfoques de desarrollo urbano que buscan minimizar los impactos ambientales negativos, enfocándose en preservar el agua y minimizar el impacto ambiental mediante prácticas sostenibles. (Davis, 2005)

Las BMPs (Best Management Practices) son prácticas estructurales o de gestión que se utilizan para regular la calidad y cantidad del agua pluvial, integrando procesos biológicos, físicos y químicos para optimizar la calidad del recurso hídrico y disminuir el volumen del caudal. (Scholes et al., 2008)

El Water Sensitive Urban Design (WSUD) es una metodología integral la cual considera la gestión del agua en todas las etapas del desarrollo urbano, promoviendo soluciones sostenibles y resilientes para la gestión hídrica en entornos urbanos. (Fletcher et al., 2014)

La infraestructura verde es una perspectiva de planificación que prioriza el medio ambiente mediante la integración de sistemas naturales en entornos construidos para crear paisajes sostenibles y conectados. (Benedict & McMahon, 2006)

La Adaptación Basada en Ecosistemas (EbA) utiliza la naturaleza así como sus servicios para asistir a las comunidades en su adaptación a las consecuencias del cambio climático, brindando beneficios tanto para el ajuste como para la reducción del cambio climático. (Munang et al., 2013)

La Ecosystem-based Disaster Risk Reduction (Eco-DRR) emplea los servicios y funciones de los sistemas naturales para disminuir la susceptibilidad y fortalecer la resiliencia de las poblaciones ante los eventos naturales adversos. (Chandra & Dalton, 2013)

La blue-green infrastructure (BGI) se refiere a un enfoque integrado que combina elementos naturales y construidos, como cuerpos de agua y espacios verdes, para manejar el agua de manera sostenible y proporcionar beneficios ambientales y sociales en entornos urbanos. (Demuzere et al., 2012)

Claro, aquí tienes una paráfrasis del texto:

Las Nature-Based Solutions (NbS) son medidas para preservar, manejar sosteniblemente y rehabilitar ecosistemas naturales o alterados, que responden de manera efectiva y adaptable a retos sociales, a la vez que aportan ventajas para el bienestar humano y la biodiversidad. (*Nature-based Solutions to address global societal challenges*, 2016)

3.2. Principios Fundamentales de los SUDS

Los SUDS son fundamentales para planificación urbana sostenible e incrementar el bienestar en las ciudades mediante varios aspectos clave:

- Primero, apoyan mecanismos naturales como la infiltración y retención de aguas de lluvia in situ, reduciendo el escurrimiento y optimizando la calidad del agua en cuerpos receptores.
- Segundo, medidas como techos y pavimentos permeables ayudan a reducir el impacto del calor urbano al incrementar la cobertura de áreas naturales en entornos urbanos.

Los SUDS contribuyen significativamente a optimizar la calidad del agua al mitigar problemas como la muerte de peces debido a desbordamientos de alcantarillado combinado, proporcionan hábitats adicionales que benefician la biodiversidad local, mejoran la calidad estética y recreativa de las áreas urbanas, y presentan argumentos económicos sólidos al valorar los servicios ecosistémicos en términos monetarios, facilitando así decisiones efectivas en la planificación urbana. (Johnson & Geisendorf, 2022)

3.2.1. *Control de Cantidad y Calidad*

Es crucial gestionar la cantidad y calidad de agua del sistema de evacuación de escorrentía para mejorar la sostenibilidad de las ciudades, esto implica diseñar infraestructuras para gestionar grandes cantidades de agua eficientemente para evitar inundaciones y reducir los efectos adversos en la infraestructura urbana y el bienestar de la población.

Respecto a la calidad de escorrentía, es fundamental implementar prácticas de gestión sostenible del agua, como las Mejores Prácticas de Manejo (BMPs) y las Prácticas de Drenaje Sostenible (SUDS), estas prácticas incluyen técnicas de infiltración, filtración y retención para

reducir la degradación del agua de escorrentía, protegiendo así los recursos hídricos naturales y promoviendo un entorno urbano más saludable y sostenible. (Salazar et al., 2020)

3.2.2. *Amenidad*

La implementación de elementos verdes y naturales en la planificación del diseño urbano no solo aporta a la resiliencia urbana, sino que a se ves puede mejorar significativamente el bienestar de los habitantes urbanos al ofrecer espacios agradables y funcionales, estos espacios no solo cumplen funciones de drenaje sostenible, sino que también pueden proporcionar beneficios adicionales, como la mejora del entorno visual, la biodiversidad y la recreación.

