BORRADOR

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA FORMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE

MINISTERIO DE VIVIENDA CIUDAD Y TERRITORIO
DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA FORMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE

BORRADOR

MINISTERIO DE VIVIENDA CIUDAD Y TERRITORIO

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN

Junio 30 de 2022

Contenido

1. INTRODUCCIÓN 4

1.1 ALCANCE DE LA GUÍA SUDS 5
1.2 OBJETIVO DE LA GUÍA SUDS 5

2. ANTECEDENTES 5

2.1 LINEAMIENTOS DE POLÍTICA DE CAMBIO CLIMÁTICO 6
2.2 REGLAMENTO TÉCNICO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO – RAS 8
2.3 NORMATIVA Y REGULACIÓN INTERNACIONAL: 9
2.4 EXPERIENCIAS NACIONALES 13

PARA EFECTOS DE ESTE CAPÍTULO, SE ENTIENDE POR EXPERIENCIAS NACIONALES TANTO LA INFRAESTRUCTURA QUE SE HAYA CONSTRUIDO DE SUDS COMO AQUELLAS INCIIATIVAS 13

3. SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE - SUDS 16

3.1 DEFINICIÓN 16
3.2 OBJETIVOS DE LOS SUDS 17
3.3 SUDS Y LA PLANIFICACIÓN URBANA 18
3.4 CLASIFICACIÓN DE SUDS 21
3.4.1 SEGÚN EL OBJETIVO 21
3.4.1.1 REGULACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA 21
3.4.1.2 MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE AGUA. 22
3.4.1.3 REÚSO DE AGUAS LLUVIAS 22
3.4.1.4 APROVECHAMIENTO PARA ACTIVIDADES RECREATIVAS O DE CONFORT 22
3.4.1.5 PRESERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD 22
3.4.2 SEGÚN EL MECANISMO DE FUNCIONAMIENTO DE SUDS 22
3.4.2.1 DETENCIÓN 23
3.4.2.2 INFILTRACIÓN 23
3.4.3 SEGÚN ESCALA DEL PROYECTO DE SUDS 23
3.4.3.1 ESCALA DE VIVIENDA O EDIFICIO 24
3.4.3.2 ESCALA DE BARRIO O URBANIZACIÓN 24
3.4.3.3 ESCALA DE CIUDAD 25
3.5 TIPOLOGÍA DE SUDS 25
3.5.1 JARDÍN MICROCUENCA 25
3.5.2 JARDÍN DE LLUVIA 26
3.5.3 POZO DE INFILTRACIÓN 27
3.5.4 ZANJA-BORDO 28
3.5.5 SEPARADORES CON ZANJAS FILTRANTES O CANALES VEGETADOS 28
3.5.6 CUENCA SECA DE DRENAJE EXTENDIDO 29
3.5.7 DRENAJE FRANCÉS 29
3.5.8 HUMEDALES 30

BORRADOR

3.5.9 Estanques de detención multifuncionales 31
3.5.10 Pavimentos Permeables 31
3.5.11 Cisternas 32
3.5.12 Techos Verdes 33
3.5.13 Fachadas o muros verdes 34
3.5.14 Alcorques inundables 34
3.6 Ventajas y desventajas de las tipologías SUDS 36
3.7 Aspectos a tener en cuenta en el diseño de SUDS 37
3.8 Diseño Hidráulico 38
3.9 Estructuras complementarias o anexas a los SUDS 39
3.10 Limitaciones para la implementación de SUDS 40
3.11 Aspectos a tener en cuenta en la construcción de SUDS 40
3.12 Actividades de construcción, operación y mantenimiento de SUDS 41

4. IDENTIFICACIÓN DE ACTORES INVOLUCRADOS 44

5. COSTO BENEFICIO Y POSIBLES FUENTES DE FINANCIACIÓN DE SUDS 47

5.1 Análisis de Costo - Beneficio 48
***Análisis de beneficios*: 49**
5.2 Posibles fuentes de financiación 51
5.2.1 Sistema General de Participaciones (SGP) – Departamento Municipio 51
5.2.2 Tarifas prestador del servicio público de alcantarillado (considerando el manejo de aguas lluvias como parte el servicio público de alcantarillado) 52
5.2.3 Planes Departamentales de Agua – PDA 52
5.2.4 Sistema General de Regalías 53
5.2.5 Créditos tasa compensada 53
5.2.6 Cooperación internacional con la Banca Multilateral 54
5.2.7 Presupuesto General de la Nación (PGN) 55
5.2.8 Obras por Impuestos 56
5.2.9 Transferencia del sector eléctrico a los municipios[6] 56
5.2.10 Asociaciones Público Privadas[7] 57
5.2.11 Emisión de Bonos Verdes para una ESP 57
5.2.12 Corporaciones Autónomas Regionales[12] 58
5.2.13 Impuesto Predial[13] 58

6 ACERCAMIENTO A PRESTADORES Y MUNICIPIOS – PERCEPCIÓN DE IMPLEMENTACIÓN DE SUDS 59

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 61

REFERENCIAS 62

BORRADOR

1. INTRODUCCIÓN

La variabilidad estacional del territorio colombiano está directamente relacionada con los regímenes hidrológicos presentes en las diferentes regiones del país. En regiones como la Orinoquia, Amazonia y Caribe, caracterizadas por zonas de baja altura, se presenta una temporada lluviosa seguida de una seca conocida como régimen unimodal, mientras que, en la región Andina o montañosa el régimen hidrológico es bimodal, caracterizado por dos temporadas de lluvias y dos secas, intercaladas.

La expansión de las zonas urbanas trae consigo un aumento de los volúmenes de agua de escorrentía superficial especialmente en las temporadas de alta precipitación que, dependiendo de su intensidad y duración, impactan directamente las redes de alcantarillado combinado y pluvial, situación que puede generar afectaciones si no se cuenta con una amortiguación de aguas lluvias en el espacio público teniendo en cuenta los posibles escenarios de ocurrencia de eventos extremos.

Por lo anterior, los instrumentos de ordenamiento territorial deben tener en cuenta todos los factores de riesgo asociados a la ocupación de un territorio. Quienes tienen a cargo los procesos de planificación urbana deben revisar y, de ser el caso, replantear las medidas de respuesta y adaptación al crecimiento de la urbanización que, debido al endurecimiento del terreno, ocasionan un cambio de la dinámica del agua superficial al modificar la permeabilidad e infiltración, produciendo a su vez inundaciones cuando ocurren eventos hidrometereológicos severos.

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) representan soluciones cuyo principio es reproducir de la manera más fiel posible, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o actuación humana. Proporcionan beneficios relacionados con la provisión de servicios ecosistémicos traducidos a beneficios al ser humano y que provienen de los recursos naturales, cuya clasificación puede hacerse en 4 grupos como son los servicios: provisión, regulación, culturales y de soporte.

Dependiendo del tipo de beneficios, así mismo se definen los objetivos del manejo alternativo que se dé a través de los SUDS para las aguas lluvias. Entre ellos se encuentran: i) regulación de cantidad de agua ii) mejoramiento de la calidad de agua, iii) aprovechamiento para actividades recreativas o de confort, iv) preservación de la biodiversidad o el v) reúso de aguas lluvias. En cuanto a la regulación de la cantidad de agua se busca amortiguar los picos del hidrograma de aguas lluvias sin generar problemas de inundación, minimizando los impactos del sistema urbanístico en cuanto a la cantidad y calidad de la escorrentía y potencializando el valor ambiental del recurso hídrico de manera sostenible sumado a los grandes esfuerzos que se vienen adelantando desde el sector de Agua y Saneamiento (EAAB, 2018).

En este sentido, esta Guía metodológica para la formulación y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible – Guía SUDS – en su primera versión, a partir de la identificación de las tipologías de SUDS, identifica las actividades de construcción y mantenimiento de estos sistemas y propone una distribución de responsabilidades por sector.

BORRADOR

1.1 Alcance de la Guía SUDS

Este documento no constituye un manual de diseño debido a que ya existe un desarrollo amplio en ese sentido por parte de la academia, empresas de servicios públicos y consultorías específicas en el tema, lo cual se puede consultar en la bibliografía. No obstante, esta Guía utiliza como base aquellos avances que se han dado a nivel internacional y en el país en la implementación de SUDS para el manejo de aguas lluvias, bien sea a nivel de normas técnicas internas expedidas por las empresas de servicios públicos o acogiendo aquellos estudios y documentos técnicos de los que se tenga conocimiento. Con esta información, se caracterizan las tipologías de SUDS y sus posibles objetivos, haciendo énfasis en el objetivo de regulación de cantidad de agua de escorrentía e identificando los SUDS como medida de adaptación al cambio climático y gestión del riesgo de desastres, específicamente, reducción de riesgo de inundaciones.

A partir de una identificación de actores involucrados y las principales actividades tanto en la planificación como construcción y mantenimiento de estos sistemas, se propone una distribución de responsabilidades entre dichos actores, lo cual constituye un punto de partida para el análisis posterior y la revisión de los potenciales incentivos que impulsen la implementación de SUDS como estrategia de gestión sostenible de las aguas lluvias.

Derivado de este trabajo, a nivel local se continuará realizando acercamientos con empresas de servicios públicos y entes territoriales para evaluar el desarrollo de este tipo de soluciones considerando las particularidades de las regiones colombianas.

1.2 Objetivo de la Guía SUDS

Establecer las bases para la asignación de responsabilidades en las etapas de planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible – SUDS en los municipios y distritos del país, de tal manera que contribuya en la identificación de las posibles mejoras normativas o estrategias para articulación de instrumentos de política relacionados con la implementación de SUDS como medida de adaptación al cambio climático y gestión del riesgo de desastres por inundaciones.

2. ANTECEDENTES

Como punto de partida para la reglamentación de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, se encuentran los Artículos 79 y 80 de la Constitución Política, que tratan temas relacionados con la protección del medio ambiente, sin embargo, solo hasta la expedición del Plan Nacional de Desarrollo 2010 – 2014, específicamente en el *objetivo 5. Impulsar la planificación, actuación coherente y articulada de los sectores de vivienda, agua potable y saneamiento básic*o, bajo el concepto de “Ciudades Amables y Sostenibles para la Equidad”, se establece la responsabilidad de los centros urbanos relacionada con la gestión integral el recurso hídrico en sus territorios. Posteriormente, en el Plan de Desarrollo 2018-2022 Pacto por Colombia, pacto por la equidad, se aborda el tema el tema dentro de las líneas de acción establecidas en el *objetivo 1. Avanzar hacia la transición de actividades productivas comprometidas con la sostenibilidad y la mitigación del cambio climático dentro del componente de Provisión de edificaciones e infraestructura sostenible*.

BORRADOR

Dentro de los antecedentes normativos relacionados con el tema se encuentran las acciones y estrategias enfocadas a garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, articuladas al ordenamiento y al uso del territorio, establecidas en la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH). En ese mismo sentido, a través del CONPES 3934 Política de Crecimiento Verde se estableció la hoja de ruta para el crecimiento sostenible del país a largo plazo mediante acciones de diferentes sectores involucrados con la gestión de los recursos naturales de manera que sean más eficientes y productivos, y se reduzcan y minimicen los impactos ambientales y sociales generados por el desarrollo de las actividades productivas.

Seguidamente, fue aprobado el CONPES 4004 de 2020 “Economía circular en la gestión de los servicios de agua potable y manejo de aguas residuales”, el cual tiene como objetivos mejorar las capacidades institucionales y de gobernanza, implementar un modelo de economía circular y desarrollar mecanismos de gestión de la información en la prestación de los servicios de agua potable y manejo de aguas residuales. En la estructuración de este CONPES se identificó una serie de factores que influyen en la persistencia de interrogantes en relación con el avance en la implementación de SUDS en Colombia. Dichos factores están asociados a la gobernanza del recurso hídrico y a la poca articulación entre los actores encargados de la administración de los servicios de agua y saneamiento. Otro factor identificado, está asociado a las deficiencias en los procesos de planeación de política pública y de ordenamiento territorial, teniendo en cuenta que existen instrumentos que apuntan a diversos objetivos que pueden estar asociados al manejo de las aguas lluvias y a lo que implica la implementación de sistemas como los SUDS, y que carecen de una articulación clara entre ellos.

Como parte del Plan de Acción y Seguimiento – PAS del documento CONPES 4004 de 2020 se incluyó la Acción 2.9. “*Publicar guía metodológica para la formulación e implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), con el fin de fortalecer los procesos de manejo de aguas a nivel municipal.*”, compromiso compartido con el Departamento Nacional de Planeación, da lugar a la estructuración del presente documento.

2.1 Lineamientos de política de Cambio Climático

Teniendo en cuenta que los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible son una opción válida para la gestión de las aguas de escorrentía, la cual, a su vez, hace parte de las medidas de adaptación al cambio climático, es importante tener presente el marco normativo en Colombia, o directrices internacionales adoptadas en el país, con relación al particular, expuesto a continuación.

En 1994 el Congreso de la República expidió la Ley 164 “Por medio de la cual se aprueba la "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático". Posteriormente, el 11 de diciembre de 1997 se firma el Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", y en Colombia se aprueba el mismo mediante la Ley 629 de 2000.

En el año 2010, se establece la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono. A partir de esto, y en el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014, adoptado por la Ley 1450 de 2011, se establece el compromiso de definir estrategias a largo plazo para enfrentar el cambio climático e impulsar un desarrollo bajo en carbono.

BORRADOR

De esta manera surge el Plan Nacional de Adaptación al cambio climático PNACC, el cual busca reducir la vulnerabilidad del país e incrementar su capacidad de respuesta frente a las amenazas e impactos del cambio climático.

Adicional a lo anterior, el "Acuerdo de París" es adoptado el 12 de diciembre de 2015, es éste se estableció que: "*Para que Colombia pueda alcanzar sus objetivos de desarrollo, paz, equidad y educación, y para que logre sostenerlos en el largo plazo resulta indispensable identificar y aprovechar, en los diferentes sectores de la economía nacional, oportunidades de aumento en la competitividad, productividad y eficiencia, que a su vez reduzcan las emisiones de Gases Efecto Invernadero – GEI. Al mismo tiempo es indispensable que el país continúe adaptándose y que los gobiernos locales generen cambios en las pautas y dinámicas de ocupación territorial, incluyendo consideraciones de variabilidad y cambio climático en sus procesos de planificación del desarrollo, de manera tal que se garantice un futuro más resiliente y bajo en emisiones para todo el territorio nacional*"

Bajo ese contexto internacional, el Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio expidió el Decreto 1285 de 2015, el cual adiciona el Título 7 sobre Urbanización y Construcción Sostenible al Decreto 1077 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio. Este instrumento tiene como objeto establecer lineamientos de construcción sostenible para edificaciones, encaminados al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes y al ejercicio de actuaciones con responsabilidad ambiental y social.

Derivado de este Decreto, el MVCT expide la Resolución 549 de 2015, mediante la cual se reglamenta los parámetros y lineamientos de construcción sostenible y se adopta la Guía para el ahorro de agua y energía en las edificaciones. En este documento, se aborda la recolección de aguas lluvias y reutilización, como una de las medidas para reducir el requerimiento de agua potable y disminuir el volumen de escorrentía que finalmente llega a las vías y a la infraestructura de alcantarillado pluvial. De manera específica hacen referencia a la captación de aguas lluvias en techos, la cual se puede emplear en actividades diferentes al consumo humano.

Posteriormente, la Ley 1753 de 2015 por medio de la cual se adopta el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018, define acciones intersectoriales hacia la Política de Crecimiento Verde y formulación por parte de los Ministerios de Planes sectoriales de mitigación GEI y de adaptación al cambio climático.

El Decreto 298 de 2016 establece la organización y funcionamiento del Sistema Nacional de Cambio Climático – SISCLIMA – como el conjunto de entidades estatales, privadas y sin ánimo lucro, de políticas, normas, procesos, recursos, planes, estrategias, instrumentos, mecanismos, así como la información concerniente al cambio climático, que se aplica de manera organizada para gestionar la mitigación de gases efecto invernadero y la adaptación al cambio climático en el país.

A pesar de que el Acuerdo de París fue adoptado en el año 2015, en Colombia se aprueba mediante la Ley 1844 de 2017.

La Ley 1931 de julio 27 de 2018 – Ley de cambio climático, define las directrices para las acciones que se deben adelantar por parte de la Nación, Departamentos, Municipios, Distritos, Áreas Metropolitanas y Autoridades Ambientales en relación al cambio climático.

A través de la Ley 1955 de 2019, Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022. Establece un Pacto por la Sostenibilidad, cuyas metas incluyen: la reducción de 36 Millones de toneladas de Gases de Efecto Invernadero entre 2018 y 2022, frenar la deforestación, duplicar el

BORRADOR

número de hectáreas con sistemas productivos sostenibles e implementar acciones de adaptación en todos los Departamentos del país

Mediante la Resolución 0431 de 31 de agosto de 2020 se adopta el Plan Integral de Gestión de Cambio Climático Sectorial- PIGCCS del sector Vivienda, Ciudad y Territorio. Las líneas estratégicas y metas en dicho documento están divididas para dos subsectores: i) vivienda y ii) agua y saneamiento básico. Para el subsector vivienda se definieron cinco líneas estratégicas; i) Desarrollo territorial resiliente al clima, ii) asentamientos humanos menos vulnerables, iii) recuperación de áreas liberadas, iv) viviendas resilientes y v) fortalecimiento institucional. Por otra parte, para el sector agua y saneamiento básico las líneas estratégicas son cuatro: i) gestión del riesgo para la adaptación, ii) gestión en cuencas abastecedoras, iii) tratamiento de aguas residuales domésticas y iv) reúso de agua residual doméstica tratada.

En el contexto del plan, tanto para el subsector vivienda como para el sector agua y saneamiento, las medidas de adaptación al cambio climático están principalmente asociadas a la gestión del riesgo de desastres y su incorporación en los instrumentos de ordenamiento territorial. De manera particular para el sector agua y saneamiento, se considera el desarrollo de una estrategia que permita incentivar la implementación de SUDS con el fin de mejorar la gestión del agua lluvia. Por otra parte, para el sector vivienda, a nivel de edificaciones y con relación a la línea de viviendas resilientes, las metas establecidas están enfocadas a la construcción de viviendas que incorporen medidas de adaptación.

Por otra parte, La Ley 2169 de 22 de diciembre de 2021 tiene como objeto impulsar el desarrollo bajo en carbono del país, mediante el establecimiento de metas y medidas mínimas en materia de carbono neutralidad y resiliencia climática a corto, mediano y largo plazo, en el marco de los compromisos internacionales asumidos por Colombia.

Dentro de las metas en materia de medidas de adaptación a 2030, para el sector Vivienda, Ciudad y Territorio se incluyen, entre otras:

> *(…) 1. Incorporar a 2030 la adaptación al cambio climático en los instrumentos territoriales, a través del desarrollo de lineamientos, herramientas y criterios que orienten la gestión de la adaptación en el sector.*
>
> *3. Desarrollar a 2030 acciones estructurales y no estructurales de gestión del riesgo para la adaptación al cambio climático en el treinta por ciento (30%) de los municipios priorizados por susceptibilidad al desabastecimiento por temporada seca y temporada de lluvias. (…)*

A su vez, para el sector Transporte, entre las metas que están relacionadas con las del sector Vivienda, Ciudad y Territorio, en materia de gestión de aguas lluvias como medida de adaptación al cambio climático se encuentran:

> *(…) 3. Formular a 2025 la Política para la Gestión de Riesgo de Desastres (GRO) y la Adaptación al Cambio Climático (ACC).*
>
> *5. Implementar a 2025 un (1) proyecto piloto para la aplicabilidad de los lineamientos de infraestructura verde vial. (...)*

2.2 Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS

Desde la Ley 142 de 1994 se estableció el régimen de los Servicios Públicos Domiciliarios, estableciendo las primeras directrices de manejo y recolección municipal de residuos, principalmente líquidos, por medio de tuberías y conductos, como se indica en el artículo

BORRADOR

14.23 en lo relacionado al Servicio Público Domiciliario de Alcantarillado. También se contempla mediante el Decreto 302 de 2000, el cual reglamenta la Ley 142 de 1994, en lo que concierne a la regulación de la prestación de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado.

Adicionalmente, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio expidió la Resolución 330 de 2017 "por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009". Esta resolución fue modificada por la Resolución 0799 de 2021 y la Resolución 0548 de 2022. En ese contexto se definió a los SUDS como:

"(…) ***Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS). Son*** *el conjunto de soluciones que se adoptan en un sistema de drenaje urbano con el objeto de retener el mayor tiempo posible las aguas lluvias en su punto de origen sin generar problemas de inundación, minimizando los impactos del sistema urbanístico en cuanto a la cantidad y calidad de la escorrentía y evitando así sobredimensionamientos o ampliaciones innecesarias en el sistema. La filosofía de los SUDS es reproducir, de la manera más fiel posible, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o actuación humana.*

Así mismo, el artículo 44 de la Resolución 0799 de 2021, modificó el artículo 153 de la Resolución 330 de 2017 estableciendo lo siguiente:

> *"(…) Para nuevos desarrollos urbanos, donde se modifique la cobertura del suelo, se deben generar estrategias con el fin de mitigar el efecto de la impermeabilización de las áreas en el aumento de los caudales de escorrentía.*
>
> *Para esto, se debe evaluar la viabilidad de implementar Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible – SUDS. Se deberá tener en cuenta las condiciones de la zona en la que se va a construir, las áreas tributarias de los SUDS a diseñar y el sistema que se proyecte para la recolección, evacuación y disposición de las aguas lluvias.*
>
> *Para definir la viabilidad de los SUDS, es necesario analizar las diferentes tipologías susceptibles de implementación. La selección de tipologías de SUDS y la conformación de trenes de tratamiento implica el análisis del lugar de implementación, con el fin de establecer las áreas potenciales seleccionadas con base en los objetivos identificados en el alcance propuesto, así como las limitaciones físicas para la implementación de las tipologías (…)"*

En correspondencia con lo anterior, dentro de los manuales de buenas prácticas, específicamente en el Título D Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias del RAS, se retoma lo establecido en la Resolución 0799 de 2021 que modificó parcialmente la Resolución 330 de 2017 con relación a SUDS.