La implementación efectiva de SUDS requiere un enfoque multiobjetivo que considere no solo la gestión del agua, sino también puntos como la amenidad y la biodiversidad al integrar estos elementos en el diseño urbano, se pueden crear entornos más sostenibles y resilientes. (McClymont et al., 2020)

3.3. Tipologías para la Implementación de SUDs.

3.3.1. *Pavimentos Permeables*

Un pavimento permeable está compuesto por una estructura que permite que el agua se infiltre en lugar de crear escorrentía superficial. La sección transversal típica de este pavimento incluye una sub-base sobre el suelo compactado, una capa intermedia compuesta por bases con granulometría abierta y una capa superficial que permite la permeabilidad. Este tipo de pavimento puede incorporar elementos como geotextiles para filtración y separación, tuberías perforadas, geocompuestos, celdas plásticas o membranas impermeables para mejorar su rendimiento. (Espino et al., 2019)

Ilustración 10.

Pavimento permeable que permite la infiltración de agua y disminuye la escorrentia.



Nota. La imagen representa un pavimento de hormigón permeable. ¿Conoces el sistema de pavimento hormigón permeable? (2016, February 19). Paviprint. <https://www.paviprint.com/conoces-el-sistema-de-pavimento-hormigon-permeable/>

3.3.2. Techos Verdes

Los techos verdes representan una práctica innovadora que hace una contribución significativa a la sostenibilidad. Consisten en colocar vegetación en las azoteas de las edificaciones, lo cual ofrece múltiples beneficios en diversos aspectos, como la regulación térmica, la disminución del efecto de los impactos del calor urbano y la generación de un microclima más agradable.

Económicamente, los techos verdes también son beneficiosos, ya que ayudan a reducir los costos energéticos al mejorar la eficiencia térmica de los edificios, lo que disminuye la necesidad de calefacción ó de aire acondicionado, esto se traduce en un ahorro considerable en el consumo de energía. (Lopez et al., s. f.)

Los techos verdes proporcionan múltiples beneficios en entornos urbanos, algunos de los beneficios son: Primero, contribuyen a disminuir la influencia de la isla de calor al absorber el

calor y proporcionar un enfriamiento natural, crucial en áreas urbanas densas donde materiales como el concreto aumentan la temperatura ambiente, también es importante ayudar a fomentar la biodiversidad al servir como hábitats para plantas, insectos y aves, promoviendo un equilibrio ecológico en las ciudades.

Otro beneficio es su habilidad para mejoramiento en la calidad del agua al actuar como filtros naturales, absorbiendo contaminantes y nutrientes del agua de lluvia y reduciendo así la polución en cuerpos de agua cercanos, los techos verdes reducen la escorrentía al absorber y liberar gradualmente el agua, lo que ayuda a prevenir inundaciones y alivia la carga sobre SDU.

Estos beneficios climáticos y energéticos también incluyen la reducir la cantidad de energía requerida para enfriar edificios en climas cálidos, generando ahorros energéticos y reduciendo las emisiones de GEI asociadas con la climatización urbana. (Perez, s. f.)

Ilustración 11.

Cubierta Verde en un colegio.



Nota. La imagen representa un techo verde. **Fuente.** (n.d.). Paimed. Retrieved July 5, 2024, from https://paimed.com/portfolio_page/cubierta-ajardinada-en-un-colegio/

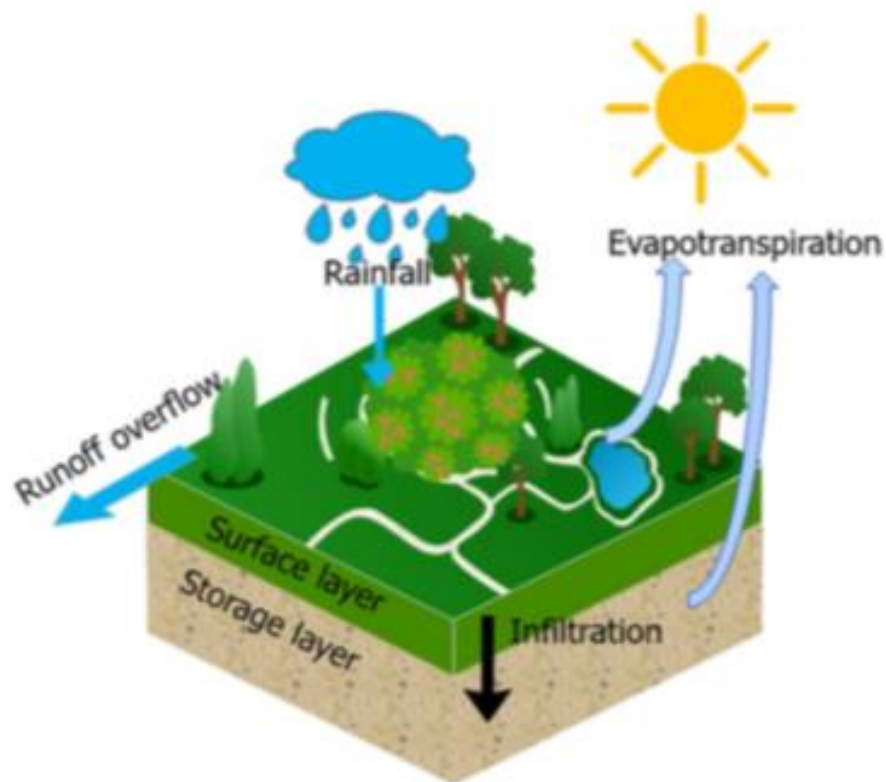
3.3.3. Jardines de Lluvia

En el diseño de jardines de lluvia, se propone una técnica estructurada en cuatro pasos: primero, analizar las condiciones existentes del área; segundo, evaluar el SDU; tercero, proponer soluciones basadas en los SUDS; y cuarto, establecer conexiones a la red y planificar el mantenimiento, esta metodología enfatiza que para captar un metro cúbico de esorrentía se requieren cuatro jardines de lluvia de cierta superficie específica, sugiriendo que incrementar el número de estas unidades aumentará la capacidad de evacuar mayores volúmenes de agua de lluvia. (Saraguro et al., 2023)

Los jardines son fundamentales en el manejo del escurrimiento de las aguas lluvias para evitar que el sistema de drenaje colapse por grandes caudales, disminuir y posponer las crestas de inundación de forma efectiva, y ejercer un papel crucial sobre la restauración del ciclo del agua, aunque no pueden tratar por completo el agua pluvial sin sistemas de alcantarillado convencionales, los jardines de lluvia pueden disminuir la dependencia de estos sistemas, facilitando la infiltración y redistribución del agua pluvial, lo que a su vez aporta valor a terrenos vacantes con poco o ningún valor actual y al reducir los costos asociados con la infraestructura tradicional de manejo de aguas pluviales, los jardines de lluvia se presentan como una alternativa inteligente y sostenible para las ciudades en términos de presupuesto y gestión del agua. (Ishimatsu et al., 2016)

Ilustración 12

Modelo conceptual de jardín de lluvia en SWMM.



Nota. La imagen representa un modelo de jardín de lluvia. **Fuente.** None-Osheen (2024). <https://doi.org/10.1007/s11269-024-03877-x>

Ilustración 13.

Jardín de Lluvia.



Nota. la imagen representa un jardin de lluvia. robertonatale. (2020, January 13). BibLus. <https://biblus.accasoftware.com/es/diseno-de-un-jardin-de-lluvia/>

3.3.4. Cunetas Verdes

Las cunetas verdes, también conocidas como zanjas ajardinadas, forman parte de los SUDS, diseñadas para gestionar de forma sostenible la escorrentía superficial, estas estructuras están revestidas con vegetación y materiales permeables que favorecen la infiltración del agua al suelo, mejorando su calidad y reduciendo el volumen de escorrentía, estas cunetas son canales de poca profundidad con vegetación que conducen la escorrentía, atrapan contaminantes, promueven la infiltración y disminuyen la velocidad de la corriente del agua, ya sea naturalmente o construidas por el hombre, para el diseño de estos canales se consideran factores como la ubicación, tipos de suelo, vegetación presente, configuración del canal y su construcción, adaptándose geométricamente según las condiciones del terreno. (Garcia, 2016)

Las cunetas verdes, cumplen una función crucial en la gestión del agua de lluvia en entornos urbanos al proporcionar soluciones efectivas para la gestión sostenible de la escorrentía de carreteras con tráfico moderado, estas infraestructuras verdes permiten la recolección, filtración y infiltración del agua de escorrentía, lo que influye a optimizar el estado del agua al disminuir las impurezas como metales y hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs); la presencia de vegetación en las cunetas, especialmente de macrófitas con un sistema radicular denso, actúa como un medio de amortiguación que atenúa las variaciones en el contenido de contaminantes, lo que resulta en una mayor homogeneidad en los valores de las aguas infiltradas, este efecto de mitigación de la contaminación resalta la importancia de las cunetas verdes como una estrategia efectiva para preservar los cuerpos acuáticos y mejorar su calidad en entornos urbanos. (Leroy et al., 2016)

Ilustración 14.