2.3 Normativa y regulación internacional:

En algunos países se han desarrollado esquemas regulatorios relacionados con los SUDS, principalmente respecto a las técnicas de implementación en sus etapas de diseño, construcción operación y mantenimientos, sin embargo, son escasos los países que han construido normas regulatorias donde se indique la responsabilidad de su diseño, construcción, mantenimiento y financiación.

BORRADOR

Así las cosas, los SUDS se han establecido firmemente en países como Suecia, EE. UU., Nueva Zelanda, Australia y el Reino Unido (SUDS-Principles-Drivers, Hennelly 2005). En este último, la política de planeación nacional proporciona orientaciones a las autoridades locales sobre qué se puede construir y dónde, así como lo que debe incluirse en las políticas locales. Lo anterior, combinado con políticas estratégicas de SUDS trae grandes beneficios a nivel local. Así mismo, el Marco de Política de Planificación Nacional (por sus siglas en inglés NPPF), establece que se debe dar prioridad al drenaje sostenible y analiza el impacto de los nuevos desarrollos en el riesgo de inundaciones. El NPPF mantiene una política sólida para evitar el riesgo de inundaciones, basada en las autoridades de planificación locales que preparan planes locales y deciden las aplicaciones de planificación y otorgan permisos de planificación (www.susdrain.org). También se indica que, las autoridades de planificación local deben asegurar que los estándares mínimos de operación propuestos sean apropiados, para que se diseñe un sistema de drenaje sostenible de una manera económicamente proporcionada y que garantice los requisitos de operación y mantenimiento (Sustainable drainage systems Statement 2014[1]).

Al respecto, prestadores del servicio de acueducto como “Anglian Water” que atiende a casi 7 millones de personas en el este de Inglaterra, establece en su guía SUDS que las responsabilidades dependen de la ubicación de la solución construida. Si el SUDS se ubica en propiedad privada (por ejemplo, techos verdes, salidas de agua o entradas de tubos permeables) es responsabilidad del propietario del terreno o de la propiedad, pero si se ubica en sitios que no se constituyen como espacio abierto (por ejemplo, pavimentos permeables, áreas de bio-retención o cunetas colectoras) la responsabilidad depende del tipo de desarrollo y el dueño de la propiedad. En el caso en que estos se ubiquen en áreas de espacio abierto (por ejemplo, cuencas, estanques, humedales con canales de enlace u otras estructuras de control) se vincula a las responsabilidades de cuidado de los espacios abiertos del municipio (Anglian water suds-leaflet, 2009).

En Nueva Zelanda, los mecanismos de gestión de aguas pluviales se han utilizado para apoyar el desarrollo de la tierra y lograr los requisitos de consentimiento de recursos desde principios de la década de 1990. El Consejo Regional de Auckland proporciona orientación sobre la selección, diseño, operación y mantenimiento de dichos sistemas. Al igual que en el Reino Unido, las responsabilidades de propiedad y mantenimiento de dichos sistemas no han sido claramente exigidas y las Autoridades Locales individuales generalmente determinan las reglas y responsabilidades relevantes distrito por distrito. El mantenimiento de estos sistemas sigue siendo responsabilidad de los propietarios privados y aunque puede hacerse cumplir a través de un marco regulatorio, la eficacia de su cumplimiento se ha visto limitada por los requisitos de recursos técnicos y financieros (UNDERSTANDING THE OPERATIONAL COST OF SUSTAINABLE DRAINAGE SYSTEMS, Arthur, 2019 - TheCostofSuDS-v1.0[2])

No obstante, a nivel de normativa relacionada con SUDS en el contexto internacional, se tienen las siguientes:

Las primeras normas internacionales para mejorar la calidad de agua y crear estrategias de su manejo surge en Estados Unidos por la EPA (Agencia de Protección Ambiental de los

[1] https://questions-statements.parliament.uk/written-statements/detail/2014-12-18/HCWS161
[2] https://metisconsultants.co.nz/case-studies/the-cost-of-suds/

BORRADOR

Estados Unidos) en el año 1948 con la ley de agua limpia que fue reorganizada por la ley federal de control de la contaminación del agua en el año 1972..

Actualmente algunos de los países más avanzados del mundo vienen reconociendo los múltiples beneficios de afrontar la gestión del agua lluvia convencional hacia un desarrollo sostenible como lo es el Reino Unido, algunas ciudades chinas como Wuhan que han adoptado recientemente las estrategias denominadas “ciudad esponja” y países de América del Sur como Chile. A continuación, se hace una descripción general, a manera de ejemplo, de casos en el Reino Unido, China y Chile en donde se implementan iniciativas orientadas a la gestión sostenible de las aguas de escorrentía a través de los SUDS.

Reino Unido

En Londres, a principios del siglo XX se presentaron grandes inundaciones producto de lluvias torrenciales. A partir de esto, la planeación a nivel local se empezó a apropiar del tema y en 2010 se logró promulgar la Ley de Gestión de inundaciones y Aguas (Defra, 2012) que conllevó al desarrollo de soluciones para evitar las inundaciones, así como el registro de sus efectos. De esta manera, se inicia una etapa de implementación de SUDS para replicar los procesos de drenaje natural en la mitigación de las inundaciones, además de obtener otros beneficios ambientales como mejoramiento de la calidad de agua, aumento de espacios verdes e incluso el desarrollo de áreas marginadas de las ciudades.

Sin embargo, también enfrentaron múltiples barreras enfocadas en factores institucionales y económicos (Ashley, Blanksby, Cashman et al., 2007). A partir de la práctica, se identificó que al incluir en la etapa de planeación de los proyectos la exposición de los beneficios en la adopción de SUDS, se lograba más fácilmente la aceptación de la comunidad. De otra parte, se determinó que existe una falta de incentivos para promover la participación de inversionistas privados, los cuales se pueden ver reflejados en subsidios, apoyo en gastos de mantenimiento y reducción de tarifas.

Para el caso de Londres, si bien se ha contado con el apoyo del gobierno, la industria y los investigadores, la puesta en marcha de SUDS no ha alcanzado todo su potencial. Una de las dificultades encontradas se relaciona con marcos institucionales y regulación desactualizados que dificultan su desarrollo. Adicionalmente, los prestadores de los servicios de acueducto y alcantarillado no han tenido una participación notable en la implementación de proyectos (Agencia de Medio Ambiente, 2013a, Comisión del Túnel del Támesis, 2011).

El Plan de Acción de Drenaje Sostenible de Londres formulado en 2016, busca promover la concientización y adopción de sistemas de drenaje sostenible en la ciudad. El plan se centra principalmente en la adaptación del drenaje sostenible a los edificios, terrenos e infraestructuras existentes. Con el fin de disminuir costos, se buscaron oportunidades para adaptar el drenaje sostenible como parte de obras de mantenimiento, reparación o mejora (Alcaldía de Londres, 2016).

Para complementar el Plan de Acción, en 2019 se implementaron proformas de drenaje sostenible lideradas por las autoridades locales para acompañar las solicitudes de proyectos y los requisitos de validación. La proforma pretende proporcionar la información clave, evitando retrasos en la aprobación.

De otra parte, una investigación publicada en 2017 que fue realizado por la Universidad de Queensland en Australia y la Universidad de Londres, realizó un análisis económico de los beneficios para facilitar la adopción de SUDS en Londres (Moreno, Smith & Mijic, 2017). Se utilizó un estudio de caso en la cuenca de captación del Decoy Brook, al norte de Londres, cuya metodología se dividió en tres pasos a) Mapeo de los SUDS aplicando un enfoque

BORRADOR

participativo de las partes interesadas, b) Evaluación económica de la reducción de inundaciones y de los beneficios, y c) Desarrollo de un esquema de financiamiento.

Como conclusiones se pueden destacar, que al incluir beneficios más amplios en la viabilidad de la implementación de SUDS, puede mejorar las cifras; también el efecto positivo en la reducción del riesgo de inundaciones, la recolección de agua de lluvia, la reducción de los cargos por aguas superficiales, además con un menor impacto en la calidad del aire, la biodiversidad y la ecología y el tratamiento de las aguas residuales; adicionalmente, mostró que dividir los costos entre las diferentes partes interesadas en proporción a los beneficios recibidos, permite la obtención de recursos de múltiples fondos y su promoción; finalmente que existen oportunidades para establecer asociaciones público-privadas con la empresa de agua local, para cerrar la brecha entre los requisitos de gestión de inundaciones y el presupuesto disponible.

China

China propuso el concepto de ciudad esponja como solución de alternativa para una mejor gestión del agua urbana debido a las inundaciones causadas en las temporadas de lluvias intensas se tomó un registró en el 2016 entre junio y julio en donde 32 millones de personas se vieron afectadas por las inundaciones.

El término “ciudades esponja” se propuso por primera vez a principios de la década de 2000, se refiere a un enfoque de gestión sostenible del agua y se basa en el principio de “seis palabras”; infiltrar, detener, almacenar, limpiar, usar y drenar, sin embargo, fue en 2013 cuando se adoptó ampliamente con referencia a un enfoque integrado de la gestión del agua urbana en China y, en 2014 se publica una guía técnica . El Ministerio de Vivienda y Desarrollo Rural-Urbano (MHURD), el Ministerio de Finanzas (MOF) y el Ministerio de Recursos Hídricos (MWR), quienes crearon el proyecto nacional Sponge City Construction, aplican en gran medida un enfoque *top-down* para la implementación de ciudades esponja (Water Cycle Modelling and Management,2017)

China realizó proyectos piloto en 30 ciudades, la mayoría ubicadas en el centro y sur de China. Entre las ciudades piloto están incluidas Beijing y Shanghai, estas fueron designadas ciudades esponja en dos períodos de selección en 2014 y 2016 (Environmental Science & Policy,2018).

Siguiendo el desarrollo de las pautas y el deseo del gobierno de implementar una infraestructura urbana sostenible de gestión de inundaciones, el objetivo es que el 20% de las ciudades chinas utilicen técnicas modernas de drenaje, integrando infraestructura verde, para 2020, y el 80% para 2030 (Science of The Total Environment,2019)

Chile

Desde 1994 a causa de fuertes inundaciones para Chile se implementaron normas de diseños en las obras para los sistemas de drenaje urbanos, desde allí se ha hecho un avance gradual con los institutos ambientales y leyes que incluyen las medidas estructurales y no estructurales propuestas dentro de las prácticas SUDS.

Algunas de las medidas estructurales SUDS fueron recogidas y publicadas, por primera vez, por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), en 1996, en una guía de diseño titulada Técnicas alternativas para soluciones de aguas lluvias en sectores urbanos, esta guía contenía aspectos generales del diseño de obras de infiltración y almacenamiento de aguas lluvias, presentación de proyectos, así como especificaciones generales de construcción y de mantenimiento, en el año 1997, donde se promulgó la Ley 19525 que

BORRADOR

regula los sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvia, donde se establece como deber del estado, la existencia de sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias en las ciudades y poblados. Esta ley ayudó a solucionar diversas equivocaciones institucionales y técnicas, en cuanto la responsabilidad de los organismos públicos y privados en cuestión de drenaje urbano.

Dentro de las mejoras técnicas que se proponen dentro de la ley, esta : vigilar la construcción de colectores de aguas lluvias separados de los de aguas servidas; separar la red de evacuación y drenaje de aguas lluvias en una red primaria y secundaria dependiente de entes públicos independientes; y establecer la responsabilidad privada donde los urbanizadores deben ejecutar a su costa, las obras de desagüe de aguas lluvias, encauzando así el interés estatal para cumplir estos objetivos propuestos en la ley.

2.4 Experiencias Nacionales

Para efectos de este capítulo, se entiende por experiencias nacionales tanto la infraestructura que se haya construido de SUDS como aquellas inciiativas

Dentro de las experiencias que se han desarrollado en Colombia, de tipo metodológico, se destaca la “Guía para la Integración de las Soluciones Basadas en la Naturaleza en la Planificación Urbana, elaborada por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (Figueroa Arango; 2020). En ella, se presenta de forma específica los pasos necesarios para apoyar la planificación, el diseño, el monitoreo y la financiación de las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN), con herramientas, enfoques, análisis de casos y estudios que soportan su concepción, viabilidad e implementación en las zonas urbanas del país.

En varias ciudades del país se ha implementado algún tipo estructural o no estructural de SUDS, siendo Bogotá y Medellín con el Valle de Aburrá donde se han presentado mayores avances sobre las técnicas utilizadas en la construcción de este tipo de soluciones.

Bogotá:

En los últimos años se ha trabajado en la ejecución de proyectos de drenaje sostenible desde la Subdirección para la Reducción del Riesgo y Adaptación al Cambio Climático del Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático - IDIGER en el marco de la red de conocimiento y fortalecimiento de la relación con la academia y sector público y privado. Las investigaciones adelantadas por el Distrito Capital durante más de 3 años para llevar a cabo una guía SUDS en Bogotá, llevaron a la expedición de la Norma Técnica de Servicio NS-166[3] de 2018 y el Decreto 597 de 2018 donde se indica que las actividades[4] para el desarrollo de este tipo de proyectos debe estar a cargo de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB). Dichas investigaciones se basaron en experiencias internacionales para concluir que la tarifa del servicio público de alcantarillado garantiza un fondo fijo y permanente para sostenibilidad de los SUDS que se construyan (Contextualización RED – SUDS; IDIGER 2021).

[3] Criterios para el diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible

[4] Diseño, construcción, operación y mantenimiento.

BORRADOR

Adicionalmente, el Decreto 555 de 2021 mediante el cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito Capital, en el Artículo 86 "Competencias relacionadas con elementos que conforman los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible – SUDS se establecen las competencias y se determina que en espacio público la responsabilidad estará a cargo de la entidad que construya estos sistemas.

Sin embargo, es pertinente adelantar con el Gobierno nacional las acciones que sean necesarias para reglamentar la materia y avanzar con la definición de responsabilidades tanto de financiación como de construcción de este tipo de sistemas, así como de políticas públicas para su implementación.

Medellín y Valle de Aburrá:

Desde el año 2006, en Medellín y en el Valle de Aburrá, la Secretaría del Medio Ambiente y Empresas Públicas de Medellín, propusieron unir esfuerzos para la Construcción del Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá – POMCA y la Formulación del Plan Maestro de Drenaje Urbano a través de la mesa de trabajo interinstitucional con lo cual, en el año 2013 se llegó a la firma de un convenio interadministrativo entre estas dos entidades que llevó a la contratación de la consultoría para la “Formulación de un plan maestro del drenaje urbano para los municipios del Valle de Aburrá y el diseño detallado de las obras en una zona piloto localizada en el municipio de Medellín”.

Sin embargo, al no obtener los resultados esperados a través de la mencionada consultoría, se define quedar a la espera de los lineamientos y política nacional referente al drenaje urbano, pero continuando con las mesas de trabajo entre las Secretarias de Infraestructura Física, Medio Ambiente, Movilidad y EPM para determinar acciones de mitigación de las inundaciones en los deprimidos viales mantenimientos preventivos y correctivos a las redes, sumideros y aliviaderos que contribuye el drenaje urbano.

Por ahora, de acuerdo con las directrices nacionales sobre el tema del drenaje urbano y el manejo de aguas lluvias en Colombia puede analizarse desde dos perspectivas normativas: como un componente del servicio público domiciliario de alcantarillado; y como un componente del espacio público urbano. Así mismo, se espera el liderazgo por parte del municipio para definir soporte jurídico, institucional y económico debido a que es una problemática que involucra muchas instituciones (EPM, 2021).

Diseño conceptual de SUDS para Valledupar:

Estudios como el análisis conceptual que se llevó a cabo para Valledupar, proponen instrumentos de uso del suelo en el marco de la implementación y operación de SUDS. También se identifica y describe la necesidad de manejar las aguas pluviales desde un enfoque diferente al convencional, combinando tanto aspectos ambientales como sociales con sistemas de drenaje sostenible, mejores prácticas de manejo y control, buenas prácticas ambientales, modelos de desarrollo de bajo impacto y diseño urbano sensible al agua, involucrando las diferentes tipologías que puedan ser empleadas en Valledupar, como alcorques inundables, cuenca seca de drenaje extendida y tanques de almacenamiento y su respectiva propuesta de localización para su construcción y esquema de financiación (USAID 2017).

Guapi y San Andrés de Tumaco:

BORRADOR

En un trabajo de consultoría efectuado por parte del Consorcio CONHYDRA e ITAC bajo la supervisión del Banco Mundial, se propuso implementar un piloto para “La Gestión Integral de Aguas Urbanas con énfasis en los Sistemas Urbanos de Drenaje en los Municipios de Guapi y San Andrés de Tumaco”. En este estudio se entregaron los análisis de prefactibilidad para la implementación del piloto y el desarrollo de las bases para formular la planeación, definición, viabilización, desarrollo de planes y/o programas integrales de gestión de SUDS en estos municipios.

El resultado para estos municipios permitió identificar que las alternativas de SUDS propuestas enmarcadas en las tipologías para la retención, conducción e infiltración, son hasta 6 veces más económicas que las alternativas convencionales, evidenciando para el caso de San Andrés de Tumaco, la pertinencia de implementar un SUDS en lugar de un sistema convencional mediante alcantarillado pluvial. Igualmente se identificó que cualquier alternativa de SUDS propuesta es más económica que la alternativa de solución convencional. Respecto a la financiación, por ejemplo, para San Andrés de Tumaco, según el presupuesto destinado para la atención y prevención de riesgos y desastres, cuenta con la asignación presupuestal para la construcción de SUDS propuestos como alternativa de drenaje urbano y para asumir la operación y mantenimiento, sin necesidad de recurrir a fuentes de financiación externas.

Finalmente se concluyó que las alternativas de SUDS formuladas son viables, por lo que se recomendó continuar con la fase de factibilidad y diseños finales para implementar las soluciones de SUDS planteadas en estos municipios. Se recomienda tener en cuenta los siguientes puntos para el desarrollo de los proyectos (CONHYDRA e ITAC, 2018):

- Recolección y validación de la información para el diagnóstico
- Identificación y confirmación de actores de forma abierta e incluyente.
- Actualización del POMCA y el POT

Iniciativa del Gobierno nacional:

Por su parte desde el Gobierno nacional, se estructuraron los procedimientos para la construcción de proyectos tipo con los lineamientos para la implementación de SUDS, incluyendo los requerimientos mínimos para el diseño de sistemas de captación y retención de agua para gestionar eficientemente la escorrentía superficial de lluvia. Esta alternativa de solución está diseñada cumpliendo con las indicaciones dadas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio y la orientación de Deutshe Gesselshaft Für Internationale Zusarmmenarbeit (GIZ) GmbH para este tipo de intervenciones. Así mismo, se pretende aportar una alternativa de solución, agilizando las tareas de formulación y diseño, generando ahorros en costos y tiempo, mejorar los procesos de diseño, mediante la definición y desarrollo de los aspectos técnicos esenciales necesarios para la ejecución de este tipo de proyectos y guiar a las Entidades en las actividades de formulación y estructuración de proyectos para contribuir al fortalecimiento de los procesos de gestión de recursos públicos (50 Lineamientos para el diseño de SUDS, DNP 2018). Esta iniciativa se propuso en el año 2018 y actualmente se adelantan las gestiones desde el Gobierno nacional para su implementación, buscando avanzar de manera guiada en la formulación y estructuración del proyecto, a fin de lograr su financiación y ejecución.

BORRADOR

3. SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE - SUDS

3.1 Definición

La expansión urbana, es la mayor responsable de los cambios morfológicos sobre una cuenca hidrográfica por las alteraciones que esta realiza sobre el suelo, generando como mayor afectación la impermeabilización del mismo. Generalmente las aguas de escorrentías en las grandes urbes son canalizadas a través de sistemas de drenaje convencionales hasta cuerpos de agua receptores, no obstante, esta técnica puede tener efectos contrarios en términos de calidad y cantidad de los cuerpos de agua y limita los procesos de infiltración que deberían darse naturalmente, disminuyendo así la recarga de acuíferos.

Con la finalidad de mitigar estos impactos sobre el recurso hídrico y medio ambiente en general, es necesario que desde los grandes asentamientos urbanos se implementen estrategias para el manejo de escorrentías sostenibles, capaces de, además de disminuir los caudales picos de escorrentías por eventos extremos, aumentar la capacidad de infiltración favoreciendo el desarrollo de procesos hídricos naturales.