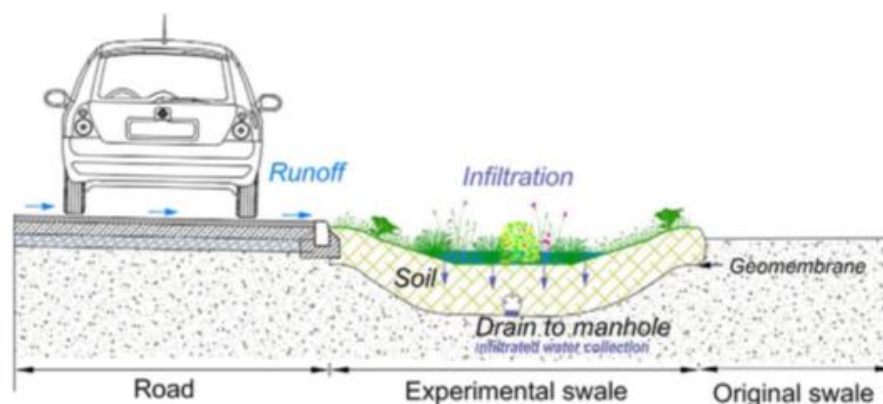
Cuneta Verde



Nota. La imagen representa una cuneta verde. **Fuente.** (2014). Wp.com. <https://i1.wp.com/drenajeyurbanosostenible.org/wp-content/uploads/2014/04/cuneta-seca.jpg>

Ilustración 15

Cuneta verde



Nota. La imagen representa una cuneta verde. **Fuente.** MarcotteS. (2016, Octubre.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969716309603#:~:text=Grassed%20swales%20showed%20a%20good,between%2044%25%20and%2098%>

3.3.5. Estanques de Retención

Consiste en reservar espacios adecuados para acumular aguas de escorrentía superficial provenientes de tejados u otras superficies impermeables, aprovechando la capacidad de infiltración del suelo. Aunque requiere menos espacio, necesita un mantenimiento más cuidadoso

para evitar la colmatación, que podría convertirlos en estanques de aguas turbias con sedimentos que impiden el crecimiento de vegetación. Debido a la mayor complejidad del mantenimiento, se utilizan con menos frecuencia que otros sistemas, aunque pueden ser perfectamente aplicables. (Gomez, 2007)

Los estanques de retención son de vital importancia para el manejo de aguas de lluvia en áreas urbanas, ya que estos estanques son fundamentales en el control de impurezas en la escorrentía, ya que permiten la sedimentación, flotación, infiltración, adsorción, captación biológica, conversión biológica y degradación de contaminantes, donde al aumentar el tiempo de retención del agua en los estanques, se mejora significativamente la eficacia en la eliminación de contaminantes, lo que ayuda a mejorar el estado de los ríos y arroyos, así como prevenir inundaciones y la protección en la infraestructura circundante. (Carpenter et al., 2014)

Ilustración 16.

Estanques de Retención.



Nota. La imagen representa un estanque de retención. **Fuente.** (2013, October 29).. <http://sudsostenible.com/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/estanques-de-retencion/>

3.3.6. Sistemas de Biorretención

Un sistema de Biorretención es un dispositivo moderno ampliamente utilizado, diseñado para eliminar sólidos suspendidos y otros contaminantes del agua, el biochar, un subproducto rico en carbono producido a partir de la pirólisis de biomasa, ha comprobado ser efectivo en la

remoción de ciertas impurezas, donde la gestión inadecuada en la esorrentía no solo pone en peligro la salud humana, sino que también amenaza el ecosistema.

La esorrentía a menudo contiene grandes cantidades de contaminantes orgánicos e inorgánicos que afectan negativamente al medio ambiente y dificultan la reutilización del agua pluvial urbana.

El biochar se destacó como un adsorbente prometedor, adecuado para ser añadido al sistema de biorretención debido a su alta superficie específica, estructura carbonácea microporosa y grupos funcionales oxigenados con carga negativa en su superficie, que crean una fuerte afinidad para la eliminación de contaminantes mixtos. (SONG et al., 2023)

La Biorretención es una tecnología prometedora para el campo de gestión de aguas de lluvia, que se basa en interacciones ecológicas en un sistema natural para proporcionar retención de aguas pluviales y remoción de contaminantes, estos sistemas también conocidos como jardines de lluvia, fueron desarrollados en la década de 1990 como prácticas estructurales de mejor manejo del agua en zonas pobladas.

El desarrollo de tecnologías de bioretención, desde su concepción inicial hasta posibles mejoras futuras, ha sido foco de estudio e investigación, por lo que esta perspectiva innovadora busca maximizar los fenómenos físicos, químicos y biológicos de remoción de contaminantes presentes en el suelo y la vegetación, inspirándose en sistemas naturales similares utilizados para tratar efluentes de aguas residuales. (Poirier et al., 2010)

Ilustración 17.

Áreas de biorretención.

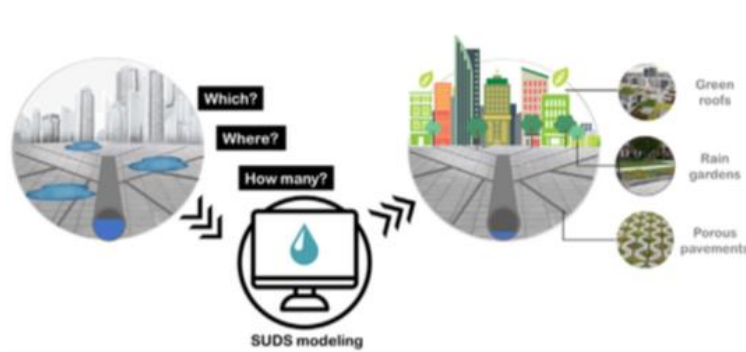


Nota. La imagen representa las áreas de biorretención. (2013, October 29).. <http://sudsostenible.com/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/areas-de-biorretencion/>

Capítulo 4: Ejemplos de Aplicación de los SUDs

Ilustración 18

Aplicación de SUDs



Nota. La imagen representa la aplicación de SUDs. **Fuente.** (2022).<https://doi.org/1>

El modelo hidrológico-hidráulico, es una herramienta integral diseñada para simular el drenaje dual en entornos urbanos, este modelo abarca varios aspectos clave del SDU, incluyendo la transición del agua lluvia en escorrentía, enrutamiento de flujo en las calles, interceptación del agua en las entradas de las calles y la interacción del flujo entre el agua superficial en las calles y el sistema de aguas pluviales subterráneo, y su enfoque holístico permite una representación detallada y precisa de los procesos hidrológicos y hidráulicos en entornos urbanos, esto lo transforma en un activo esencial para el manejo sobre las aguas de lluvia y la evaluación de riesgos de inundaciones.

Una característica destacada de este modelo es su integración con el motor EPA-SWMM5, usado en la EPA para la gestión de aguas pluviales, esta integración permite una gestión eficiente del flujo entre las calles y el sistema de aguas pluviales subterráneo, facilitando la simulación de diversos escenarios y condiciones hidrológicas en un entorno urbano, donde al combinar la funcionalidad del modelo propuesto con la capacidad del EPA-SWMM5, se logra una herramienta eficaz y flexible que puede ser empleada para hacer frente a una variedad

extensa de desafíos relacionados con drenaje urbano y gestión de inundaciones. (Naína et al., 2014)

Existe un estudio donde se exploran los modelos SWMM (Storm Water Management Model) y GSSHA (Gridded Surface Subsurface Hydrologic Analysis) para simular respuestas hidrológicas en cuencas urbanas en Roanoke, Virginia. SWMM, un modelo semidistribuido, destaca por su capacidad para predecir la magnitud y el momento de las crecidas, así como por proporcionar información detallada sobre las condiciones hidráulicas en la red de alcantarillado pluvial.