Como parte de dichas estrategias surgen los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), los cuales son reconocidos como sistemas para la gestión alternativa del agua de escorrentía superficial, que permiten, mediante estrategias e infraestructura complementaria, reproducir, de la manera más aproximada posible, el ciclo hidrológico natural, mitigando así los efectos negativos que, tanto las variaciones de factores climatológicos como los procesos de urbanización, tienen sobre las características morfológicas de la cuenca y sobre el comportamiento hidrológico.
Otros términos utilizados para referirse a formas de gestionar las aguas lluvias, como parte de las estrategias de adaptación al cambio climático, y que se encuentran orientadas a disminuir la escorrentía y mantener las condiciones hidrológicas previas a la urbanización, son (UNIANDES, EAAB, & SDA, 2017):

- Low Impact Develpment (LID), desarrollo de bajo impacto en español. Busca minimizar costos de manejo de la escorrentía
- Water-Sensitive Urban Design (WSUD), diseño urbano sensible al agua en español. Orientado a la integración de corredores y tratamiento de escorrentía con paisaje y recreación
- Integrated Urban Water Management (IUWM), manejo integrado del agua urbana. Orientado a la integración de los ciclos natural y urbano del agua superficial y urbana, considerando las condiciones del entorno, aspectos ambientales y socioeconómicos y culturales
- Stormwater Control Measures (SCM), medidas de control de aguas de escorrentía. Busca implementar medidas de control de la escorrentía
- Green Infrastucture (GI), infraestructura verde. Fomenta la construcción de corredores verdes para máximos beneficios en servicios ecosistémicos.

En línea con lo anterior, los SUDS, entendidos como una solución sostenible para la gestión de aguas lluvias en contextos urbanos, hace parte de las denominadas Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN). Las mismas pueden ser definidas como *"Acciones para proteger, gestionar de forma sostenible y restaurar ecosistemas naturales o modificados, que abordan los desafíos sociales de manera efectiva y adaptativa, proporcionando*

BORRADOR

simultáneamente bienestar humano y beneficios para la biodiversidad, con el cambio climático, la seguridad alimentaria, los riesgos de desastres, la seguridad hídrica, el desarrollo social y económico y la salud humana son los desafíos sociales comunes" (cohen-shacham et al. 2016)[5]*.* Es así como, las SBN aportan soluciones de gestión territorial y urbana frente a los grandes retos de las sociedades, entre ellos el cambio climático, la gestión del recurso hídrico, gestión del riesgo de desastres y la calidad del aire y el saneamiento básico, a través de soluciones medibles, replicables y escalables (CONAMA; 2018).

3.2 Objetivos de los SUDS

La decisión de implementar SUDS, está asociada a lo que se quiera hacer con las aguas lluvias de la ciudad o de un área específica. Ese manejo del agua de escorrentía superficial debe estar orientado a maximizar sus beneficios. Los beneficios puntualmente se relacionan con la provisión de servicios ecosistémicos traducidos a beneficios al ser humano y que provienen de los recursos naturales, cuya clasificación puede hacerse en 4 grupos como son los servicios: provisión, regulación, culturales y de soporte. Dependiendo del tipo de beneficios, así mismo se definen los objetivos del manejo alternativo que se dé a través de los SUDS para las aguas lluvias. Entre ellos se encuentran: i) regulación de cantidad de agua ii) mejoramiento de la calidad de agua, iii) aprovechamiento para actividades recreativas o de confort, iv) preservación de la biodiversidad o el v) reúso de aguas lluvias. (B Woods Ballard, S Wilson, H Udale-Clarke, S Illman, T Scott, R Ashley, R Kellagher, 2015)

Además del objetivo de regulación y minimización de inundaciones, existen una serie de beneficios generales sobre la vida y la cotidianidad de la población, donde la creación de espacios adecuados para la naturaleza, para la gente y la disminución de la contaminación, son factores clave para tener en cuenta la incorporación de los SUDS en el paisaje urbano y los sistemas de manejo de drenaje.

Los criterios y objetivos relevantes para SUDS se pueden establecer a través de los instrumentos de planificación y a través de la aplicación de lineamientos para el manejo de drenaje (B Woods Ballard, S Wilson, H Udale-Clarke, S Illman, T Scott, R Ashley, R Kellagher, 2015).

Es así como los SUDS pueden estar orientados a uno o varios objetivos. Esto determina el tipo de estructura o de medida que se debe diseñar, la cual funcionará de manera complementaria al sistema convencional mediante el cual se esté manejando el agua de escorrentía en el municipio.

En línea con el enfoque planteado en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático Sectorial PIGCCS y las metas establecidas en la Ley 2169 de 2021 en materia de medidas de adaptación a 2030 para el sector Vivienda, Ciudad y Territorio, en este documento el énfasis se hará en el objetivo de regulación de cantidad de agua, identificando los SUDS como medida de adaptación al cambio climático y gestión del riesgo de desastres, específicamente, reducción de riesgo de inundaciones.

[5] "Soluciones Basadas en la Naturaleza para Abordar los Desafíos Sociales Globales", publicado en el año 2016, bajo el respaldo de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y la Comisión Mundial de Áreas Protegidas (WCPA)

BORRADOR

3.3 SUDS y la planificación urbana

Debido a sus características, es indispensable tener en cuenta la s integración paisajística.

.

Más allá de identificar la biodiversidad dentro de las ciudades, se requiere construir enfoques que permitan la comprensión de la dinámicaentre la biodiversidad y la infraestructura en las zonas urbanas.

Dentro de los desafíos urbanos se encuentra el sector de agua, como eje de intervención, en la cual se recomienda la atención de problemas de seguridad hídrica, sedimentación e inundaciones, que pueden ser solucionados mediante SBN, por medio de gestión y desarrollo de áreas protegidas cerca de los centros urbanos con zonas de amortiguación gestionadas integralmente, la restauración y/o reforestación en cuencas urbanas, la gestión de parques con superficies permeables y drenajes sostenibles; y el aumento de las superficies de zonas permeables en la ciudad para reducir la escorrentía.(Figueroa-Arango, 2020)

Ilustración 1. Elementos de la Infraestructura verde que configuran las (SBN) urbanas y periurbanas



Fuente: (Figueroa Arango; 2020).

La Guía para la Integración de las Soluciones Basadas en la Naturaleza en la Planificación Urbana sugiere un orden lógico de ejecución de las (SBN) en 7 pasos, los cuales presentan

un interesante desarrollo a partir del conocimiento de las condiciones de urbanización, el ordenamiento territorial y el análisis de recursos:

Tabla 1. Pasos para la incorporación de SBN en la planificación urbana

Paso	Pregunta Orientadora	Aspecto	Objetivo	Recursos	Resultados esperados
1	¿Dónde están las áreas disponibles?	Identificación de la oferta y las oportunidades para la naturaleza en los espacios urbano y periurbano.	Identificar aquellas áreas con coberturas naturales que ya existían antes del desarrollo urbano o que fueron planeadas, diseñadas y/o surgieron espontáneamente a escala de barrio.	- Ordenamiento territorial, - Recopilación de información, - Cartografía y GIS, - SBN actuales y potenciales usos, - Estructuras ecológicas,	1. Un mapa con la identificación de la oferta de naturaleza y las oportunidades por medio del uso de diferentes capas de información y de fuentes secundarias. 2. Un documento narrativo que explique los siguientes aspectos
2	¿Qué necesita la ciudad y dónde?	Identificación de las necesidades urbanas que se pueden satisfacer por medio de SBN.	Identificar espacialmente los desafíos urbanos, como inundaciones, sequías, islas de calor, contaminación de las fuentes hídricas y del aire, la falta de acceso a espacio público con zonas verdes y la pérdida de hábitat, entre otros temas de diferentes sectores	-Información primaria y secundaria, -Mapas de fuentes hídricas urbanas con riesgos de contaminación y vertimientos, - Mapa de encharcamientos, - Mapa de inundaciones, - Análisis y visualización, - Índice de Calidad Ambiental Urbana (ICAU) y las necesidades urbanas de naturaleza, - Servicios ecosistémicos urbanos: análisis de las necesidades urbanas,	1. Un documento narrativo que analiza los desafíos que puedan ser mejorados por medio de SBN en los contextos urbano y periurbano. 2. Un mapa en el que se visualicen los desafíos urbanos
3	¿Cómo será la ciudad en el futuro?	Identificación del papel de la naturaleza en los escenarios del desarrollo futuro de la ciudad.	Identificación de diferentes escenarios prospectivos para la ciudad, con el fin de facilitar la identificación de áreas naturales, seminaturales o diseñadas, específicas de la ciudad,	- Identificación de metas transformacionales de largo plazo, - Análisis de la huella urbana, - Diagrama de flujo – visión del paisaje, - Escenarios actuales y futuros, - Articulación de futuras SNB en el ordenamiento territorial. - Escenarios y la visión paisajística de las SBN de la ciudad a futuro,	1. Documento narrativo que contenga una visión del paisaje de la ciudad a futuro, 2. Información cartográfica que evidencie zonas naturales estratégicas, 3. Documento que soporte y explique la información, las herramientas y los análisis realizados
4	¿Qué priorizar?	Priorización de las opciones para el diseño y la implementación de SBN en las áreas urbana y periurbana.D	El objetivo de este paso es priorizar las áreas donde es posible implementar SBN, con base en su disponibilidad y considerando lo que la ciudad necesita	Priorización de intervenciones actuales y futuras, Determinantes ambientales en el ordenamiento territorial, Usos actuales y potenciales,	Documento narrativo que describa el proceso de análisis de la combinación de los pasos. Información cartográfica que evidencie de forma

BORRADOR

Paso	Pregunta Orientadora	Aspecto	Objetivo	Recursos	Resultados esperados
			actualmente y en el futuro.	Beneficios de implementación, Portafolio SBN y satisfacción de necesidades, Inclusión en ordenamiento territorial y planes de manejo ambiental.	clara las áreas priorizadas. Informe con los resultados de las observaciones de las visitas de campo a las zonas priorizadas y el análisis general de las disposiciones de ordenamiento territorial sobre las mismas, con el fin de identificar la viabilidad de posibles intervenciones.
5	¿Cuáles elementos se deben priorizar para el diseño multifuncional ?	Elementos para potencializar el diseño multifuncional de las SBN.	Definir una serie de elementos esenciales para potencializar el diseño multifuncional de las SBN priorizadas	Contexto social y ambiental en la zona de intervención: talleres, mesas, percepción, cartografía social, Condiciones y potencial de intervención, Tipologías SBN priorizadas, Resiliencia, cambio y variabilidad climática **Los SUDS como estrategias para la reducción de inundaciones urbanas**	Recomendaciones para el diseño de cada una de las áreas priorizadas en el paso 4, relacionadas con los cuatro factores para asegurar la multifuncionalidad
6	¿Cómo financiar las SBN?	Identificación de estrategias de financiamiento para las SBN.	Proporcionar una serie de herramientas y opciones para el financiamiento de las SBN.	Identificación de oportunidades con fondos públicos, Fuentes externas de financiación, Gestión del riesgo, Manejo de espacio público, Paisajismo, Zonas protegidas urbanas, Manuales para el diseño de parques y áreas verdes urbanas.	Identificación de mecanismos para financiar las opciones priorizadas, para cada una de ellas o por grupo de intervenciones. Es probable que para muchas de estas intervenciones se encuentre financiamiento en el presupuesto de la ciudad, en otros casos se tendrá que optar por estrategias diferentes.
7	¿Cómo hacer monitoreo y seguimiento?	Identificación de opciones para la evaluación y el monitoreo de las SBN.	En el contexto de cada ciudad, los indicadores se construyen teniendo como referencia las metas del ordenamiento territorial, así como las metas de los planes de Gobierno de los alcaldes de turno y otros planes vigentes.	Mejoramiento de las condiciones y del potencial ecológico, Integración de los ciudadanos en el diseño y el manejo de las SBN, Distribución equitativa y acceso a las áreas verdes, Inversión pública para las SBN, Cobeneficios sectoriales Salud y bienestar, Integración del sector privado en la implementación de las SBN.	selección de una batería de indicadores que respondan a los marcos regulatorios y de política y que den cuenta de los beneficios de la multifuncionalidad de las SBN para las ciudades, en términos ambientales, sociales y económicos.

Fuente: (Figueroa Arango; 2020).

BORRADOR

Se recomienda diseñar y costruir tipologìas de SUDS con áreas verdes en zonas susceptibles a la inundación, de tal manera que permitan almacenar el agua, reducir la escorrentía urbana y los riesgos por inundaciones, acompañado con vegetación natural, combinados con una selección de plantas favorables a la infiltración, así como estrategias de diseño y elementos del espacio público que favorezcan permeabilidad del suelo (Figueroa Arango; 2020).

Esto se encuentra alineado con lo que se plantea en el Manual de Construcción Sostenible del Distrito de Santiago de Cali, en donde resaltan que el diseño de las áreas comunes puede contribuir simultáneamente al manejo del agua pluvial y a la generación de amenidad. En esta medida a través del diseño estas áreas pueden contribuir a la educación, recreación, seguridad, relaciones públicas y riqueza estética (Echols & Pennypacker, 2008). Las estrategias de diseño que pueden contribuir a estos objetivos incluyen la creación de espacios que hagan visible el ciclo del agua, permitan la reunión de personas y donde la interacción sea posible. Esto implica disponer elementos para tener contacto directo o indirecto con el agua, así como para garantizar que este contacto sea seguro a través del control de la cantidad y la calidad de la escorrentía ((B Woods Ballard, S Wilson, H Udale-Clarke, S Illman, T Scott, R Ashley, R Kellagher, 2015); Echols & Pennypacker, 2008) (Manual de Construcción Sostenible del Distrito de Santiago de Cali)

3.4 Clasificación de SUDS

Si bien los SUDS constituyen una alternativa sostenible para el manejo de la escorrentía, la selección del tipo de estructura depende, no solo del objetivo para el cual se quieren implementar, es decir, para amortiguación de picos de escorrentía o para mejoramiento de la calidad de agua, sino de otro tipo de características, las cuales permiten a su vez clasificarlos.

En cualquier caso, el esquema elegido para SUDS, debe articularse con los objetivos estratégicos de la gestión del recurso hídrico y las características propias del sitio donde se va a desarrollar. (Manual de SUDS (Woods-Ballard et al., 2007))

Así las cosas, se pueden clasificar según el objetivo, el mecanismo con el que operan o las características del sitio en donde van a ser implementados. Esto último, para efectos de este documento será la escala del proyecto o área en la cual se quiere gestionar las aguas lluvias.

3.4.1 Según el objetivo

Los SUDS pueden estar orientados a cumplir uno o varios objetivos: i) regulación de cantidad de agua ii) mejoramiento de la calidad de agua, iii) reúso de aguas lluvias, iv) aprovechamiento para actividades recreativas o de confort, v) preservación de la biodiversidad. Una breve descripción se presenta a continuación.

3.4.1.1 Regulación de cantidad de agua

BORRADOR

Busca amortiguar los picos de escorrentía que normalmente, durante y después de un evento de precipitación, son descargados directamente a los cuerpos de agua o al sistema de alcantarillado convencional. Cuando se planifican SUDS con objetivos de regulación de cantidad de agua el propósito es evitar que los sistemas de manejo de aguas lluvias colapsen y se presenten inundaciones.

3.4.1.2 Mejoramiento de la calidad de agua.

Diferentes tipologías pueden estar orientadas a este objetivo. El propósito es mejorar la calidad de agua de escorrentía, minimizando así el riesgo de aportar contaminación a los cuerpos de agua y evitar sedimentos en las redes y otras estructuras que componen los sistemas de alcantarillado convencional.

3.4.1.3 Reúso de aguas lluvias

En línea con el objetivo de mejoramiento de la calidad de agua, los SUDS pueden ser diseñados con el objetivo de reutilizar las aguas lluvias para otros propósitos diferentes al consumo humano como son el riego de zonas verdes o actividades domésticas de lavado de zonas comunes, entre otras. En cualquier caso, deberá tenerse en cuenta la normatividad existente para reúso de aguas.

3.4.1.4 Aprovechamiento para actividades recreativas o de confort

Algunas tipologías de SUDS, a partir de adecuaciones paisajísticas e instalación de vegetación, habilitan áreas para realizar actividades recreativas y de amenidad al mismo tiempo que cumplen un propósito de control de volúmenes o mejoramiento de la calidad de agua de escorrentía. Ejemplo de estos son zonas inundables que sirven a su vez como parques.

3.4.1.5 Preservación de la biodiversidad

Es posible implementar sistemas urbanos de drenaje sostenible en áreas inmersas en la malla urbana en donde existían ecosistemas que puedan ser restaurados. Las tipologías más utilizadas para este objetivo son las que utilizan vegetación o las que funcionan a partir de detención de agua. Ejemplos de estos son las áreas de biorretención, cunetas verdes, humedales, bien sean naturales o artificiales e incluso los jardines de lluvia.

3.4.2 Según el mecanismo de funcionamiento de SUDS

Además de las escalas en las cuales se implementa, los SUDS se clasifican dependiendo del tipo de mecanismo que utilizan, el cual puede ser: i) detención o ii) infiltración. En ambos casos, bien sea por medio de tuberías y canalizaciones estructuradas o mediante adecuaciones de terreno de menor magnitud, los SUDS requieren de sistemas o estructuras de transporte, que permitan conducir la escorrentía a los lugares en donde se localizan (donde se realizará la detención o la infiltración).

BORRADOR

3.4.2.1 Detención

En este caso, el agua de escorrentía se detiene, bien sea para ser almacenada y reutilizada en otras actividades, o para ser detenida por un período de tiempo y descargada posteriormente a la infraestructura de alcantarillado pluvial o a un cuerpo de agua.

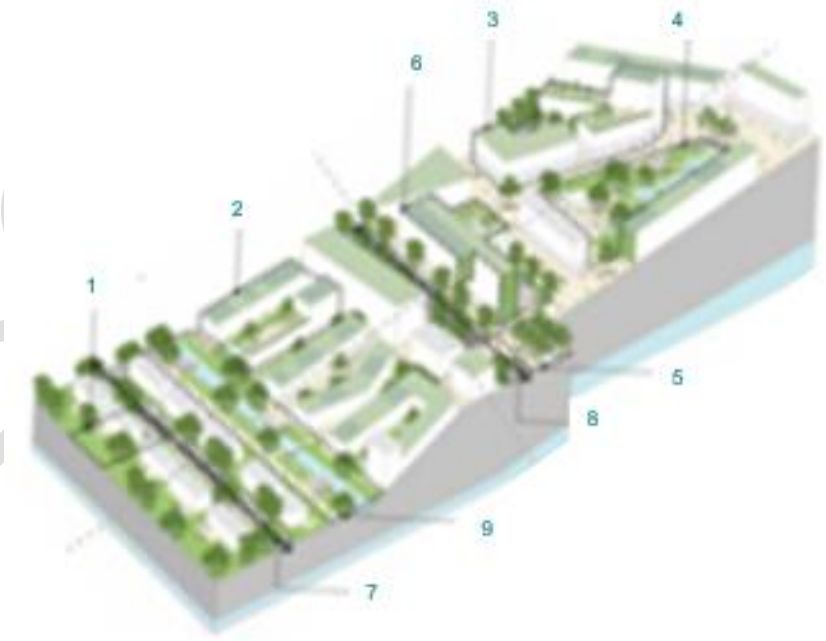
3.4.2.2 Infiltración

Como su nombre lo indica, estos SUDS infiltran el agua de escorrentía superficial en el subsuelo. Los SUDS con base en mecanismos de infiltración, pueden contribuir a reducir las tasa y volúmenes de escorrentía, al igual que soporta procesos de recarga de aguas subterráneas y flujos de base, la velocidad a la que puede infiltrarse el agua depende de la capacidad de infiltración o permeabilidad de los suelos alrededor. (Manual de Construcción Sostenible del Distrito de Santiago de Cali). Para la elección de estas tipologías, se requiere seleccionar lugares adecuados para infiltraciones y libres de contaminación (Manual de SUDS (Woods-Ballard et al., 2007))

3.4.3 Según escala del proyecto de SUDS

Tal como se mencionó anteriormente, los SUDS también pueden ser clasificados según las características propias del sitio donde se van a construir, denominado en este documento como la escala del proyecto o área para la cual se implementan. El Manual de SUDS (Woods-Ballard et al., 2007) presenta nueve tipologías como se muestran en la gráfica XX y se mencionan a continuación.

Ilustración 2. ¿Cómo pueden coexistir las diferentes tipologías en el área urbana?



Fuente: Woods-Ballard et al., 2007

1. Pequeño relleno residencial: para viviendas de baja densidad con disponibilidad de espacio moderado, uso en jardines delanteros y traseros, y parqueaderos.

2. Relleno residencial medio: para viviendas de densidad media tipo dúplex, de máximo 3 pisos; puede combinarse con jardines comunitarios y parqueaderos sobre la calle.
3. Uso mixto: para viviendas de densidad moderada a alta, en el centro de la ciudad, en espacios comerciales de niveles inferiores y combinados con terraza o jardín en los superiores.
4. Zona pública: ubicados en el centro de la ciudad, proporcionando espacios comunitarios para función social; pueden ser plazas duras o blandas, asociadas con zonas verdes urbanas y deben adaptarse a un número variable de personas.
5. Espacio público transitorio: ubicados en el centro de la ciudad y dominado por los requisitos de acceso; debe permitir una integración eficiente y efectiva de SUDS, incluso en espacios más pequeños.
6. Espacios elevados: sobre el nivel del suelo, desde paredes y techos verdes hasta cubiertas de servicios asociados con desarrollos residenciales y de uso mixto.
7. Calle de barrio: calles en el centro de la ciudad en zonas residenciales, frecuentemente con disponibilidad de espacio restringida; puede incluir parqueaderos, paraderos, accesos, recolección de residuos y reglas claras frente a lo privado y lo público.
8. Calle cívica: ubicadas en el centro de la ciudad con función comunitaria dentro de un entorno comercia, muestra la combinación de SUDS con espacios ciudadanos flexibles.
9. Vía verde: cuenta con corredores verdes al interior de la ciudad y rutas de infraestructura histórica en desuso que se convierten en vías clave para peatones y ciclistas; espacios sociales y biodiversos valiosos que conectan la ciudad, lejos de las áreas urbanizadas, el tráfico y las multitudes.