GSSHA, un modelo distribuido, sobresale por su capacidad para predecir la duración y extensión espacial de las inundaciones, permitiendo la visualización de salidas en dos dimensiones y la integración de SWMM y GSSHA en este estudio ofrece una perspectiva integral sobre la modelización de redes de alcantarillado y la gestión de inundaciones urbanas. (Brendel et al., 2020)

El modelo llamado FIRM que se enfoca en evaluar la extensión espacial y la profundidad de las inundaciones urbanas causadas por desbordamientos de pozos de inspección durante y después de eventos de tormenta, este modelo innovador integra el modelo SWMM para proporcionar una evaluación cuantitativa de la contribución de los SDU a la vulnerabilidad ante inundamientos urbanos. (GebreEgziabher & Demissie, 2020)

El Manejo de Aguas de Lluvia en Desarrollos de Bajo Impacto en Áreas Urbanas, se emplea el sistema computacional SWMM para simular y evaluar el impacto de técnicas de LID en el manejo de aguas de lluvia. SWMM es un modelado interactivo de flujo de agua que es utilizado principalmente para eventos de precipitación urbana y para analizar la cantidad y calidad del agua a futuro, donde se analiza cómo la integración de técnicas LID, como la

captación y retención de agua, puede contribuir a reducir el caudal pico y el volumen de inundaciones en áreas urbanas.(Bai et al., 2018)

Capítulo 5: Consideraciones Finales y Recomendaciones

Es crucial introducir soluciones innovadoras en el ámbito del drenaje urbano para enfrentar los desafíos actuales de las ciudades modernas. La integración de SUDS emerge como alternativa promisorio al promover técnicas basadas en el paisaje y procesos naturales para gestionar eficazmente el agua pluvial. Estos enfoques no solo ayudan a mitigar inundaciones, sino que también fomentan entornos urbanos más verdes y resistentes al cambio climático.

Es sorprendente cómo los SUDS pueden replicar procesos naturales como la captación y conservación del agua, ofreciendo beneficios ambientales y sociales significativos. La promoción de la reposición de acuíferos y reducción de la contaminación son principios clave que resaltan la importancia de una gestión holística del agua urbana. Además, medidas como techos verdes y pavimentos permeables no solo mejoran la calidad del agua, sino que también minimizan los efectos del calor producidos por la ciudad, mejorando así el bienestar urbano.

Como futura ingeniera civil, es fundamental analizar el impacto ambiental de los SDU propuestos para garantizar su efectividad y sostenibilidad a largo plazo. La implementación de tecnologías innovadoras, como modelos computarizados para el dimensionamiento y manejo del sistema de evacuación de aguas lluvias, representa una oportunidad para aumentar la eficiencia de nuestras soluciones mientras protegemos el medio natural y el bienestar público.

El compromiso activo de los habitantes en la planificación y ejecución de los SDU es esencial para garantizar su aceptabilidad social y su alineación con las necesidades locales. La

educación y sensibilización sobre la importancia del drenaje urbano sostenible son fundamentales para fomentar una cultura de conservación del agua y del entorno urbano.

Capítulo 6: Conclusiones

El documento ofrece una perspectiva sobre la relevancia de los SUDS. Con la crecimiento de las áreas poblacionales urbanas y los desafíos planteados por el cambio climático, es imperativo reconsiderar los sistemas tradicionales de drenaje y adoptar enfoques más eficientes y sostenibles.

Los SUDS surgen como una opción prometedora para enfrentar las cuestiones asociadas con el manejo de lluvias en áreas urbanas. Estos sistemas no solo pueden reducir inundaciones y optimizar la calidad del agua, sino que también promueven un desarrollo urbano más sostenible al incorporar técnicas basadas en el paisaje y procesos naturales.

La implementación de SUDS no solo conlleva beneficios ambientales, como la infiltración y retención del agua, sino que también genera impactos sociales positivos al mejorar el bienestar de los residentes urbanos. La implementación de medidas como techos verdes y pavimentos permeables no solo ayuda en el manejo de agua lluvia, sino a su vez ayuda a reducir la isla de calor urbano.

Además, se subraya la relevancia de la cooperación proactiva de los habitantes sobre el diseño y desarrollo de estos sistemas, así como la necesidad de educar y concientizar a la población de la relevancia de los SDUS. Fomentar una conciencia sobre el valor del agua y del entorno urbano es crucial para asegurar la aceptación social de las soluciones propuestas.