Por su configuración, forma de funcionamiento y localización, en este documento se hace referencia a la utilización de los SUDS a escala de: i) vivienda o edificio; ii) barrio o urbanización y, iii) ciudad. En las tres escalas, el SUDS puede estar constituido por un solo tipo de estructura o combinar varios, conformando lo que se denominaría un tren de manejo de aguas lluvias.

3.4.3.1 Escala de vivienda o edificio

La escala de vivienda permite aprovechar el agua lluvia que puede ser captada en las superficies de edificios o viviendas en usos domésticos diferentes al consumo humano. Esto puede ser, riego de plantas, aseo de áreas comunes o descargas en los sanitarios, entre otras actividades que no requieran agua potable. Así mismo, puede tener otros beneficios para los edificios y viviendas en materia eficiencia energética.

3.4.3.2 Escala de barrio o urbanización

Cuando se habla de escala de barrio o urbanización (abiertas o cerradas), el área para la cual se quiere dar manejo sostenible de aguas lluvias es mayor que la de las soluciones para vivienda o edificio. Los tipos de SUDS pueden estar localizados en urbanizaciones o barrios, debido al mecanismo de funcionamiento y la configuración que tienen, pueden requerir mayor área para su construcción y tener mayor exigencia en cuanto al

BORRADOR

mantenimiento. Así mismo, pueden estar o no conectados a la infraestructura existente del alcantarillado pluvial. Esto último tiene una incidencia en el tipo de actividades y responsabilidad del mantenimiento.

3.4.3.3 Escala de ciudad

Los SUDS de escala de ciudad sirven a un área mayor, constituyen un complemento a las redes de alcantarillado pluvial que normalmente conforman el sistema de manejo de aguas lluvias en nuestras ciudades y se caracterizan por estar inmersos o hacer parte del espacio público. Pueden estar o no conectados a la infraestructura existente del alcantarillado pluvial. Los requerimientos de área pueden ser superiores a los de las escalas anteriores y, así mismo, las necesidades de mantenimiento.

3.5 Tipología de SUDS

Como se mencionó en el alcance de la Guía, este documento no constituye un manual de diseño debido a que ya existe un desarrollo amplio en ese sentido por parte de la academia, empresas de servicios públicos y consultorías específicas en el tema, lo cual se puede consultar en la bibliografía. En este sentido, a continuación, se presenta una descripción general de las tipologías de SUDS más comunes identificadas y que serán tomadas como base para el trabajo posterior intersectorial de análisis de actores involucrados y responsabilidades de financiación y mantenimiento de sistemas como los SUDS.

3.5.1 Jardín Microcuenca

Son jardines con un nivel inferior al de las superficies adyacentes para captar agua de lluvia. Las microcuencas pueden construirse en espacios contenidos o extenderse longitudinalmente para formar canales de retención e infiltración de agua pluvial. Dentro de los beneficios se tiene:

- Técnica de más bajo costo.
- De fácil construcción y no requieren de conocimiento técnico especializado.
- Se puede diseñar un conjunto de microcuencas de atractivo paisajístico.

Ilustración 3. Jardín de Microcuenca

BORRADOR



Fuente: Hermosillo, 2017

3.5.2 Jardín de Lluvia

Son jardines con un nivel inferior al de las superficies adyacentes para captar agua de lluvia, con una capacidad de captación mayor que la de un Jardín Microcuenca, toda vez que cuentan además con capas permeables en niveles inferiores.

Llamados también jardines de bioretención, pueden depurar el agua de lluvia mediante la fijación de contaminantes, a través de mecanismos físicos, químicos y biológicos una vez que el agua ha penetrado las capas superiores.

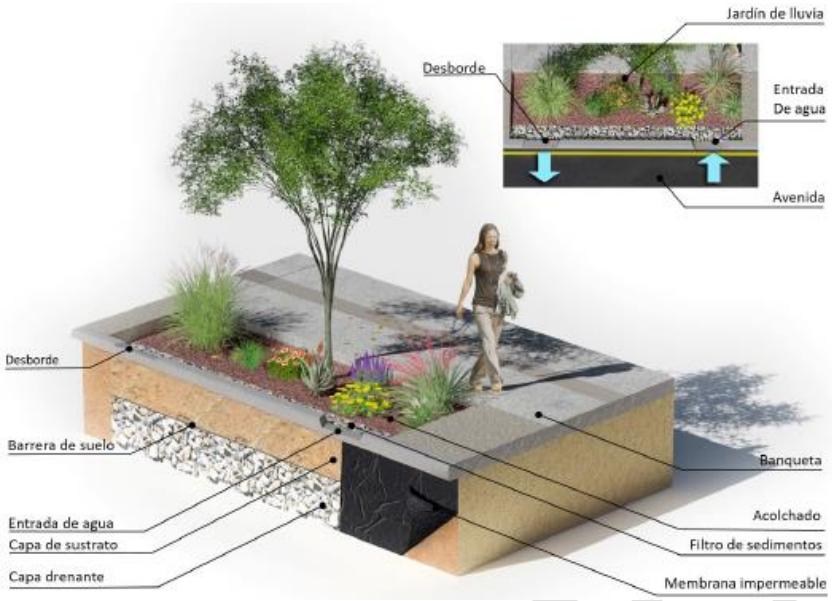
Pueden proveer beneficios adicionales como mejora del hábitat y biodiversidad, y control del microclima. Está tipología se compone de suelo mejorado sobre el cual se dispone vegetación y un sistema de salida para el manejo de excesos. Puede incluir capas subterráneas de drenaje de acuerdo con la tasa de infiltración. Las cuales corresponden a una capa de transición o geotextil y una capa de drenaje en la que se disponen tuberías perforadas conectadas al sistema de salida (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Deben emplearse tuberías de limpieza para facilitar el mantenimiento e inspección del sistema. (Manual de construcción sostenible del Distrito de Santiago de Cali)

Es posible instalar tuberías perforadas en las capas drenantes que permiten transportar el agua a otra locación o a un sistema de almacenamiento para su posterior aprovechamiento. Dentro de los beneficios encontramos:

- Mayor capacidad de captación y mejoramiento en la calidad de agua antes de su infiltración.
- Se puede desarrollar de forma modular con medidas estándares.
- Brindan una mejora a la imagen urbana.

Ilustración 4. Jardín de Lluvia

BORRADOR



Fuente: Hermosillo, 2017

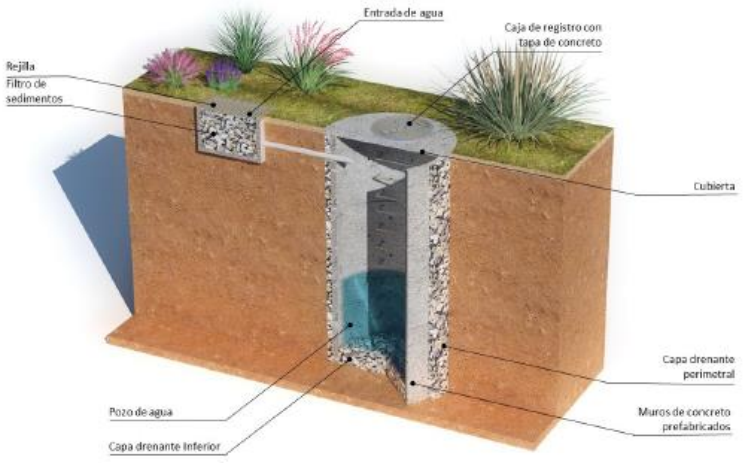
3.5.3 Pozo de infiltración

Son excavaciones que tienen la función de aumentar y acelerar la infiltración de agua pluvial al subsuelo. Estos pozos pueden construirse con muros de mampostería de forma que presenten orificios o bien de concreto con características de permeabilidad a base de agujeros en su estructura.

Otra técnica constructiva, es la de excavaciones sin revestimiento, la cual requiere rellenarlos con materiales de alta permeabilidad, que contribuyan a mantener la estabilidad estructural de las paredes. Dentro de los beneficios podemos mencionar:

- No ocupan espacio superficial.
- Pueden penetrar capas de suelo impermeables.

Ilustración 5. Pozo de infiltración



BORRADOR

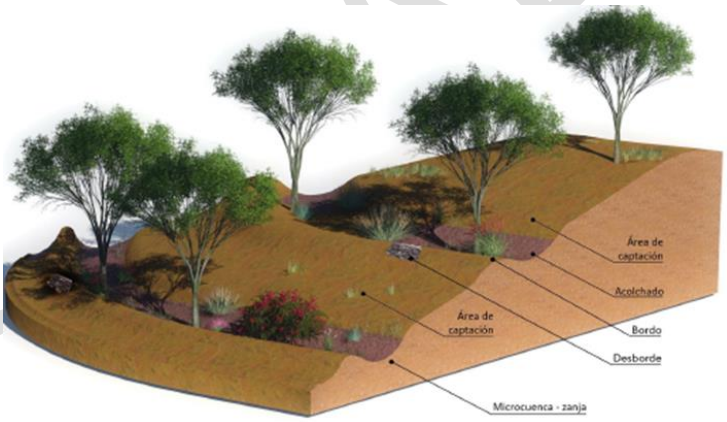
Fuente: Hermosillo, 2017

3.5.4 Zanja-Bordo

Se trata de una zanja acompañada de un bordo o borde que se sitúa de manera inclinada abajo de ésta y puede utilizarse en cualquier terreno con pendiente. También pueden ser estructuras conformadas por bordos y microcuencas dispuestas en formas semicirculares y diseñadas para captar y retener volúmenes de aguas pluviales de baja a moderada velocidad. Dentro de los beneficios se tiene:

- Fácil construcción y operación.
- Económico.
- Los bordos pueden servir como senderos.
- Útiles en restauración de laderas y cañadas.

Ilustración 6. Zanja-Bordo



Fuente: Hermosillo, 2017

3.5.5 Separadores con zanjas filtrantes o canales vegetados

Los canales vegetados corresponden a cunetas poco profundas que se emplean para conducir, tratar y atenuar la escorrentía superficial. Sus características pueden variar de acuerdo con el sitio y los objetivos de diseño (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Cuentan con vegetación, para tratar la escorrentía y reducir su velocidad, y pueden incluir barreras de detención cuando las pendientes son altas (i.e., mayores a 0.02 m/m) (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a; CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

Si la pendiente es muy baja se recomienda el uso de tuberías perforadas para evitar el estancamiento del agua. La escorrentía puede ingresar a través de una tubería, en cuyo caso se recomienda utilizar un enrocado para evitar la erosión, o de forma difusa. En caso de que ingrese de forma difusa es recomendable colocar franjas filtrantes paralelas al canal

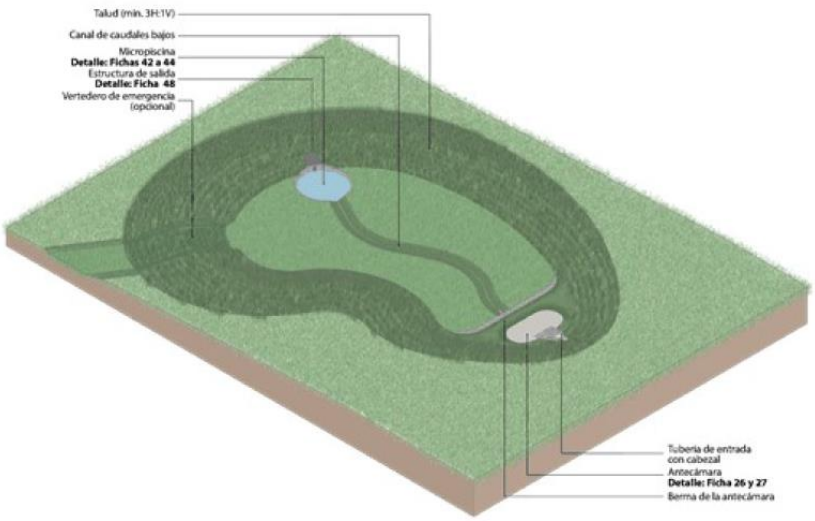
(Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a) (Manual de Construcción Sostenible del Distrito de Santiago de Cali)

3.5.6 Cuenca seca de drenaje extendido

Esta tipología está conformada por una extensión de terreno que se encuentra por debajo del nivel de vías y demás estructuras urbanísticas. Este sistema busca simular el comportamiento natural de una cuenca, de forma tal que, el agua captada del fenómeno de escorrentía ocurrido durante la precipitación sea almacenada, y posteriormente infiltrada, evaporada o evacuada. Este tipo de SUDS se caracterizan por requerir grandes extensiones de terreno comparado con otras tipologías.

Este tipo de soluciones, para la conformación de la cuenca requieren de elementos adicionales para su funcionamiento como, estructuras de captación, canales para el direccionamiento del flujo, cámaras y taludes. Adicionalmente requieren para la conformación materiales granulares que faciliten la infiltración y que a su vez permitan el desarrollo de diseños paisajísticos que puedan ser aprovechables cuando la cuenca se encuentre seca.

Ilustración 7. Cuenca seca de drenaje



Fuente: EAAB, 2020

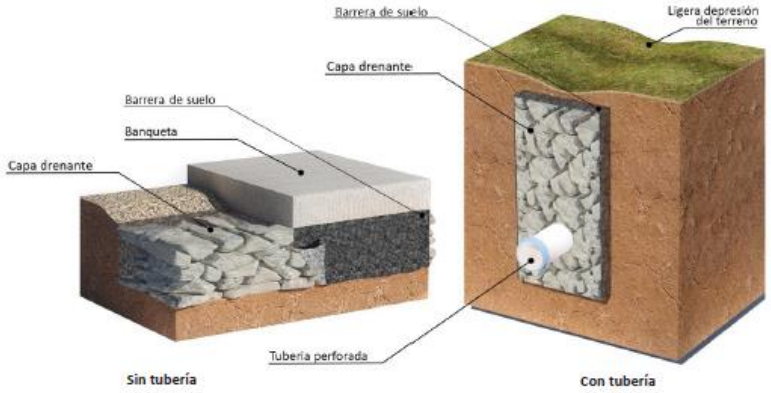
3.5.7 Drenaje Francés

Consiste en una zanja rellena de rocas que permite la infiltración de agua pluvial a través de sus lados, fondo y extremos. También puede servir para recolectar y conducir el agua, realizando infiltración durante su transporte.

Por estar relleno de rocas, tiene una captación de agua del 40 % del volumen total de la capa drenante. Sin embargo, se puede equipar de una tubería perforada para aumentar la capacidad de captación y/o para mejorar el flujo cuando se busca conducir agua. Entro de los beneficios se presentan:

- Protegen las edificaciones de humedad.
- Puede transportar o permitir el acceso de agua entre otras técnicas utilizadas.
- Si el espacio es limitado, pueden extender la capacidad de captación de otras
- técnicas.
- Pueden diseñarse para no ocupar área superficial o un área muy reducida.

Ilustración 8. Drenaje Francés



Fuente: Hermosillo, 2017

3.5.8 Humedales

Los humedales son ecosistemas con características terrestres y acuáticas, normalmente de baja profundidad. Son de alta importancia por su riqueza biótica y los procesos hidrobiológicos que en ellos tienen lugar. Son proveedores importantes de servicios ecosistémicos directos como aprovisionamiento y regulación y los indirectos como los de cultura y recreación y, servicios de apoyo. La Convención Ramsar y, a partir de ella la Política Nacional de Humedales, adopta la siguiente definición: "*son humedales las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros"*[6].

Los humedales pueden ser marinos como los ubicados en las costas; estuarinos en las desembocaduras de los ríos en el mar; los lacustres que están conectados a los lagos; palustres o pantanosos como las ciénagas; ribereños a los lados de los ríos y finalmente los artificiales o construidos por el hombre, estos últimos con propósitos principalmente de almacenamiento o tratamiento de aguas residuales.

Según las características geomorfológicas y la relación del anegamiento entre los cuerpos de agua contiguos y el humedal mismo se pueden clasificar en gran humedal y el humedal marginal. El primero se puede definir como un "*macrosistema cuyo principal factor ambiental es el anegamiento y, secundariamente, la inundación*" y el segundo corresponde a "*áreas periódicamente cubiertas por el agua en la vecindad inmediata de un gran cuerpo de agua (río, lago, mar) y que depende en forma directa de la dinámica de este último".* Este tipo de humedales son retardadores del escurrimiento, y actúan como *reactores* en los que "las entradas" (agua, sedimentos, organismos) se transforman para ser luego ingresadas al curso del río (por movimiento horizontal) al comienzo de la próxima creciente. (NEIFF, 1997).

Normalmente, los humedales artificiales incluyen un sistema para controlar el caudal de salida para distintos volúmenes de almacenamiento. Se recomienda incluir pretratamiento, ya sea a partir de otra tipología de SUDS aguas arriba o una antecámara de sedimentación. Adicional al volumen permanente de agua, los humedales cuentan con un volumen de almacenamiento para la atenuación de eventos de lluvia y una zona poco profunda

[6] Definición adoptada de la Convención Ramsar.1971

BORRADOR

perimetral en la que se establecen las plantas (CIRIA Norfolk Country Council, 2015) (Manual de Construcción Sostenible del Distrito de Santiago de Cali)

El funcionamiento de un humedal depende de procesos climáticos, los cuales determinan la ocurrencia de ciclos húmedos y secos y, como resultado, el régimen hidrológico al que esté sometido. Es decir, la frecuencia con la que se inunda y el tiempo que permanece inundado.

Los humedales reciben agua principalmente de precipitación, pero también se alimentan de aguas subterráneas o aportes de ríos, quebradas o arroyos. Después de una creciente o precipitación, una parte del volumen de agua queda retenido o almacenado en el humedal, y posteriormente lo libera lentamente por infiltración, evaporación o escorrentía.

3.5.9 Estanques de detención multifuncionales

Son depresiones que por lo general están secas, pero almacenan escorrentía durante un evento de precipitación. Pueden tener vegetación, la cual contribuye al tratamiento de la escorrentía. Estos sistemas permiten la remoción de sedimentos y material flotante. A su vez, pueden proveer beneficios relacionados con la amenidad (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). En general, se encuentra delimitadas por taludes y la escorrentía puede ingresar de manera superficial o mediante tuberías. Se recomienda que la escorrentía sea dirigida a una antecámara para que se disipe la energía y se remuevan solidos antes de su ingreso al estanque de detención. En el área de almacenamiento se dispone un canal para caudales bajos que permite manejar even-tos de baja magnitud. El sistema de salida incluye una micropiscina la cual contribu-ye al tratamiento al disminuir el riesgo de resuspensión de sólidos. Adicionalmente, se dispone una estructura para controlar el caudal de salida y estructuras tipo vertedero para la evacuación de eventos mayores a los de diseño (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a) (Manual de Construcción Sostenible del Distrito de Santiago de Cali)

3.5.10 Pavimentos Permeables

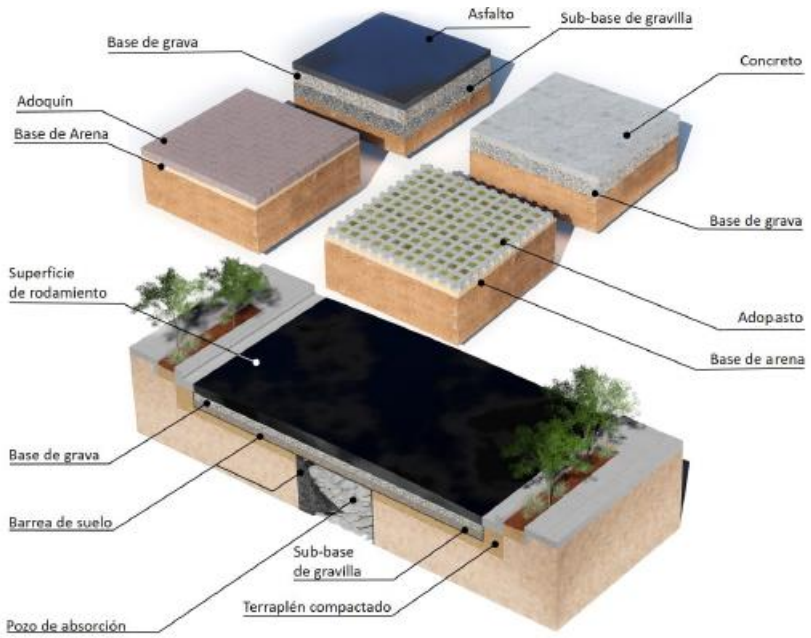
Compuestos por materiales porosos que permiten el paso del agua a través de su estructura, dando el mismo soporte estructural que los pavimentos tradicionales. El agua se infiltra en el suelo, irrigando la vegetación adyacente y reduciendo las escorrentías. El agua se infiltra gradualmente en una cama de grava que permite el almacenamiento. Pueden estar construidos a base de concreto asfáltico o concreto hidráulico. También los hay modulares y de adoquín.

Dentro de los beneficios proporcionados se tienen:

- Permiten el tránsito peatonal y/o vehicular.
- Más estéticos que los pavimentos tradicionales.
- Reducen el deslizamiento de las llantas y mejoran la adherencia.

Ilustración 9. Pavimentos Permeables

BORRADOR



Fuente: Hermosillo, 2017

Dentro de los SUDS, los pavimentos permeables representan los sistemas más comunes en el mundo, habiéndose implementado bajo todo tipo de condiciones climáticas (Castro-Fresno et al., 2013; Nnadi et al., 2014) y con el soporte de una amplia investigación desde principios del siglo XXI. Según Jato-Espino et al. (2019), el 17.1 % del total de publicaciones sobre Infraestructura Verde de Aguas Pluviales tiene como objeto los pavimentos permeables, lo que muestra claramente su relevancia dentro de la amplia gama de técnicas SUDS disponibles (Olivares-Cerpa, 2022).

Estas superficies permiten el almacena-miento temporal y, en algunos casos, la infiltración de la escorrentía (CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Se componen básicamente por cuatro capas correspondientes a: (1) capa superficial permeable, (2) capa de nivelación, (3) reservorio o sub-base y (4) capa filtrante (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a). La capa superficial incluyendo pavimentos modulares, asfalto poroso, concreto poroso y grava porosa (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a; CIRIA Norfolk Country Council, 2015).

Si no es posible infiltrar la escorrentía se debe incluir una capa de drenaje la cual incluye una tubería perforada y un geotextil o geomembrana en el fondo (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a). A su vez, se recomienda emplear una barrera perimetral con el objetivo de evitar el flujo de agua hacia áreas adyacentes y el movimiento de los adoquines. El uso de tuberías de inspección permite monitorear el desempeño de la tipología (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a). . (Manual de Construcción Sostenible del Distrito de Santiago de Cali)

3.5.11 Cisternas

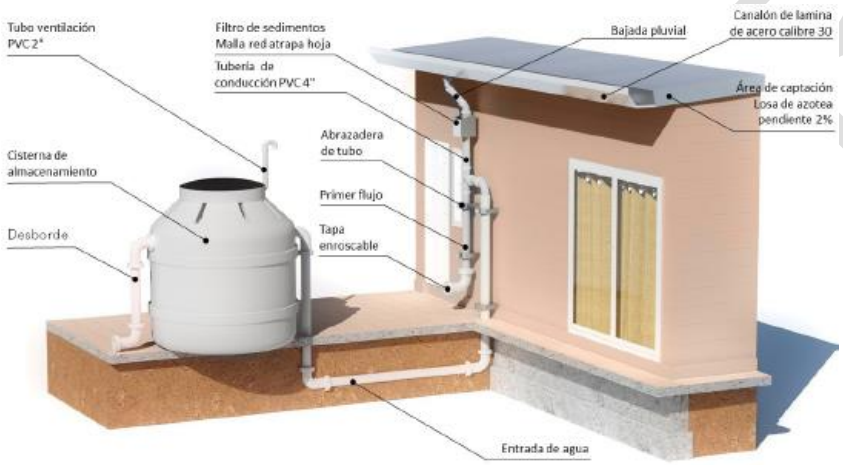
Se utiliza para almacenar escurrimiento pluvial (proveniente de techos) para poder aprovecharlo posteriormente. Las cisternas se pueden colocar sobre el suelo, la cual tiene

mayor facilidad en su instalación, o pueden ser construidas de forma subterránea, donde se ahorra espacio. Los tipos de cisternas son de sistema húmedo y de sistema seco.

Frente a los beneficios de las cisternas se puede nombrar:

- Almacenamiento de agua.
- La reserva de agua disponible se puede usar en el hogar y en exteriores.
- Agua de mayor calidad.
- Disminuye la demanda de agua potable

Ilustración 10. Cisternas



Fuente: Hermosillo, 2017

3.5.12 Techos Verdes

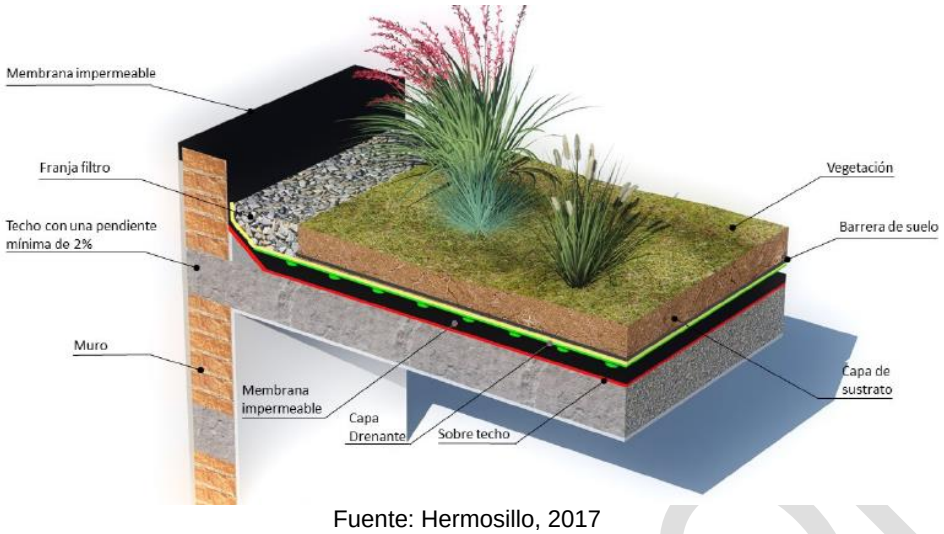
Son instalaciones sobre los techos que permiten el desarrollo de vegetación, compuestos por una serie de capas que evitan daños en la edificación. Así mismo, se pueden instalar en edificaciones nuevas o ya existentes. Se clasifican en extensivos, intensivos o combinados.

A continuación, se presentan los beneficios de implementar techos verdes:

- Aumentan el área verde y pueden generar espacios de esparcimiento.
- Proveen aislamiento térmico, lo cual reduce el consumo energético.
- Brindan aislamiento acústico.
- Aportan vegetación en superficies subutilizadas, de gran utilidad en zonas urbanas con un alto índice de impermeabilidad.

Ilustración 11. Techos Verdes

BORRADOR



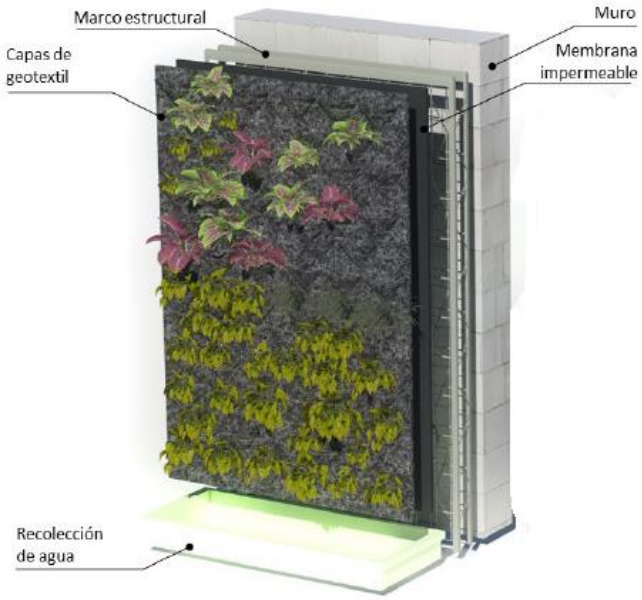
Fuente: Hermosillo, 2017

3.5.13 Fachadas o muros verdes

Son sistemas que permiten el desarrollo de vegetación en superficies verticales. Generalmente se soportan en paredes exteriores o interiores de edificaciones, aunque pueden ser estructuras independientes con soporte propio. Se pueden clasificar en tres tipos principalmente: sistemas hidropónicos, sistemas en base de sustrato y soportes para enredaderas.

Los beneficios que ofrecen estos sistemas son muy similares a los que se encuentran en los Techos Verdes.

Ilustración 12. Muros Verdes



Fuente: Hermosillo, 2017

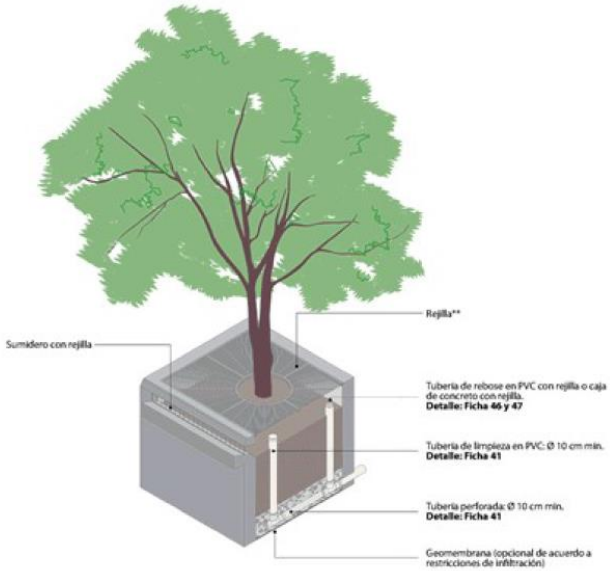
3.5.14 Alcorques inundables

Este tipo de SUDS está constituido básicamente por una caja en concreto que funciona como matera, toda vez que en estas pueden ser plantados árboles o arbustos; esta caja a

su vez, dependiendo de la permeabilidad del suelo, puede contar con algún tipo de revestimiento en el fondo. La función del alcorque es contener las raíces del árbol, sustrato y un sistema de drenaje. Este tipo de estructuras cuentan con sistemas de tuberías perforadas y de rebose que permiten el manejo de las aguas entrantes o salientes, estas últimas en el caso de que el caudal captado sea superior al de diseño de la estructura. (Manual de Construcciòn Sostenible del Distrito de Santiago de Cali; Hermosillo, 2017)

El interior de este tipo de sistemas, para el albergue de plantas y la infiltración del agua, suelen rellenarse con una mezcla de arenas, arcillas, tierra vegetal y compost.

Ilustración 13. Alcorques inundables



Fuente: EAAB, 2020

Por otra parte, el Manual de Lineamientos de Diseño de Infraestructura Verde para Municipios Mexicanos (Hermosillo, 2017) contempla también la intervención a Macro-Escala, la cual incluye las implementaciones de micro-escala como las presentadas previamente, hasta consolidar una red, además de conservar y reforzar los elementos naturales en el paisaje, como ríos, lagos, cañadas, cerros, entre otros, que se utilizarán en soluciones a una escala superior.

A manera de resumen, en la tabla a continuación se sugiere una clasificación de los diferentes tipos de SUDS, según la escala de implementación y el mecanismo bajo el cual funcionan.

Tabla 2. Clasificación según escala de implementación y mecanismo de funcionamiento de los SUDS

Tipos de SUDS	Edificio o vivienda	Barrio	Ciudad
Techos verdes			
Fachadas verdes			
Tanques de almacenamiento			
Alcorques inundables			
Humedales			
Cunetas verdes			
Cuencas secas			
Zonas inundables			
Zanjas de infiltración			
Tanques de infiltración			
Pavimentos permeables o porosos			
Jardín microcuenca			
Jardín de lluvia			
Pozos de infiltración			
Zanja - bordo			

Fuente: Elaboración propia

3.6 Ventajas y desventajas de las tipologías SUDS

Previo al proceso de selección de las tipologías de SUDS aplicables al territorio donde se pretenden implementar, es importante llevar a cabo un ejercicio de identificación de ventajas y desventajas de estos.

En la identificación deben considerarse las tipologías aplicables según las características del territorio y debe existir una aproximación a la disponibilidad de los terrenos donde se implanten las soluciones para el tratamiento de la escorrentía.

Algunas de las desventajas en los usos de tipologías comunes, están ligadas a los costos de construcción, las cargas muertas que se adicionarían a las estructuras en pie, el espacio que ocupan, la facilidad de acceso, los costos asociados a su mantenimiento, el requerimiento de equipos electromecánicos que aumentan Capex y Opex, eficiencias limitadas en eventos de lluvia de gran intensidad, requerimientos geométricos especiales, riesgo de daño por cuenta del crecimiento de raíces de arbustos o árboles, requieren áreas de gran tamaño, limitación a los pesos o cargas de circulación sobre ellas, tiempos de construcción largos, colmatación inevitable, liberación de nutrientes en el mantenimiento o en alguna fase de operación, posible contaminación de aguas subterráneas, entre otras.

Por su parte, las ventajas más comunes de los sistemas evidentemente se relacionan con su razón de ser, como control de inundaciones, reutilización de aguas, reducción de temperaturas, flexibilidad de instalación, promueven mejoras paisajísticas, bajos consumos bioenergéticos, protege la calidad del agua, eliminación de barreras arquitectónicas, moderador del clima, remoción eficiente de sedimentos y contaminantes, aumento de la diversidad de flora y fauna, entre otras. (Manual de Construcciòn Sostenible del Distrito de Santiago de Cali)

3.7 Aspectos a tener en cuenta en el diseño de SUDS

Los sistemas de drenaje sostenible – SUDS, pueden ser implementados en áreas con desarrollos urbanísticos o en zonas donde se proyecte algún tipo de modificación de las condiciones naturales del terreno. Para el primer caso es indispensable que el formulador del proyecto identifique las condiciones del sistema de drenaje prexistente y la afectación de este con el entorno. De este modo, se busca garantizar una correcta selección de la tipología de SUDS a implementar y los requisitos técnicos necesarios para su diseño construcción y operación.

Una vez se han surtido los procesos conceptuales de valoración y estrategias para promoción de implementación, preselección de tipologías aplicables y la identificación de ventajas y desventajas de las tipologías disponibles, es necesario empezar a identificar y conocer parámetros técnicos adicionales que van a hacer más fácil el proceso de selección de tipologías y darán respuesta a interrogantes que surgen durante el diseño.

En ese orden de ideas, luego de identificar los lugares y las magnitudes de inundación que se han presentado en el territorio, se requiere empezar a conocer el comportamiento del flujo y de los procesos de escorrentía, infiltración y evaporación antes de la implementación de los SUDS, así como los puntos de descarga.

En la fase previa al diseño, también es importante conocer las condiciones básicas de calidad del agua de escorrentía, calidad de agua de cuerpos receptores, caudales e información de biodiversidad. Posteriormente, luego de la prefactibilidad es requerida información más detallada como topografía, batimetría, localización del proyecto, estudios de suelos, estudio hidrológico, estudios ambientales y todos los demás que se describen en el documento “Lineamientos para el diseño de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SUDS”, expedido por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018).

Para la implementación en zonas de desarrollo de proyectos nuevos, se debe propender por la articulación de los SUDS con los demás elementos del proyecto, de forma tal que se evite que la infraestructura de drenaje funcione de forma aislada a los factores de cambio de las condiciones naturales de la zona.

Adicionalmente, tal como lo establece el Artículo 44 de la Resolución 799 de 2021, mediante la cual se modifica el artículo 153 de la Resolución 0330 de 2017,

(…) para determinar la tipología de SUDS más adecuada se debe evaluar, como mínimo, lo siguiente:

1. *Condiciones topográficas y geotécnicas de la zona en la que se va a implementar el sistema.*
2. *Condiciones urbanísticas de la zona, normativa, restricciones y necesidades ambientales.*
3. *Configuración y análisis hidrológico de las cuencas de drenaje, identificando las condiciones de frontera. Es necesario desarrollar una evaluación de las condiciones de escorrentía antes y después del proyecto versus la capacidad de flujo de los cuerpos receptores ya sea el sistema de alcantarillado de drenaje o cuerpos naturales.*
4. *Capacidad de infiltración del suelo (dependiendo de la tipología a evaluar)*

BORRADOR

5. *Como parte del análisis de viabilidad, se debe tener en cuenta aspectos relacionados con el costo de construcción del sistema, los requerimientos y periodicidad de mantenimiento de los SUDS.*
6. *Análisis de las responsabilidades del diseño, construcción operación y mantenimiento de los SUDS.*

De ser considerada viable la implementación de SUDS, el diseño de estos sistemas debe orientarse a reducir el caudal pico del hidrograma de la creciente de diseño, a fin de evitar sobrecargas de los sistemas pluviales y posteriores inundaciones, el porcentaje de reducción del pico del hidrograma no debe ser menor al 30%.

Cuando se utilicen estructuras de retención, se deben implementar sistemas de cribado y sedimentación, prever la facilidad del mantenimiento manual o mecánico, y la accesibilidad y medios para transportar los desechos a los sitios finales de disposición, de acuerdo con su composición y la normatividad vigente.

Una vez identificadas las posibles alternativas de tipologías de SUDS, se debe evaluar cada una de ellas desde los aspectos: económico, técnico, constructivo, operacional, social y ambiental a través de una matriz de selección o del método escogido, que permitan analizar la viabilidad de cada una de las soluciones planteadas." (…)

3.8 Diseño Hidráulico

El diseño de alguna tipología de SUDS debe contemplar desde el funcionamiento hidráulico hasta la estabilidad de la infraestructura desde el punto de vista geotécnico y estructural. Específicamente desde el componente hidráulico, se debe determinar mediante metodologías de cálculo la cantidad de agua provenientes de procesos de precipitaciones que ingresaría a las estructuras a implementar, lo que se estima como caudal de diseño.

Las estructuras de SUDS que se diseñan a partir de los caudales extremos de escorrentía, requieren de los caudales pico asociados a un periodo de retorno específico. Estos caudales deberán ser definidos usando las curvas vigentes de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) disponibles o construidas para la zona de implementación.

- Articulación con sistemas de alcantarillado existentes
- Viabilidad de implementación de SUDS (criterios y consideraciones urbanísticas-articulación con el entorno)

La implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible debe contemplar las estrategias de diseño y elementos del espacio público que garantice la reducción del riesgo por fenómenos de altas precipitaciones que pueden generar inundaciones afectando las zonas urbanas y también la calidad del agua, de igual manera protegiendo los sistemas de alcantarillado combinados que pueden afectar de manera directa los cuerpos de agua receptores con altas concentraciones de contaminantes; finalmente es importante conservar el valor estético de las áreas desarrolladas y mantener los hábitats para la vida silvestre en las zonas urbanas y las oportunidades para la biodiversidad (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2017).

Los SUDS deben conservar unos criterios de diseño con el propósito de proteger la salud y la seguridad pública, y garantizar un adecuado medio ambiente bajo los siguientes principios:

1. Nivel de Servicio:

BORRADOR

- Debería proporcionarse protección contra inundaciones a un nivel mínimo de servicio
- Se deben abordar los riesgos para las personas y los beneficios de servicios (incluida la seguridad)

2. Sustentabilidad

- Los sistemas de drenaje deben apuntar a replicar los procesos naturales de lluvia-escorrentía que ocurren en el sitio, antes del desarrollo
- El tratamiento de la calidad del agua debe minimizar el impacto ambiental
- Se deben maximizar los beneficios ecológicos
- Los sistemas de drenaje deben apuntar a utilizar recursos naturales que puedan ser reutilizados y sean energéticamente eficientes en términos de productos constituyentes, procesos de construcción y actividades de operación y mantenimiento

3. Costo

- Análisis del costo de vida total del sistema debe demostrar la rentabilidad (a través de la evaluación de opciones) y la viabilidad financiera (a través de la seguridad de la financiación a largo plazo)

3.9 Estructuras complementarias o anexas a los SUDS

Para un mejor funcionamiento, facilidad en la operación y mantenimiento de SUDS se pueden implementar estructuras o elementos complementarios que acompañan la tipología seleccionada.

En algunos casos, estructuras de pretratamiento, almacenamiento, franjas filtrantes en césped, enrocados, barreras de detención o elementos más sofisticados como distribuidores de flujo permanente, pueden contribuir a un mejor desempeño de los SUDS colaborando en la remoción de contaminantes, disminuyendo las velocidades de flujo que promueven la erosión, aumentando la eficiencia y controlando los flujos en el manejo de la escorrentía.

Por ejemplo, los bordillos de cunetas y andenes son estructuras a la entrada que permite dirigir la escorrentía a una tipología de SUDS. Consisten en una abertura en los bordillos que intercepta el flujo de escorrentía de manera perpendicular (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a; Dylewski, Brown, LeBleu, & Eve F. Brantley, 2014). Pueden emplearse varias entradas para un mismo sistema con el objetivo de distribuir la escorrentía al interior de este. Estas estructuras deben usarse en conjunto con enrocados (i.e., capa de piedra sobre un geotextil) para reducir la velocidad de la escorrentía y controlar la erosión en este punto. A su vez, el enrocado funciona como una trampa de sedimentos (Centro de Investi-gaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Uni-versidad de los Andes, 2017a). De acuerdo con las características del área y la tipología pue-den implementarse distintos tipos de vados: (a) vado con rejilla, (b) vado con bordillos laterales, y (c) vado estándar (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a). Manual de construcción sostenible del Distrito de Santiago de Cali)

Otra estructura de tipo complementario son las franjas filtrantes. Estas corresponden a franjas con césped o algún tipo de vegetación densa y baja pendiente, promueven procesos de sedimentación, filtración e infiltración y suelen emplearse para el pretratamiento de la escorrentía antes de dirigirla a cunetas vegetadas, jardines de biorretención o zanjas

BORRADOR

filtrantes (Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Universidad de los Andes, 2017a; CIRIA Norfolk Country Council, 2015). Se recomiendan para el manejo de flujo no concentrado por lo que la longitud de la franja debe ser igual a la del área de captación. Si no se lleva a cabo infiltración se debe incluir una tubería perforada cerca de la base de la zanja para recoger y conducir la escorrentía. Así mismo, una tubería perforada, localizada cerca de la superficie permite el manejo de eventos mayores a los de diseño. (Manual de Construcción Sostenible del Distrito de Santiago de Cali)

3.10 Limitaciones para la implementación de SUDS

Pese a que los SUDS se han implementado ampliamente tanto en áreas urbanas nuevas como existentes puesto que se han convertido en una alternativa viable a la infraestructura de alcantarillado tradicional, no implica que los SUDS siempre funcionen adecuadamente (Marlow, y otros, 2013) Vemos al menos tres problemas que se atribuyen al mal funcionamiento de SUDS:

Primero, los SUDS hacen uso de tecnologías diferentes a las soluciones convencionales y, por lo tanto, también requieren diferentes conocimientos y habilidades para su implementación y operación (Brown & Farrelly, 2009). Este cambio a nuevas tecnologías, con las que los profesionales aún no están familiarizados, aumenta potencialmente el riesgo de fracaso.