Referencias

- Alegría, A., Diaz, D., Ebi, K., Eriksen, S., Frieler, K., Jamshed, A., Maharaj, S., McLeman, R., McMillan, J., & Thomas, A. (2021).
<https://www.unep.org/es/resources/informe/sexta-informe-de-evaluacion-del-ipcc-cambio-climatico-2022>
- Bahrami, A. (2024). *SUSTAINABLE STRUCTURES AND BUILDINGS*.
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-46688-5>
- Bai, Y., Zhao, N., Zhang, R., & Zeng, X. (2018). 16. <https://doi.org/10.3390/w11010033>
- Ballard. (2007). *The SuDS Manual*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:108003187>
- Benedict, & McMahon. (2006). 2. <https://doi.org/10.1007/s10980-006-9045-7>
- Blue Water Green Cities. (2012). *Gestión Integral de Aguas Urbanas*.
www.worldbank.org
- Bonnet, C., Brown, Burdon, Williams, Dibdin, Driewer, & Dunbar. (s. f.). *Historical Development of Wastewater Collection and Treatment*. 24.
- Brendel, C., Dymond, R., & Aguilar, M. (2020). *Modeling Storm Sewer Networks and Urban Flooding in Roanoke, Virginia, with SWMM and GSSHA*. 13.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0002021](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0002021).
- Burian, S., & Edwards, F. (2002). *Historical Perspectives of Urban Drainage*. 16.
- Butler, D., Digman, C., Makropoulos, C., & Davies, J. (2018). *Urban Drainage* (4th Edition). 10.1201/9781351174305
- Carpenter, J., Vallet, B., Pelletier, G., Lessard, P., & Vanrolleghem, P. (2014). *Pollutant removal efficiency of a retrofitted stormwater detention pond*. 11. 10.2166/wqrjc.2013.020

Chandra, A., & Dalton, J. (2013)..https://www.researchgate.net/profile/Alvin-Chandra-2/publication/305441371_Utilizing_Integrated_Water_Resource_Management_Approaches_to_Support_Disaster_Risk_Reduction/links/578f11a008ae35e97c3f7c56/Utilizing-Integrated-Water-Resource-Management-Approaches-to-Support-Disaster-Risk-Reduction.pdf

Davis, A. (2005). *Low-Impact Development: An Integrated Water and Land Conservation Approach*. 7.

Demuzere, Orru, K., Heidrich, Olazabal, Geneletti, Orru, H., Bhawe, Mittal, Feliu, & Faehnle. (2012) . 9. 2014.07.025

Dolz, J., & Gómez, M. (1994). *PROBLEMÁTICA DEL DRENAJE DE AGUAS PLUVIALES EN ZONAS URBANAS Y DEL ESTUDIO HIDRÁULICO DE LAS REDES DE COLECTORES*. 1, 12.

Eckart, K., McPhee, Z., & Bolisetti, T. (2017). *Performance and implementation of low impact development – A review*. 20 2017.06.254

Espino, D., Valeri, A., Rodriguez, J., & Castro, D. (2019). *Pavimentos urbanos permeables*. 5.

Fletcher, Shuster, Hunt, Ashley, Butler, Arthur, Trowsdale, & Bertrand. (2014). 20. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>

Fletcher, T. D., & Andrieu, H. (2013).. 19.

Fletcher, T., Shuster, W., Hunt, W., Ashley, R., Mayordomo, D., Arthur, S., Trowsdale, S., Barraud, S., Semadeni, A., Bertrand, J., Mikkelsen, P., Rivard, G., Uhl, M., Dagenais, D., & Viklander, M. (2014). <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>

Fratini, CF, Geldof, GD, Kluck, & Mikkelsen. (2012). <https://doi.org/10.1080/1573062X.2012.668913>

Garcia, C. (2016). *Modelación hidrológica de cunetas verdes Caso de estudio— Colombia*. Universidad de los Andes.

GebreEgziabher, M., & Demissie, Y. (2020). 22. <https://doi.org/10.3390/w12041160>

Gomez, M. (2007). *HIDRILOGIA URBANA*.

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/56290811/Seminario-de-hidrologia-urbana-libre.pdf?1523418935=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DHIDROLOGIA_URBANA.pdf&Expires=1719504398&Signature=SjNsiMmuIo34xXoUyoZ4WVht5v9e4xf4kgLfGwIqmdNLNYApGdhlsibBK6NmKhGOK3myuXwgqKHKpS2pAGGZWYfEnLn9qQGgUcrc-42NBh7OZGQrZfOpKgssVz7JBVXhOnwaML1EICOnK3yi8I0tgd9J2LckUkP8og6CtebjPuv5Fbb9DvpR2KJgbYMPS8FJIuXWrKm6ZGJzcD2ClSeLm4kraKEXY3P9XF88rFvI-HHMoPNLIADS7f~FKJxxIxE7H3vEogQteTL3jhe25xvOpXEh0s4H2QiIQLN9iheKBw4TViPvPJeyYEB3MUqqSvnpmlnZTGOYUDchlXd6wIk-hQ__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA#page=176

Hernández, M., Sauri, D., & Morote, Á. (2020). Universitat d'Alacant.