En segundo lugar, los SUDS inevitablemente requieren el cruce de los límites del sistema convencional, y solo hay un conocimiento limitado de lo que sucede en las interfaces entre los sistemas previamente desconectados (Veeneman, 2004) A diferencia de las tuberías de alcantarillado, los SUDS a menudo se ubican por encima del suelo y se extienden tanto a espacios públicos como privados, como calles, parques y jardines. SUDS, por lo tanto, establece diferentes requisitos para otros sistemas urbanos, que no han sido diseñados para funciones de drenaje previamente (Hoang & Fenner, 2016). Si bien los dominios a cargo de cada uno de los otros sistemas urbanos tienen mucho conocimiento sobre su propio sistema, solo hay un conocimiento limitado de lo que sucede en las interfaces entre estos sistemas, lo que aumenta el riesgo de falla (Nieuwenhuis, Cuppen, Langeveld, & De Bruijn, 2021).

Por último, la complejidad relacional introducida con SUDS aumenta la probabilidad de que funcione mal (Fratini, Geldof, Kluck, & Mikkelsen, 2012). En comparación con la toma de decisiones sobre soluciones de drenaje convencionales, la toma de decisiones sobre SUDS inevitablemente involucra a actores de múltiples disciplinas (Hoang & Fenner, 2016); (Cotterill & Bracken, 2020). Todos estos actores tienen sus propias responsabilidades e intereses, así como sus lógicas de sistema. Esto hace que la toma de decisiones sea menos sencilla, complica la comunicación y fomenta malentendidos. En este sentido, las posibles dificultades en el funcionamiento de SUDS no es solo un problema técnico, sino que también se relaciona con aspectos socio-institucionales: los diferentes actores involucrados y las instituciones que dirigen las recepciones y acciones de estos actores.

3.11 Aspectos a tener en cuenta en la construcción de SUDS

Mediante una recopilación de las acciones que se deben adelantar para llevar a cabo un correcto proceso de construcción, se encuentran las 9 principales recomendaciones. A continuación, una breve explicación de cada una:

1. Planeación y programación: Es necesario realizar el levantamiento de la línea base, un inventario de las redes y el sistema completo de drenaje existente, así como

BORRADOR

establecer el orden de ejecución de las actividades de la construcción con tiempos y plan de manejo.

2. Plan de manejo de contaminantes y control de sedimentos: Para los contaminantes especiales, debe realizarse un plan de manejo individual. Por su parte, para lo que tiene que ver con sedimentos de la construcción, las aguas de escorrentía tienen que ser objeto de un tratamiento previo a ser descargadas. En principio una sedimentación, decantación sería suficiente.
3. Plan de accesos y zonas de almacenamiento: Cuando se utilizan materiales granulares y estratos permeables, deben planearse las rutas correspondientes de tal manera que se evite ejercer cargas altas sobre ellos. De igual manera con los lugares donde se almacenan los materiales.
4. Habilidades y competencias requeridas para garantizar las buenas prácticas: Se recomienda que todo el personal que labora en la construcción reciba capacitación de que es y en que consiste el funcionamiento. De esta manera se pueden mitigar riesgos de errores en la construcción y posterior funcionamiento.
5. Sistemas de protección contra la infiltración: Consiste en evitar que se generen procesos de infiltración durante la construcción. Para esto deben protegerse excavaciones y taludes.
6. Paisajismo: Corresponde a un factor importante que debe contemplarse en la fase constructiva, para que la estética de las obras sea favorable al objeto de los SUDS. Se recomienda tener cuidado con la siembra de árboles y el manejo de la vegetación.
7. Control de erosiones: Ya se ha hablado anteriormente de este aspecto, sin embargo, el llamado es a contemplar siempre el uso de estructuras que disipen la energía y que protejan el terreno de erosión por cuenta de corrientes de agua con velocidades y caudales muy altos.
8. Construcción. Listas de chequeo e inspección: Durante la construcción se deben realizar ensayos y chequeos del correcto funcionamiento del sistema. Por su parte, es necesaria la elaboración de planos “As built”.
9. Especificaciones de materiales y presupuesto: El diseño debe ser tan detallado que quien construya los SUDS pueda dejar las especificaciones exactas de los materiales utilizados y estructuras instaladas. Los presupuestos por su parte son un insumo indispensable para validad la factibilidad en la ejecución.

3.12 Actividades de construcción, operación y mantenimiento de SUDS

Frente a las actividades de mantenimiento, el Manual de SUDS de CIRIA (Woods Ballard et al., 2015), expone que se debe tener en cuenta, según el diseño implementado, el contexto del paisaje y los requisitos de drenaje, generalmente, requiere un mantenimiento más intenso si el SUDS está considerando el aprovechamiento para actividades recreativas o de confort que para alcanzar la cantidad y calidad de agua diseñadas. En el caso de infraestructura de alcantarillado, el mantenimiento está orientado a garantizar los requisitos técnicos para su funcionamiento. La facilidad de acceso a las zonas de almacenamiento son consideraciones necesarias para el mantenimiento de los sistemas.

Adicionalmente, es importante identificar la responsabilidad frente al mantenimiento de cada uno de los componentes, Woods Ballard et al. (2015) recomiendan que el diseñador provea el manual de funcionamiento y mantenimiento de fácil aplicación que incluya a todos los responsables (propietario, arrendatario, autoridad local, prestador del servicio de alcantarillado, etc.); el manual debería también incorporar detalles sobre los conceptos de

BORRADOR

diseño y criterios de rendimiento del sistema, así como la forma de garantizar que las obras realizadas no comprometan estos aspectos. En la misma línea se mencionan tres tipos de mantenimiento: regular, ocasional y correctivo.

Las actividades regulares corresponden a aquellas como inspecciones rutinarias de las estructuras de entrada y salida, revisiones para verificar si se presentan malos olores, muerte de vegetación, exceso de sedimentos, etc. Las actividades ocasionales son aquellas que se realizan para extender la vida útil de los SUDS, como por ejemplo remover los sedimentos de todos los componentes y realizar los reemplazos que se requieran y las actividades correctivas hacen referencia a las intervenciones para rehabilitar componentes en los que se evidencia falla o daño, como por ejemplo reemplazo de filtros, geotextiles y gravas filtrantes, así como reparaciones de estructura.

De una correcta operación y mantenimiento, depende el funcionamiento y duración de los SUDS dentro del manejo de las aguas de escorrentía y la mitigación a los eventos de inundación.

Si bien los manuales de operación y mantenimiento deberán ser cumplidos satisfactoriamente para que se garantice la sostenibilidad de las inversiones, es fundamental que, durante la etapa de planificación, se hayan identificado claramente los responsables, es decir, los recursos humanos y económicos necesarios para la construcción y el mantenimiento de estos sistemas.

Con el fin de facilitar la asignación de responsabilidades, es útil primero identificar las actividades que requieren ser ejecutadas. Posteriormente, y a partir de la identificación de los actores involucrados en el manejo sostenible de aguas lluvias, se tendría un panorama más claro sobre quién debe asumir las responsabilidades.

A continuación, y de manera general, se presenta un resumen de las principales actividades de construcción y mantenimiento de los SUDS en las escalas de urbanización o barrio y ciudad:

Tabla 3. Actividades de construcción y mantenimiento de SUDS a escala de urbanización o barrio y ciudad

Tipos de SUDS	Construcción	Mantenimiento
Alcorques inundables	• Construcción de contenedor • Instalación de sustrato • Construcción del sistema de drenaje • Plantación de arbolado	• Mantenimiento al arbolado • Mantenimiento al sistema de drenaje y entrega al alcantarillado o a los cuerpos de agua
Humedales	• Movimiento de tierras • Adecuación de taludes • Construcción de estructuras de entrada como pretratamiento o disipadores de energía	• Recolección de residuos sólidos • Mantenimiento de zonas verdes, separadores viales, etc. • Mantenimiento de las estructuras de entrega al alcantarillado o a los cuerpos de agua
Cunetas verdes		
Cuencas secas		

BORRADOR

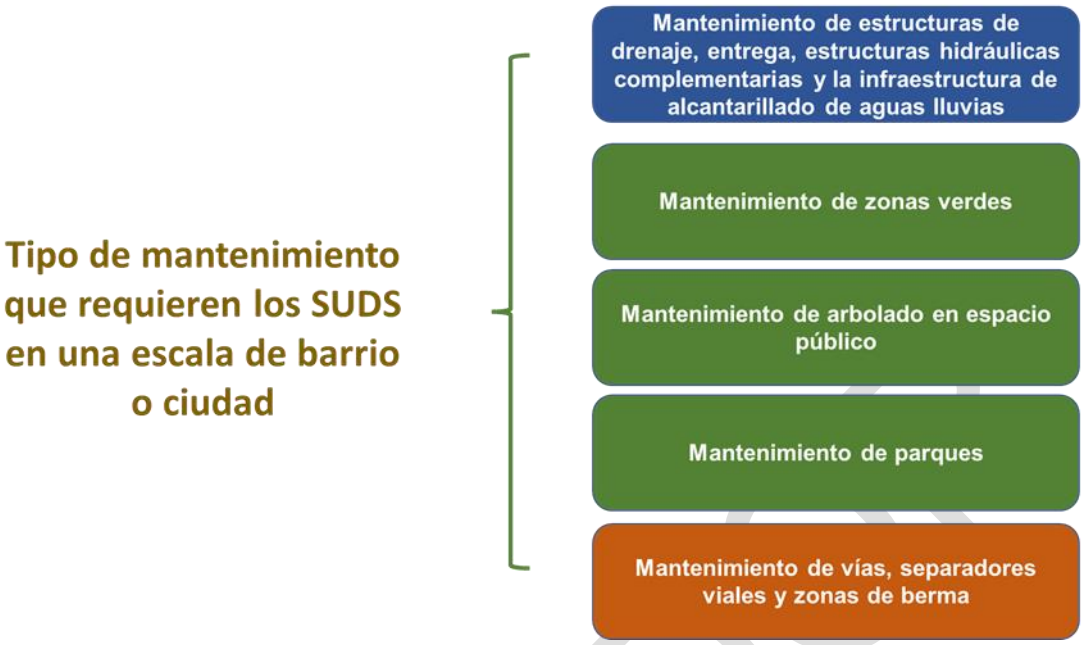
Tipos de SUDS	Construcción	Mantenimiento
Zonas inundables Zanjas de infiltración	• Estructuras de conexión con el alcantarillado existente o descarga a cuerpos de agua • Coberturas vegetales • Instalación de geomembranas	• Reacondicionamiento de estructuras de infiltración • Reparación y rehabilitación de estructuras
Pavimentos permeables o porosos	• Instalación de la superficie permeable (dependiendo del uso o tipo de tráfico) • Instalación de la capa de sub-base de la superficie permeable • Instalación de capa filtrante • Construcción de estructuras de pretratamiento Instalación de geomembranas • Construcción de sistema de drenaje • Instalación de tanque o reservorio (acuaceldas)	• Mantenimiento de estructuras complementarias • Lavado a presión de la superficie permeable • Reacondicionamiento de estructuras de infiltración • Reparación y rehabilitación de estructuras

Fuente: Elaboración propia

A partir de las actividades anteriores, en la siguiente ilustración se resume el tipo de actividades de mantenimiento según el sector al cual les correspondería, siendo el azul el sector de agua y saneamiento básico, el verde el sector vivienda y las entidades a cargo del espacio público a nivel nación y en los entes territoriales y, el color naranja que corresponde al sector de vías.

Ilustración 14. Actividades de mantenimiento de SUDS según escala y sector

BORRADOR



Fuente: Elaboración propia

4. IDENTIFICACIÓN DE ACTORES INVOLUCRADOS

La multifuncionalidad de SUDS implica que la toma de decisiones sobre el diseño, implementación y mantenimiento de estos sistemas involucre a actores de diferentes disciplinas. Todos estos actores tienen sus propias responsabilidades e intereses y no siempre son naturalmente conscientes del vínculo con la gestión sostenible del agua que se realiza a través de los SUDS. (Bilta, Nieuwenhuis, Ven, & Langeveld, 2021).

Un esquema SUDS bien mantenido puede percibirse como un servicio agradable que se suma al atractivo de un área para el comprador de una casa y agrega valor a las nuevas propiedades. Además, el sector vivienda puede usar el esquema para demostrar que está actuando de acuerdo con su "Política verde" para influir en las partes interesadas, como sus posibles inversores, posibles compradores de viviendas. (Kennedy, Lewi, E., & Wong, 2007)

Los SUDS implican cambios en los esquemas de gobernanza del agua existentes. Para lograr una planificación, diseño, construcción y operación efectivos de los SUDS, es necesario involucrar a una serie de partes interesadas. Vale la pena señalar que existen tres sistemas de gobernanza ideales para gestionar las aguas pluviales según Van de Meene, et al.: jerárquico, de mercado y red.

La gobernanza jerárquica se refiere al primer tipo de gobernanza para la gestión de la escorrentía urbana, caracterizada por autoridades centralizadas y siguiendo una estructura muy vertical con poca participación de los interesados. La gobernanza de mercado consiste en aplicar modelos de gestión del sector privado en los servicios que existían anteriormente. Durante las últimas décadas, ha habido un cambio en los esquemas de gobernanza del

BORRADOR

agua a medida que la jerarquía histórica de gobernanza cambió hacia un enfoque orientado al mercado (Carriquiry, Sauri, & March, 2020).

Las realidades que conviven con los SUDS merecen un sistema de gobernanza híbrido, que consiste en una mezcla de enfoques de red y jerárquicos con instrumentos de gobernanza de mercado. Los sistemas de gobernanza híbridos toman del enfoque jerárquico su marco administrativo, liderazgo político y autoridad; del enfoque de red la flexibilidad de implementación que proporciona estrategias alternativas, como la colaboración y la interacción interdisciplinaria; y desde el enfoque de gobernanza de mercado su eficiencia en el uso de recursos, incentivos y estímulos para lograr resultado en la competencia de la industria. (Carriquiry, Sauri, & March, 2020).

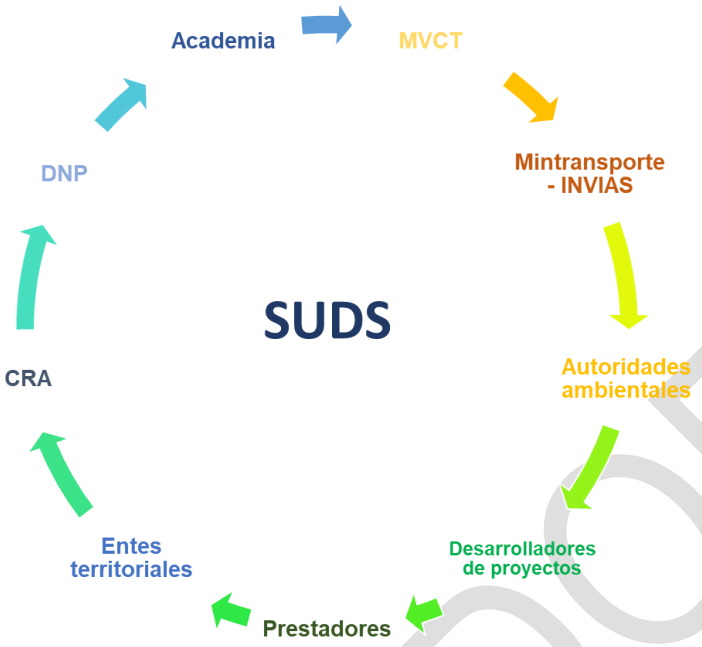
En el contexto de SUDS como medida de adaptación al cambio climático, es importante reconocer que la toma de decisiones en la gestión del riesgo de inundación generalmente se ha implementado a través de un enfoque de arriba hacia abajo sin la participación suficiente de las partes interesadas. Esto se ha atribuido a bloqueos en la implementación de las medidas novedosas propuestas (Almoradie, Cortes, & & Jonoski, 2015). En cambio, la gestión del riesgo de inundación como un problema complejo y dinámico requiere formas innovadoras de involucrarse con una amplia gama de partes interesadas locales (Maskrey, Priest, & Mount, 2018)

En el ámbito aplicado de la planificación colaborativa o de partes interesadas, donde una amplia variedad de esas partes enmarca problemas compartidos y discuten soluciones factibles, la clave es que las entidades gubernamentales participen, pero no dominen la deliberación. (Vilcan & Potter, 2019)

Entre los actores que deben participar en la planificación e implementación de SUDS, se incluye el gobierno, las empresas de servicios, los usuarios del agua, las asociaciones comunitarias, la academia, las ONG, las instituciones de investigación, los medios de comunicación y los inversionistas. Ninguno de estos interesados es completamente nuevo en la gestión de aguas pluviales urbanas, pero las relaciones entre ellos cambian y sus responsabilidades también cambian (Carriquiry, Sauri, & March, 2020). En el contexto colombiano, los principales actores involucrados se resumen en el esquema siguiente.

BORRADOR

Ilustración 15. Actores involucrados en la planificación, diseño, construcción y mantenimiento de SUDS



Fuente: Elaboración propia

En la tabla a continuación, se presentan las actividades de planificación de SUDS, en las cuales estarían involucrados cada uno de los actores identificados.

Tabla 4. Actividades según actores involucrados

Entidad Involucrada	Actividades
Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio – MVCT	• Desarrollar el marco normativo y las políticas públicas, estableciendo los lineamientos técnicos, requisitos y estándares para el desarrollo de las infraestructuras asociadas a SUDS de manera articulada con el alcantarillado pluvial existente • Establecer lineamientos de planificación de acuerdo con los responsables (del sector), y participar de la identificación de incentivos necesarios que impulsen el desarrollo de SUDS. (No solo relacionado al marco tarifario)
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS y autoridades ambientales	• Conceptualizar los SUDS dentro de la normatividad ambiental nacional estableciendo los mecanismos de coordinación para la planeación, inversión, operación y mantenimiento, en articulación con las Corporaciones Autónomas Regionales • Identificar los incentivos asociados a la gestión del cambio climático con la implementación de proyectos relacionados con SUDS. • Articulación entre los Planes Departamentales del Agua PDA y las CAR
Departamento Nacional de Planeación - DNP	• Determinación de los lineamientos de política de los SUDS dentro del Plan Nacional de Desarrollo al igual que la coordinación y los mecanismos de planeación de los diferentes sectores

BORRADOR

Entidad Involucrada	Actividades
Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico - CRA	• Realizar estudios relacionados con estructuras de costos y metodologías tarifarias para el desarrollo y la inclusión de SUDS dentro de los esquemas tarifarios
Entidades Territoriales	• Incorporar el desarrollo de SUDS dentro de los Planes de Desarrollo Municipal, los POT y los Planes asociados a la Gestión del Cambio Climático de manera articulada al igual que las fuentes de financiación • Definición de responsables de implementación, operación y mantenimiento de los SUDS dentro de la elaboración de los instrumentos de planificación y la normatividad asociada • Establecer los acuerdos necesarios para garantizar el correcto funcionamiento de la infraestructura junto con los demás actores locales como son prestador del servicio de aseo, el responsable de las vías urbanas u otro responsable específico para realizar actividad
Empresas prestadoras del servicio público de alcantarillado*	• Incorporar el desarrollo de SUDS dentro de los Planes Maestros de alcantarillado • Desarrollar los lineamientos sobre los cuales los prestadores van a recibir la infraestructura ubicada en zonas privadas
Desarrolladores de proyectos	• Implementar el desarrollo de SUDS y coordinar los mecanismos de planeación, inversión, operación y mantenimiento de acuerdo con la tipología seleccionada, la zona determinada (si es pública o privada) y el sector involucrado; teniendo en cuenta que si se realiza en una zona privada el mantenimiento le corresponde al propietario a menos que se realicen acuerdos con la empresa prestadora del servicio público de alcantarillado
Academia	• Desarrollar investigación sobre gestión sostenible de aguas lluvias • Desarrollar procesos de transferencia de conocimiento • Apoyar el proceso de formulación de política

*Cuando por los términos del contrato de operación, sean estas las encargadas del alcantarillado pluvial del municipio o Distrito.

5. COSTO BENEFICIO Y POSIBLES FUENTES DE FINANCIACIÓN DE SUDS

Como se ha señalado en los capítulos anteriores la implementación de los SUDS puede ofrecer múltiples beneficios, máxime cuando se realizan esfuerzos para la gestión de la escorrentía de aguas superficiales. Sin embargo, para lograr una eficiencia de las inversiones es importante que no solo se tenga en cuenta la estructuración de los diseños, sino, además de un compromiso de los *stakeholders* o interesados en el desarrollo del proyecto y de una exhaustiva evaluación que permita una correcta toma de decisiones.

En ese sentido, una herramienta que puede ser muy útil para el análisis y selección de la alternativa más viable o eficiente es el análisis de costos y beneficios asociados al proyecto que se pretenda desarrollar, ya que a través de este indicador es posible cuantificar la relación entre los costos de la ejecución de las alternativas para el manejo de las aguas lluvias y los beneficios obtenidos para la mitigación del riesgo de inundaciones y descargas a los cuerpos hídricos.

Esta herramienta superpone un gran reto, ya que dentro del ejercicio es necesario minimizar el grado de incertidumbre sobre las variables y por ende es de gran importancia realizar un

BORRADOR

ejercicio muy detallado para lograr monetizar los beneficios que se podrían obtener con la implementación de los SUDS, además que podría llegar a facilitar la toma de decisiones sobre el tipo de solución más adecuada que se debe implementar.

5.1 Análisis de Costo - Beneficio

Cuantificar los costos asociados al proyecto o las alternativas objeto de análisis para el manejo de aguas lluvias, es una labor relativamente más sencilla que el ejercicio de cuantificar los beneficios o el impacto monetario que se obtendrán con la implementación del esquema previsto.

Análisis de costos:

Ahora bien, para iniciar con el costeo es importante que se tenga presente que en virtud de la alternativa que se esté evaluando, es factible que los costos no estén asumidos únicamente por el desarrollador del proyecto y que estos puedan ser compartidos con los demás stakeholders; por ejemplo, existen prototipos en que los costos podrán ser cofinanciados entre el ente territorial, la empresa prestadora del servicio público de alcantarillado, una autoridad ambiental u otro interesado.

Así las cosas, una vez contemplado los escenarios que se podrían aplicar en el territorio y previo al análisis integral de las alternativas en las que se deben incluir aspectos tales como: (técnicos, ambientales, sociales, institucionales y financieros), se debe realizar el costeo de las mismas, como un elemento relevante de decisión, en el que de manera general se deben relacionar los siguientes costos: i) inversión o capital de trabajo; ii) administración, operación y mantenimiento, iii) total del esquema durante su vida útil.

Se sugiere, que para esta etapa de análisis de las alternativas se utilicen precios de referencia del mercado y posteriormente con aquellas que resulten viables, se profundice el análisis mediante el costeo con precios unitarios. No obstante, es importante que se detallen los gastos de capital (CAPEX) para evitar una subvaloración de la inversión.

Se puntualiza en la necesidad de tener especial atención en el valor de la tierra, que en las alternativas que se requieren para la implementación de SUDS suelen ser subestimados por el evaluador y este aspecto tiene un impacto considerable en los precios finales.

Para el análisis y consolidación, se recomienda construir una matriz que permita identificar fácilmente como mínimo los siguientes aspectos:

- Descripción de las alternativas
- Tipologías que conforman la alternativa
- Cantidad (obras requeridas por tipología)
- Valor unitario
- Valor Total por tipología o construcción
- Valor total de cada alternativa.

Por otra parte, para la estimación de los costos de administración, operación y mantenimiento de los sistemas, se hace necesario identificar y establecer la estructura operativa y las actividades que serán necesarias para el funcionamiento y a su vez garantizar su sostenibilidad durante su vida útil. En ese orden de ideas, en este punto también se recomienda la construcción de una matriz que contenga como mínimo los siguientes elementos:

- Item
- Descripción

BORRADOR

- Unidad de medida (periodicidad del costo)
- Cantidad
- Costo unitario
- Factor prestacional (para el caso de mano de obra y tipo de vinculación)
- Costo total por item
- Total costo mensual
- Total costo Anual

Con base en la estimación de los costos de administración, operación y mantenimiento, es posible identificar la estructura institucional requerida gasto operativo (OPEX) y con ello establecer una posible fuente de financiación para sufragar este tipo costos.

Finalmente, se recomienda establecer el costo total en función del plazo del proyecto o de la mayor vida útil de las alternativas (en este último caso y por dar un ejemplo, inversiones como lo son los tanques de agua lluvia que tienen una vida útil más corta, el análisis debe incluir los costos de reposición). Lo anterior, permite incluir los OPEX requeridos a largo plazo.

***Análisis de beneficios*:**

El siguiente paso, consiste en el de lograr estimar los beneficios frente a los cuales se comparará las inversiones, los cuales fundamentalmente están relacionados con recursos en: i) ahorro en atención de emergencias, ii) disminución del riesgo de inundaciones iii) mejora de las condiciones de vida, iv) valorización de los inmuebles y propiedades y v) mejora del entorno y percepción de seguridad.

Para el cálculo de i y ii, es necesario realizar un estudio geográfico y meteorológico de las de las áreas donde se pretende implementar las alternativas para el manejo de aguas lluvias, con el fin de realizar la evaluación económica del riesgo sobre posibles inundaciones, en este punto vale la pena relacionar que existe literatura que puede apoyar el proceso de análisis de los beneficios, como lo son Manual multicolor (MCM) (Penning-Rowsell et al., 2014) y la Guía de evaluación de la gestión del riesgo de inundaciones y erosión costera (Agencia de Medio Ambiente, 2010).

No obstante, la evaluación económica de los beneficios debe tener una metodología en la que por menos se ejecuten las siguientes actividades:

1. Identificar la infraestructura vulnerable a un evento disruptivo
2. Utilizar la información disponible para estimar las pérdidas esperadas por ocurrencia de una inundación
3. Calcular mediante escenarios los daños anuales promedio (DAP) de las inundaciones
4. Definir los efectos de las alternativas para el manejo de aguas lluvias, y recalcular el modelo para estimar el impacto económico con su implementación con base a los daños anuales promedio (DAP).
5. Analizar la diferencia entre en el escenario inicial DAP y los DAP de las alternativas propuestas.

El valor resultante en el paso 5, constituye el valor monetizado de los beneficios que se devengarían en promedio cada año con la implementación de una alternativa para el manejo de las aguas lluvias.

En complemento a lo anterior, a continuación, se mencionan algunos de los rubros que podrán ser tenidos en cuenta para el cálculo de los beneficios relacionados con los costos

BORRADOR

derivados por inundaciones y atención de emergencias: i) reasentamientos, ii) albergues temporales, iii) daño a la infraestructura de la entidad territorial iv) pérdida de enseres.

En este punto vale la pena resaltar, que cuando se realiza la comparación entre alternativas SUDS e inclusive con soluciones convencionales o mixtas, es fundamental que el evaluador propenda por realizar comparaciones de elementos similares. Por mencionar un ejemplo, tanto la cantidad, como la calidad del agua drenada o un menor riesgo de inundación deben ser estimados para cada una de las opciones en la toma de decisiones.

Así mismo, es importante resaltar la importancia que dentro del análisis se tenga en cuenta que para algunas de las alternativas de SUDS que contienen componentes de vegetación, estas se pueden realizar mediante etapas o que pueden requerir periodos de tiempo para alcanzar su rendimiento máximo. Razón por la cual es importante que dentro de la evaluación económica se consideren estas variables para la estimación de los beneficios en el horizonte de planeación del proyecto.

Como se mencionó anteriormente es necesario que se realice una evaluación más amplia sobre los beneficios que pueden otorgar las alternativas con implementación de SUDS, esto es la estimación en la mejora de las condiciones de vida, la valorización de los inmuebles y propiedades y las mejoras del entorno y percepción de seguridad.

Estudios realizados en experiencias internacionales utilizaron técnicas como disposición a pagar, disposición a aceptar, precios hedónicos, entre otros, para aproximar el valor de beneficios más amplios de SUDS como: amenidad, mejoras en la calidad del aire, biodiversidad y ecología, y mejoras en la salud, entre otros.

A partir del ejercicio de la estimación de los beneficios, también es factible que en este punto se vinculen los mismos a su financiador directo; por ejemplo, entidades descentralizadas responsables de la administración de la infraestructura vial o transporte público, autoridades ambientales, alcaldías locales, juntas de acción comunal, empresas del servicio público de alcantarillado, fundaciones e incluso los residentes del área de influencia.

En este punto, vale la pena resaltar que pueden existir varias partes interesadas que pueden ser beneficiadas mediante la implementación de SUDS, pero resulta fundamental que estos actores se identifiquen de forma temprana dentro la etapa de formulación y se lleve a cabo su adecuada participación. En la medida que se socialicen y se comprendan mejor los beneficios de SUDS es factible constituir esquemas asociativos de inversión, los cuales tienes las ventajas de que: i) puede existir más de una fuente de financiación y ii) se puede constituir una responsabilidad compartida por los costos a largo plazo.

Una vez realizado el ejercicio de cuantificar los beneficios del proyecto, se procede a realizar la comparación con los costos de inversión, operación y mantenimiento para cada una de las diferentes intervenciones potenciales previstas. Para ello, se recomienda establecer el horizonte de planeación equivalente para las alternativas teniendo en cuenta el plazo útil de las soluciones previstas, aplicar una tasa de descuento con base en las proyecciones del Ministerio de Hacienda y Crédito Público y finalmente aplicar el Valor Presente Neto (VPN) dentro del análisis en los casos que corresponda.

El análisis de costo – beneficio (B/C), también conocido como índice neto de rentabilidad se obtiene de dividir el total del valor de los beneficios netos, entre el valor de los costos totales traídos a valor presente.

De donde, si el valor resultante es mayor que (>) 1 se entiende que la alternativa es viable para su implementación y de allí, que en función de las magnitudes resultantes de la

BORRADOR

relación (B/C) que se obtengan para las diferentes alternativas, es posible determinar la alternativa óptima para su implementación.

5.2 Posibles fuentes de financiación

Como se señaló en el numeral anterior, a partir de un ejercicio juicioso de identificación de los costos y beneficios asociados a la alternativa propuesta, es posible identificar las fuentes de financiación y los actores que podrían apalancar las inversiones. En todo modo, a continuación, se describen las posibles fuentes de financiación tanto para la etapa de diseño y construcción como la de mantenimiento de los SUDS, no sin antes mencionar que de conformidad con las particularidades de cada territorio es posible que se puedan explorar algunas otras fuentes.

5.2.1 Sistema General de Participaciones (SGP) – Departamento Municipio

El SGP son recursos de la Nación que se transfieren a las entidades territoriales – departamentos, distritos y municipios por mandato de los artículos 356 y 357 de la Constitución Política de Colombia, para la financiación de los servicios a su cargo, en salud, educación, agua potable y los definidos en el Artículo 76 de la Ley 715 de 2001 (DNP, 2021).

Considerando que el numeral 2° del artículo 165 de la Ley 1753 de 2015 “Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 "Todos Por un Nuevo País", eliminó la competencia del CONPES para aprobar la distribución de los recursos del SGP descrita en el artículo 85° de la Ley 715 de 2001; a partir de la expedición de la mencionada Ley, la distribución de los recursos del SGP se realizará a través de un documento de Distribución, los cuales, para cada año, pueden ser consultados en el siguiente enlace https://www.dnp.gov.co/programas/inversiones-y-finanzas-publicas/Paginas/Sistema-General-de-Participaciones---SGP.aspx

Por su parte, para el sector de agua potable y saneamiento básico, los artículos 10 y 11 de la Ley 1176 de 2007, establecen las actividades de destinación de los recursos del SGP para financiar la prestación de los servicios públicos domiciliarios de agua potable y saneamiento básico en los departamentos y municipios, las cuales incluyen:

Para los departamentos:

- Promoción, estructuración, implementación e inversión en infraestructura de esquemas regionales de prestación de los servicios, de acuerdo con los planes regionales y/o departamentales de agua y saneamiento.
- Proyectos regionales de abastecimiento de agua para consumo humano.
- Proyectos de tratamiento y disposición final de residuos líquidos con impacto regional.
- Proyectos de tratamiento, aprovechamiento y disposición final de residuos sólidos con impacto regional.
- Pago del servicio de deuda adquirida por el departamento para financiar infraestructura del sector de agua potable y saneamiento básico, en cumplimiento de sus competencias, en el marco del Plan Departamental de Agua y Saneamiento.

Para los municipios:

BORRADOR

- Los subsidios que se otorguen a los estratos subsidiables de acuerdo con lo dispuesto en la normatividad vigente.
- Pago del servicio de la deuda originado en el financiamiento de proyectos del sector de agua potable y saneamiento básico, mediante la pignoración de los recursos asignados y demás operaciones financieras autorizadas por la ley.
- Preinversión en diseños, estudios e interventorías para proyectos del sector de agua potable y saneamiento básico.
- Formulación, implantación y acciones de fortalecimiento de esquemas organizacionales para la administración y operación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo, en las zonas urbana y rural.
- Construcción, ampliación, optimización y mejoramiento de los sistemas de acueducto y alcantarillado, e inversión para la prestación del servicio público de aseo.
- Programas de macro y micromedición.
- Programas de reducción de agua no contabilizada.
- Adquisición de los equipos requeridos para la operación de los sistemas de agua potable y saneamiento básico.
- Participación en la estructuración, implementación e inversión en infraestructura de esquemas regionales de prestación de los municipios.

5.2.2 Tarifas prestador del servicio público de alcantarillado (considerando el manejo de aguas lluvias como parte el servicio público de alcantarillado)

Las metodologías tarifarias para los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado definen los SUDS como sistemas que se utilizan en las ciudades para recolectar, reducir y transportar controladamente los flujos de escorrentía. Adicionalmente, especifican que los prestadores a su vez podrán llevar a cabo estudios de beneficio/costo para la implementación de SUDS que se enmarquen en el servicio público domiciliario de alcantarillado. La inclusión de este tipo de iniciativas en los planes de obras e inversiones estará sujeta a la entidad territorial respectiva, al cierre financiero de los proyectos y a que su relación beneficio/costo sea mayor o igual a uno (1).

5.2.3 Planes Departamentales de Agua – PDA

Conforme a lo establecido en el Decreto 1425 de 2019, cualquier proyecto que se considere un servicio público puede ser financiado a través de los PDA, en los cuales se articulan diferentes fuentes de recursos, como son:

- Recursos del Presupuesto General de la Nación.
- Recursos del Sistema General de Participaciones.
- Recursos del Sistema General de Regalías.
- Recursos de las Autoridades Ambientales.
- Recursos propios o de libre destinación de las entidades territoriales o de cualquier otro participante de los Planes Departamentales para el Manejo Empresarial de los Servicios de Agua y Saneamiento (PDA).

BORRADOR

- Recursos de inversión de los prestadores que quieran ejecutar a través de los Planes Departamentales para el Manejo Empresarial de los Servicios de Agua y Saneamiento (PDA).
- Recursos del sector privado que se incorporen a la estructuración y ejecución de proyectos en el marco de asociaciones público-privadas.
- Recursos de cooperación internacional.
- Cualquier otra fuente de recursos que pueda o deba aportarse al desarrollo de los Planes Departamentales para el Manejo Empresarial de los Servicios de Agua y Saneamiento (PDA).

5.2.4 Sistema General de Regalías

Es el conjunto de ingresos, asignaciones, órganos, procedimientos y regulaciones, que garantiza el uso eficiente y la destinación de los ingresos provenientes de la explotación de los recursos naturales no renovables, conforme con lo establecido en el artículo 360 y 361 de la Constitución Política, la Ley 2056 de 30 de septiembre de 2020 y tiene por objeto determinar la distribución, objetivos, fines, administración, ejecución, control, el uso eficiente y la destinación de los ingresos provenientes de la explotación de dichos recursos naturales no renovables precisando las condiciones de participación de sus beneficiarios (SGR, 2021).

Aunque no se describe específicamente la destinación de este tipo de recursos para SUDS, es importante tener en cuenta que el Artículo 35 de la mencionada Ley “Priorización y aprobación de los proyectos de inversión de la Asignación para la Inversión Regional”, indica que la priorización y aprobación de los proyectos de inversión de la Asignación para la Inversión Regional en cabeza de los departamentos estará a cargo de los respectivos departamentos, teniendo en cuenta, entre otros, criterios de alto Impacto regional, social, económico, ambiental, agua, saneamiento básico, electrificación, gasificación por redes, educación, conectividad a internet a hogares estrato 1 y 2, zonas rurales, infraestructura educativa, hospitalaria y vial y la generación de empleo formal.

5.2.5 Créditos tasa compensada

Las tasas compensadas son recursos otorgados por la Nación, para ejecutar proyectos de impacto social, bajo las condiciones económicas más favorables del mercado. Con este mecanismo, las entidades territoriales pueden optimizar sus inversiones y disponer de mayor capacidad financiera para ejecutar nuevos proyectos que mejoren la calidad de vida de sus habitantes. En el marco del Decreto 1300 del 11 de julio de 2014, se implementa la línea de redescuento con tasa compensada de Agua y Saneamiento Básico con el fin de financiar todas las inversiones relacionadas con el sector, o aquellos nuevos planes, programas o políticas que se implementen por el Gobierno nacional[3].

Para las líneas de crédito con tasa compensada el Ministerio de Hacienda y Crédito Público destina anualmente en el presupuesto general de la Nación, los recursos necesarios para subsidiar a la Financiera de Desarrollo Territorial la diferencia entre la tasa de captación promedio de FINDETER, más los costos en que ésta incurra durante la vigencia de los

BORRADOR

redescuentos otorgados, así como la tasa de redescuento que le ofrece a los intermediarios (BID, 2020).

Decreto 1300 de 2014 - Por el cual se regula una línea de redescuento con tasa compensada de la Financiera de Desarrollo Territorial S. A. (Findeter), para el Financiamiento de Programas y Proyectos en el Sector de Agua y Saneamiento Básico
Que constituye un propósito gubernamental e institucional el lograr el mejoramiento de las condiciones económicas y la reducción de los costos financieros de los Entes Territoriales que adquirieron créditos con el Patrimonio Autónomo - Grupo Financiero de Infraestructura Ltda., administrado por Alianza Fiduciaria.

Que una de las estrategias del Gobierno nacional para cumplir este objetivo, está representada en la estructuración de líneas de crédito con tasa compensada a través de la Financiera de Desarrollo Territorial S. A. - (Findeter), que permita la sustitución de los pasivos contraídos con dicho Fideicomiso por los municipios con categoría 6, siempre y cuando la deuda no supere los $10.000.000.000.

ARTÍCULO 1°. La Financiera de Desarrollo Territorial S. A. - (Findeter), de conformidad con lo establecido en el parágrafo del literal b) del numeral 3 del artículo 270 del Estatuto Orgánico del Sistema Financiero y en relación con las actividades de que tratan los literales a) y l) del numeral 2 del artículo 268 del mencionado Estatuto, podrá ofrecer una línea de redescuento con tasa compensada destinada al Financiamiento de todas las inversiones relacionadas con el sector de Agua y Saneamiento Básico, o aquellos nuevos planes, programas o políticas que se implementen por el Gobierno nacional en el Sector de Agua y Saneamiento Básico, así como para la sustitución de la deuda contraída por los municipios categoría 6 con el Patrimonio Autónomo - Grupo Financiero de Infraestructura Ltda., administrado por Alianza Fiduciaria, cuyo monto por Ente Territorial no supere los diez mil millones de pesos ($10.000.000.000) moneda legal colombiana.

Por lo anterior, a través de esta línea de crédito que FINDETER oferta a entidades como Departamentos, Distritos, Municipios. Entidades descentralizadas del orden territorial, Corporaciones autónomas regionales, se puede financiar cualquier tipo de infraestructura relacionada con la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento básico, para los cuales aplican los sistemas urbanos de drenaje sostenible.

5.2.6 Cooperación internacional con la Banca Multilateral

La Cooperación Internacional (CI) constituye una herramienta de política exterior que le permite profundizar sus relaciones internacionales, y es un instrumento estratégico que contribuye con los procesos de desarrollo propios y de otros países del mundo.

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), define la Cooperación Internacional (CI), como “la acción conjunta para apoyar el desarrollo económico y social del país, mediante la transferencia de tecnologías, conocimientos, experiencias o recursos por parte de países con igual o mayor nivel de desarrollo, Fuentes Multilaterales, organizaciones no gubernamentales y de la sociedad civil”. La Cooperación

BORRADOR

Internacional, también denominada “Cooperación para el desarrollo” es un concepto global que comprende diferentes modalidades de ayuda, que fluyen hacia los países de menor desarrollo relativo.

Los principios de la Cooperación Internacional consignados en la Declaración de París – acuerdo internacional que estableció compromisos globales por parte de países donantes y receptores para mejorar la entrega y el manejo de la ayuda con el objetivo de hacerla más eficaz y transparente y al cual Colombia se adhirió en el año 2007– son: Apropiación, Alineación, Armonización, Enfoque en los resultados y Rendición mutua de cuentas[4].

Por su parte, para la contratación de operaciones de crédito que se requieran por parte de las entidades territoriales, sus descentralizadas y las entidades de régimen especial sin garantía de la Nación, el DNP emitirá los conceptos respectivos para la autorización de la contratación de operaciones de crédito sin garantía de la nación. El DNP expide este concepto a las entidades territoriales y sus descentralizadas, sólo si se trata de una operación de crédito externo y debe analizar la información técnica y financiera remitida para la expedición del concepto de endeudamiento, el cual, en caso de resultar favorable informará al Ministerio de Hacienda y Crédito Público MHCP el monto, plazo y destinación de los recursos.

Cuando la nación decida otorgar garantía soberana, el MHCP evalúa la solicitud y concepto del DNP y emite comunicación en coordinación con el DNP a la banca solicitando formalmente la inclusión de la operación de crédito en el portafolio de créditos de la vigencia. La banca lleva a cabo misiones con la entidad del sector, el DNP y el MHCP para estructurar la operación de crédito, aprobar y publicar el documento CONPES respectivo con la entidad del sector, para la elaboración de la minuta y acta de negociación de la operación de crédito.

5.2.7 Presupuesto General de la Nación (PGN)

Es el instrumento de manejo financiero más importante de la política fiscal, donde se programa y registra el gasto público y su forma de financiación, además de establecer las reglas para su ejecución. Los ingresos de la nación constituyen la sumatoria de todos los impuestos tributarios y no tributarios (ingresos corrientes) establecidos en el marco fiscal y tributario del país, así como los recursos de capital que ingresan al Presupuesto General de la Nación (PGN). Estos ingresos se distribuyen para el gasto público de funcionamiento, inversión y pago a la deuda, e incluye las transferencias a los municipios por medio del Sistema General de Participaciones (SGP)[5].

A través del mecanismo de viabilización del MVCT se han presentado proyectos para la construcción de alcantarillados pluviales, manejo de drenaje pluvial, en los departamentos de Cauca, Córdoba, Cundinamarca, La Guajira, Norte de Santander, Putumayo, Risaralda, y Valle del Cauca, los cuales se han financiado con fuentes provenientes de Aportes Nación-Audiencias Públicas, Contrapartida-SGP-Municipio, Regalías, Créditos Banca Multilateral, Contrapartida Tasa Compensada y Contrapartida ESP, entre otras.