<https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/109066/1/riesgo-inundacion-espana-531-547.pdf>

Ishimatsu, K., Ito, K., Mitani, Y., & Tanaka, Y. (2016). *Use of rain gardens for stormwater management in urban design and planning*. <https://doi.org/10.1007/s11355-016-0309-3>

Johnson, D., & Geisendorf, S. (2019). <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.12.024>

Johnson, D., & Geisendorf, S. (2022). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114508>

Leroy, M., Koltalo, F., Legras, M., Lederf, F., Moncond'huy, V., Polaert, I., & Marcotte, S. (2016). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.027>

- Lopez, B., Camacho, A., Martinez, M., & Aranda, M. (s. f.). *Techos verdes*
<http://dx.doi.org/10.18845/tm.v33i3.4389>
- McClymont, K., Gasparini, D., Maidment, C., Ashagre, B., Floriano, A., Batalini de Macedo, M., Nóbrega dos Santos, M., Nóbrega, M., Menciondo, E., Paceli, A., Rajendran, L., & Imani, M. (2020). <https://doi.org/10.3390/w1202060>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio; Departamento Nacional de Planeación. (2022). (SUDS). <https://www.minvivienda.gov.co/guias/guia-metodologica-para-la-formulacion-e-implementacion-de-sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible>
- Ministerios De Obras Publicas De Chile. (2013).
- Munang, R., Thiaw, I., Alverson, K., Mumba, M., Liu, J., & Rivington, M. (2013).
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2012.12.001>
- Naína, L., León, A., E., P., WRE, D., & Garcia, M. (2014).
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001080](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001080)
- Nature-based Solutions to address global societal challenges* (with Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., & Maginnis, S.). (2016).
- Olofsson, M. (2007). *Climate Change and Urban Drainage Future precipitation and hydraulic impact*. Luleå University of Technology.
- Oviedo, B., & León, G. (2010).
<https://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gu%C3%ADa+Escenarios+Cambio+Climat+ico.pdf/72eae24f-04ea-4ce2-9a4b-e551559c48fc>
- Perales-Momparler, S., Rodriguez-Hernandez, J., Anta, J., & Doménech, I. (2021).
<https://doi.org/10.3390/su13052791>

Perez, G. (s. f.). . <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/d344a33a-66a6-4d5b-a502-00a835a9848d/content>

Poirier, A., Champagne, P., & Fillion, Y. (2010). <https://doi.org/10.1061/ASCEEE.1943-7870.0000227>

Pregolato, M., Ford, A., Wilkinson, S., & Dawson, R. (2017). *The impact of flooding on road transport: A depth-disruption function*.

Rodríguez, M., Cuevas, M., Moreno, B., & Martínez, G. (2015). *EL CAMBIO DE PARADIGMA DE LA GESTIÓN DEL DRENAJE URBANO DESDE LA PERSPECTIVA DEL PLANEAMIENTO. UNA PROPUESTA METODOLÓGICA*. 20.

Rubinato, M., Nichols, A., Peng, Y., Zhang, J., Lashford, C., Cai, Y., Lin, P., & Tait, S. (2019).10. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2019.12.004>

Salazar, J. M., Ruiz-Gibert, M. A., Lomelí-Banda, & Mungaray-Moctezuma. (2020). 13. <https://doi.org/10.3390/w1202060>

Saraguro, G., Sánchez, C., & Solano, C. (2023). *Aplicación De SUDS Para El Control Del Riesgo De Inundaciones En Vías Urbanas*. 15.

Scholes, L., Revitt, M., & Ellis, B. (2008). *A systematic approach for the comparative assessment of stormwater pollutant removal potentials*. 12.

SONG, ANURITA, AAN, TEO, WONG, & KOPPULA. (2023). *PERFORMANCE OF BIOCHAR IN BIORETENTION SYSTEM FOR REMOVAL OF MIXED CONTAMINANT: A REVIEW*. 143.

YANG, X. (2020). *SISTEMAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE (SUDS)*. https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/44115/TFM_Yang_Xiaoqian_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y