BORRADOR

5.2.8 Obras por Impuestos

El artículo 238 de la Ley 1819 de 2016 creó el mecanismo de Obras por Impuestos como una forma de pago del impuesto de renta y complementarios que la ley les otorga a los contribuyentes, mediante la destinación de dicho impuesto en la inversión directa para la ejecución de proyectos viabilizados y prioritarios de trascendencia social en los diferentes municipios definidos como Zonas más Afectadas por el Conflicto Armado – ZOMAC que se encuentren debidamente aprobados por la Agencia para la Renovación del Territorio ART, previo visto bueno del Departamento Nacional de Planeación (DNP), relacionados con el suministro de agua potable, alcantarillado, energía, salud pública, educación pública o construcción y/o reparación de infraestructura vial (Ley 1819 de 2016).

La destinación de recursos no se discrimina por zona urbana o rural del municipio, sino que sean pertenecientes a las Zomac. Para este fin, la Agencia para la Renovación del Territorio (ART) deberá llevar actualizado el Banco de Proyectos a realizar en los diferentes municipios pertenecientes a las Zomac, que cuenten con viabilidad técnica y presupuestal, priorizados según el mayor impacto que puedan tener en la disminución de la brecha de inequidad y la renovación te-rritorial de estas zonas, que permitan su reactivación económica, social y su fortalecimiento institucional, y que pueden ser ejecutados con los recursos tributarios provenientes de la forma de pago que se establece en el presente artículo. El contribuyente podrá proponer proyectos distintos a los consignados en el Banco de Proyectos, los cuales deberán someterse a la aprobación de la Agencia. Por su parte, el Consejo Superior de Política Económica y Fiscal (Confis) aprobará anualmente un cupo máximo de aprobación de proyectos para ser financiados por el mecanismo establecido en el presente proyecto. Este cupo será priorizado y distribuido entre las distintas Zomac por la Agencia de Renovación del Territorio, previo visto bueno del DNP.

No obstante, no es claro si por medio de esta vía es posible financiar proyectos orientados al manejo sostenible de la escorrentía urbana, como el caso de los SUDS.

5.2.9 Transferencia del sector eléctrico a los municipios[6]

Son dineros que las empresas generadoras de energía transfieren a las Corporaciones Autónomas Regionales y a los municipios en cumplimiento del artículo 45 de la Ley 99 de 1993.

Los recursos que las Corporaciones Autónomas reciben de las centrales hidroeléctricas se deben destinar a la protección del medio ambiente y a la defensa de la cuenca hidrográfica del área de influencia del proyecto. Y los recursos que se reciben de las centrales térmicas se deben destinar a la protección del medio ambiente del área donde está ubicada la planta, de conformidad con el “Plan de Manejo Ambiental para el Área de Influencia de la Planta Térmica”.

Para centrales hidroeléctricas las transferencias corresponden al 6% de las ventas brutas de energía por generación propia, de los cuales un 3% son para las Corporaciones

BORRADOR

Autónomas Regionales que tengan jurisdicción en el área donde se encuentra localizada la cuenca hidrográfica y el embalse. El 3% restante se entrega a los municipios y distritos localizados en la cuenca hidrográfica, distribuido así: 1,5% para los municipios y distritos localizados en la cuenca hidrográfica que surte el embalse. 1,5% para los municipios y distritos donde se encuentra el embalse.

Para centrales térmicas las transferencias corresponden al 4% distribuidos 2,5% a la Corporación Autónoma Regional del área donde está ubicada la planta y el 1,5% para el municipio donde está situada la planta generadora.

Lo anterior de acuerdo con la tarifa que fije la Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG para ventas en bloque.

El Decreto 421 de 2021 establece que “sobre los recursos recaudados a partir de las transferencias por la generación de energías limpias, la mencionada ley dispuso que su destinación será del 60% en partes iguales a comunidades étnicas, y el 40% para los municipios ubicados en el área de influencia del proyecto de generación. Dichos recursos deberán ser destinados al desarrollo o ejecución de proyectos de inversión en infraestructura, servicios públicos, saneamiento básico y/o de agua potable, así como en proyectos que incidan directamente en su calidad de vida y bienestar”.

Si bien las inversiones en el manejo de aguas lluvias puede ser considerado como proyectos de servicios públicos y proyectos que incidan en el mejoramiento de la calidad de vida de las personas, toda vez que hacen parte de las medidas de adaptación al cambio climático orientadas a gestión de riesgos de desastre por inundación, se debe analizar más a detalle si esta fuente de financiación puede ser utilizada para inversiones de SUDS.

5.2.10 Asociaciones Público Privadas[7]

El financiamiento de APP generalmente sería un esquema combinado, que incorporaría una mezcla de subsidios o financiamiento concesional del gobierno nacional y agencias de cooperación, capital privado y financiamiento a través de deuda, mayormente comercial, a recuperarse a través de tarifas a los usuarios e ingresos resultantes de la venta del agua tratada y sus subproductos.

La ley 1508 de 2012 “Por la cual se establece el régimen jurídico de las Asociaciones Público-Privadas, se dictan normas orgánicas de presupuesto y se dictan otras disposiciones”, establece que esta ley es aplicable a todos aquellos contratos en los cuales las entidades estatales encarguen a un inversionista privado el diseño y construcción de una infraestructura y sus servicios asociados, o su construcción, reparación, mejoramiento o equipamiento, actividades todas estas que deberán involucrar la operación y mantenimiento de dicha infraestructura. También podrán versar sobre infraestructura para la prestación de servicios públicos.

5.2.11 Emisión de Bonos Verdes para una ESP

BORRADOR

Los bonos verdes son un tipo de deuda emitida por instituciones públicas o privadas para financiarse y, a diferencia de otros instrumentos de crédito, comprometen el uso de los fondos obtenidos con un proyecto medioambiental o relacionado con el cambio climático.

Lo que diferencia a un bono verde de un bono convencional es el compromiso por parte del emisor de canalizar los fondos recaudados sólo a proyectos que tengan un carácter verde y de sostenibilidad, es decir, que produzcan un efecto positivo en relación a la problemática del cambio climático.

Uso de los Fondos: entre los proyectos más comúnmente respaldados se encuentran: energía renovable; eficiencia energética; gestión sostenible de residuos; uso sostenible de la tierra; conservación de la biodiversidad; transporte limpio; ordenación sostenible de las aguas; adaptación al cambio climático; productos adaptados a la economía circular y/ ecológica; y edificios ecológicos[7].

5.2.12 Corporaciones Autónomas Regionales[12]

De acuerdo con el artículo 31 de la Ley 99 de 1993, las CAR al igual que las demás corporaciones tienen por objeto la ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos sobre medio ambiente y recursos naturales renovables, así como el cumplimiento y oportuna aplicación a las disposiciones legales vigentes sobre su disposición, administración, manejo y aprovechamiento, conforme a las regulaciones, pautas y directrices expedidas por el Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Dentro de las funciones de las CAR se encuentran “Ejecutar, administrar, operar y mantener en coordinación con las entidades territoriales, proyectos, programas de desarrollo sostenible y obras de infraestructura cuya realización sea necesaria para la defensa y protección o para la descontaminación o recuperación del medio ambiente y los recursos naturales renovables”.

Adicionalmente, las CAR plantean “La gestión del riesgo de desastres es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible”.

5.2.13 Impuesto Predial[13]

La financiación de la infraestructura del servicio público de acueducto y alcantarillado a través del aumento del impuesto predial proveniente de la actualización de la formación catastral, con el objetivo de cerrar la brecha que existe en la cobertura del servicio de agua

[7] https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/inversiones-bonos-verdes

BORRADOR

potable y saneamiento en los municipios menores, donde la Ley 142 de 1994, no ha sido efectiva por la inexistencia de incentivos económicos para que el sector privado pueda entrar a participar en la prestación del servicio.

Aunque no se ha definido específicamente la destinación de recursos del impuesto predial para el desarrollo de iniciativas de SUDS, la Ley 99 de 1993 en su Artículo 44 “Porcentaje Ambiental de los Gravámenes a la Propiedad Inmueble, establece, con destino a la protección del medio ambiente y los recursos naturales renovables, un porcentaje sobre el total del recaudo por concepto de impuesto predial, que no podrá ser inferior al 15% ni superior al 25.9%. Con estos recursos se podrían financiar proyectos relacionados con SUDS que impacten la protección del medio ambiente.

6 ACERCAMIENTO A PRESTADORES Y MUNICIPIOS – PERCEPCIÓN DE IMPLEMENTACIÓN DE SUDS

Con el objetivo de recopilar información de la percepción y grado de implementación de SUDS en las administraciones municipales y las empresas de servicios públicos de alcantarillado, se envió en la vigencia 2021 un formulario online de 23 preguntas, que nos permite tener un primer acercamiento del conocimiento del tema en el territorio.

De las 10 respuestas diligenciadas, la mitad fue diligenciada por prestadores, dentro de los cuales podemos mencionar Aguas de Manizales, EAAB, EMDUPAR, Triple A, Aquaoccidente y la empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Yopal - EAAAY. Los municipios que respondieron lo hicieron a través de la Secretaría de Infraestructura o de Obras Públicas, que generalmente atienden el tema de servicios públicos, y también la Secretaría de Planeación y de Ambiente.

Frente a la responsabilidad del manejo de aguas lluvias, la figura más usada es a cargo del prestador mediante alcantarillado pluvial y en algunos casos combinados. La segunda tendencia es, una parte, a cargo de la empresa con las aguas pluviales que ingresan a la infraestructura y la otra parte, a cargo del municipio con ejemplos como el manejo de aguas superficiales, escorrentía de laderas y obras de estabilidad. En menor medida, la responsabilidad es del municipio a través de alcantarillado pluvial, canales periféricos (naturales o artificiales) o por tuberías subterráneas con descarga por medio de sumideros y colectores, algunas veces sin ningún tipo de tratamiento. Se reportó un caso en que no existe alcantarillado pluvial, es decir que las aguas lluvias no son canalizadas.

Adicionalmente, comentan que dentro del marco tarifario no se encuentra económicamente contemplado el manejo y disposición de aguas de origen pluvial. No obstante, a una pregunta específica de la encuesta respondió la mayoría que tanto prestador como municipio están encargados del manejo de aguas lluvias.

En cuanto a si tienen redes de alcantarillado combinado en el municipio, la mayoría de las respuestas indican que tienen un porcentaje de redes combinadas menor al 30 %; sin embargo, hay tres casos en los que más del 80 % de las redes es combinada.

Por otra parte, los encuestados reportan que entre el 30% y 80 % de las redes corresponden a alcantarillados separados.

Frente a la pregunta de haber considerado la implementación de SUDS, el 80 % de los municipios y empresas lo han hecho, con el propósito en su mayoría de regular picos altos de escorrentía y mitigar eventos de inundación, también para mejorar manejo de aguas

BORRADOR

lluvias, evitar sobrecargas en el sistema, aprovechar las aguas lluvias para el uso doméstico, mejorar la calidad del agua que llega a los cuerpos hídricos, optimizar el drenaje de las ciudades con mejores tecnologías, diseños y construcciones sostenibles. Al respecto, dos casos comentan las dificultades con la topografía del lugar.

Respecto del avance del municipio para la implementación de SUDS, la mayoría no cuenta con avances, frente a tres casos donde se han construido SUDS y un caso menciona desarrollar normativa relacionada con SUDS. Los tipos de SUDS que se han considerado en mayor cantidad son los tanques de almacenamiento y los alcorques inundables.

Las ventajas que se han encontrado con la implementación de SUDS son:

- Control de picos de escorrentía
- Evitar sobrecargas al sistema
- Tener drenajes muy rápidos
- Tener infraestructura verde en sitios claves para para desagües
- Embellecimiento del entorno y,
- Regulación de picos de caudal en momentos de alta precipitación.

Acerca de las desventajas encontradas para la implementación son:

- Riesgo en zonas de ladera en el favorecimiento de la infiltración de aguas
- Inercia del prestador del servicio
- No se quiere asumir el mantenimiento
- Implementación costosa
- Falta de directrices y normas para el diseño

Frente a la coordinación interinstitucional, algunas empresas han realizado reuniones con el municipio y con la autoridad ambiental, y un caso con los urbanizadores, el mayor adelanto que se identifica por las respuestas de la encuesta, es la realización de un convenio entre prestador y la Secretaría de Ambiente para expedir una Guía técnica que permitió la implementación de SUDS por parte de otros actores. Asimismo, preocupa la administración de los sistemas de alcantarillado una vez estos sean entregados al municipio. Quienes no lo han hecho, desconocían el tema, o no cuentan con los recursos necesarios para consultoría y ejecución de proyectos de este tipo.

Respecto a las dificultades o barreras que ha encontrado para implementar los SUDS se refirieron a:

- Dificultades técnicas
- Dificultades financieras
- Falta de conocimiento
- Falta de normas para el diseño y,
- Baja articulación entre las normas urbanísticas y las normas de servicios públicos

Con relación a contar con estudios o proyectos de SUDS, solamente dos prestadores afirman tener haber desarrollado algo al respecto: Aquaoccidente y la EAAB, que realizó la Guía técnica de Diseño, la NS 166.

La mayoría de los municipios o prestadores (6 de 10) afirma tener el servicio información estadística sobre la ocurrencia de emergencias por inundaciones por escorrentía. Sin embargo, solo 4 cuentan con un plan de emergencia para inundaciones por escorrentía, algunos de ellos sin tener la información estadística. En esta línea, en la descripción del plan hacen referencia a que en caso de inundaciones en el casco urbano se despliega personal, equipos vactor y equipos de bombeo con el fin de remover obstrucciones en

BORRADOR

conductos y evacuar la acumulación de aguas, también, mencionan que se activa el plan operativo para inundaciones con un procedimiento detallado de las acciones en orden cronológico. De igual forma, se refieren al Plan de gestión del riesgo municipal y el Protocolo de respuesta en armonía que incluye la caracterización del municipio para actuar en cualquier tipo de emergencia (natural y antrópica).

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Existen directrices de política nacional en temas como cambio climático, gestión del recurso hídrico y gestión del riesgo de desastres, en los cuales, de manera indirecta, se puede identificar los SUDS como una de las medidas de adaptación al cambio climático y gestión de desastres por riesgo de inundación. No obstante, en estos instrumentos no hay lineamientos explícitos y definición de responsabilidades para la implementación de estos sistemas.

- Para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico se aborda de manera específica los SUDS como una manera de gestionar las aguas lluvias en el marco del Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento, adoptado por la Resolución 330 de 2017 que fue modificada por la Resolución 799 de 2021 y en la Resolución 688 de 2014 expedida por la CRA.

- Teniendo en cuenta que la implementación de SUDS como medida de adaptación al cambio climático para minimizar el riesgo de inundaciones es un tema que involucra no solo al sector de Agua y saneamiento básico, sino al sector Vivienda, Ambiente y Transporte en lo relacionado con la infraestructura vial, es fundamental que se articulen los instrumentos existentes en cada uno de estos sectores y se identifiquen las necesidades de mejoras normativas que tengan una incidencia en los instrumentos de planificación territorial como son los Planes de Desarrollo, Planes de Ordenamiento Territorial, Planes de Gestión Integral de Riesgos, Planes de Gestión Ambiental, entre otros.

- Si bien en Colombia se han desarrollado experiencias en materia de SUDS tanto en implementación como en criterios técnicos por parte de algunas empresas de servicios públicos, sigue siendo un tema que requiere trabajarse a mayor profundidad en los municipios y empresas prestadoras que cuenta con menor capacidad técnica que la que se tiene en las principales ciudades capitales.

- El marco tarifario de acueducto y alcantarillado para empresas con más de 5 mil suscriptores considera la posibilidad de incorporar obras de SUDS en el POIR y, por consiguiente, en la tarifa de servicio de alcantarillado. Sin embargo, estas obras a las que se hace referencia deben atender a lo establecido en el artículo 52 de la Resolución CRA 688 de 2014.

- Para aquellas tipologías de SUDS que, después de analizadas sus condiciones, no puedan ser incluidas en la tarifa de alcantarillado, no existe aún certeza de quienes serían los responsables, incluyendo la financiación de su construcción y mantenimiento. Es aquí donde cobra relevancia el ejercicio exhaustivo de planificación territorial en donde se articulen los diferentes enfoques para el manejo sostenible de las aguas lluvias como son: medidas de adaptación al cambio climático, gestión del riesgo y gestión del recurso hídrico.

BORRADOR

Referencias

Almoradie, A., Cortes, V., & & Jonoski, A. (2015). Web-based stake-holder collaboration. *Journal of Flood Risk Management*, 19-38.

Bilta, V. D., Nieuwenhuis, E., Ven, F. v., & Langeveld, J. (2021). Root causes of failures in sustainable urban drainage systems (SUDS): an exploratory study in 11 municipalities in The Netherlands. *Blue-Green Systems*.

Brown, R. R., & Farrelly, M. A. (2009). Delivering sustainable urban water management: a review of the hurdles we face. *Water Science and Technology*, 839-846.

Carriquiry, A. N., Sauri, D., & March, H. (2020). Community Involvement in the Implementation of Sustainable Urban Drainage Systems (SUDSs): The Case of Bon Pastor, Barcelona. *Sustainability*, 1-19.

ciria; Department for Environment Food & Rural Affairs. (2015). *The SuDS Manual .* Lonres: British Library Cataloguing in Publication Data.

Cotterill, S., & Bracken, L. J. (2020). Assessing the effectiveness of sustainable drainage systems (SuDS): interventions, impacts and challenges. *Water*.

Fratini, C. F., Geldof, G. D., Kluck, J., & Mikkelsen, P. S. (2012). Three points approach (3PA) for urban flood risk management: a tool to support climate change adaptation through transdisciplinarity and multifunctionality. *Urban Water Journal*, 317-331.

Hajer, M. (2003). Policy without polity? Policy analysis and the institutional void. *Policy Sciences*, 175–195.

Hoang, L., & Fenner, R. A. (2016). System interactions of stormwater management using sustainable urban drainage systems and Green infrastructure. *Urban Water Journal*, 739-758.

Kennedy, S., Lewi, L., E. S., & Wong, S. (2007). Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS)- More than a Drainage Solution? *Sixth International Conference on Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management* (págs. 423-430). Lyon : Novatech.

Marlow, D. R., Moglia, M., Cook, S., Beale, D. J., Land, C., & Road, G. (2013). Towards sustainable urban water management: a. *Water Reesearch*, 7150-7161.

Maskrey, S., Priest, S., & Mount, N. (2018). Towards evaluationcriteria in participatory flood risk management. *Journal ofFlood Risk Management*, 1-14.

Nieuwenhuis, E., Cuppen, E., Langeveld, J., & De Bruijn, H. (2021). Towards the integrated management of urban water systems. *Journal of Cleaner Production*.

Olivares-Cerpa, G. R.-P.-R. (2022). SUDS-linear" to reduce flood risk considering Climate Change scenarios. *Ingeniería del agua, 26(2), 77-90. https://doi.org/10.4995/Ia.2022.17058.*, 77-90. Obtenido de https://doi.org/10.4995/Ia.2022.17058.

Veeneman, V. W. (2004). The Strategic Management of Large Technological Projects. *TBM, Delft, The Netherlands*.

Vilcan, T., & Potter, K. (2019). Delivering sustainable drainage systems throughthe English planning system: A proposed caseof institutional void. *Journal of Flood Risk Management*.

BORRADOR

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2017). Documento Técnico de Soporte - DTS. *Plan de Ordenamiento Zonal del Norteciudad Lagos de Torca*. Bogotá, Colombia. Obtenido de http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/anexo_n_1_documento_tecnico_de_soporte.pdf

[1] Resolución CRA 688 de 2016: por la cual se establece la metodología tarifaria para las personas prestadoras de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado con más de 5.000 suscriptores en el área urbana. Resolución CRA 825 de 2017: por la cual se establece la metodología tarifaria para las personas prestadoras de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado que atiendan hasta 5.000 suscriptores en el área urbana y aquellas que presten el servicio en el área rural independientemente del número de suscriptores que atiendan.

[2] https://www.cra.gov.co/seccion/servicio-al-ciudadano/preguntas-frecuentes.html

[3] https://www.ambitojuridico.com/noticias/general/administrativo-y-contratacion/minhacienda-anuncia-recursos-con-tasa-compensada

[4] https://www.mincit.gov.co/ministerio/planeacion/cooperacion-internacional-becas/lineamientos-de-la-cooperacion-internacional/manual-de-acceso.aspx

[5]https://www.funcionpublica.gov.co/glosario/-/wiki/Glosario+2/Presupuesto+General+de+la+Naci%C3%B3n+%3COPEN_PARENTHESIS%3EPGN%3CCLOSE_PARENTHESIS%3E

[6] https://www.chec.com.co/sostenibilidad/gestion-ambiental-integral/transferencia-del-sector-electrico

[7] https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/33436/146823SP.pdf?sequence=6&isAllowed=y

[8] http://www.scielo.org.co/pdf/seec/v20n44/0120-6346-seec-20-44-00045.pdf

[9] http://www.afi.es/EO/CDOs.pdf

[10] https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Ambiente/Finanzas%20del%20Clima/bonos-verdes-como-mecanismo-de-financiamiento-climatico.pdf?Web

[11] https://www.fdn.com.co/es/financiacion/project-finance

[12] https://www.car.gov.co/vercontenido/5

[13] https://osgis.co/el-impuesto-predial-fuente-de-financiacion/

BORRADOR